

# Utilisation de techniques vidéo pour l'observation et le suivi des ressources et des écosystèmes récifo-lagonaires

- Rapport d'opération ZONECO -



**Dominique Pelletier<sup>1,2</sup> et Kévin Leleu<sup>1</sup>**

Novembre 2008

<sup>1</sup> UR CoReUs, Centre IRD de Noumea, 98848 Noumea Cedex

<sup>2</sup> IFREMER/Dept EMH, Centre de Nantes, BP 21105, 44311 Nantes Cedex 03



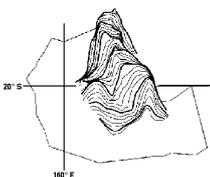
# Utilisation de techniques vidéo pour l'observation et le suivi des ressources et des écosystèmes récifo-lagonaires

## Rapport d'opération ZONECO

Dominique Pelletier<sup>1,2</sup> et Kévin Leleu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UR CoReUs, Centre IRD de Nouméa, 98848 Nouméa Cedex

<sup>2</sup>IFREMER/Dépt EMH, Centre de Nantes, BP 21105, 44311 Nantes Cedex 03



ZoNéCo

PROGRAMME D'ÉVALUATION DES RESSOURCES MARINES  
DE LA ZONE ÉCONOMIQUE DE NOUVELLE-CALÉDONIE



Institut de recherche  
pour le développement



## Remerciements

La réalisation de cette opération n'aurait pas été possible sans les soutiens financiers de ZONECO, de l'IRD, du programme CRISP et de l'IFREMER, que nous remercions vivement.

Nous souhaitons ensuite remercier la Direction de l'Environnement de la Province Sud et le Service Aquaculture et Pêche de la Province Nord pour avoir mis à disposition un navire et son équipage pour la réalisation des observations de vidéo tractée.

Dans cette étude, plusieurs personnes nous ont fait bénéficier de leur expertise et de leur temps, et ce au pied levé, c'est avec une grande reconnaissance que nous les remercions ici : Francis Gallois pour la mise au point de l'électronique de programmation des stations rotatives et la mise à disposition de moteurs pas à pas et de divers matériels, Paul Mazoyer pour le design et la confection du premier caisson moteur, Philippe Le Touze pour celle du deuxième caisson moteur, Peter Desfontaine pour l'assistance électronique et Nicaise Daffond pour la réalisation des supports des stations rotatives.

Des remerciements particuliers à Gérard Mou-Tham pour son aide, ô combien indispensable à l'analyse des images, et à Gilles Hervé pour la mise à disposition de la vidéo tractée, de ses compétences en ingénierie sous-marine et en géomatique, et pour son aide précieuse à la réalisation des caissons rotatifs « tubes », des missions vidéo tractées et vidéos rotatives. Un merci particulier aussi à Nicolas Guillemot qui a réalisé toutes les analyses d'image pour la détermination des habitats dans cette étude.

La réalisation de la vidéo tractée comme celle des stations rotatives a nécessité une forte implication des pilotes dans les manœuvres en mer, merci à Antoine, Miguel, Napo, Sam, Patrice, et Christophe, et tout particulièrement Miguel sans qui cette opération n'aurait pas été aussi fructueuse.

Enfin, nous remercions les personnes qui ont donné un coup de main à la réalisation du terrain, Nicolas Guillemot, Marion Cuif, Pascale Chabanet, Morgane Noullet, et Victor Turpin.

Koné, fév. 2008



## Résumé

Dans l'optique de suivis des zones récifo-lagonaires pour la gestion des ressources et de la biodiversité, cette opération vise :

- a) à rendre opérationnelle une technologie d'observation en vidéo des peuplements de poissons;
- b) à développer et tester les indicateurs de suivi correspondants;
- c) à proposer les protocoles afférents pour une estimation fiable de ces indicateurs dans le cadre de suivis en routine.

## Mots-clés

Vidéo sous-marine - Biodiversité et ressources lagonaires - Suivi - Monitoring - Indicateur - Aire Marine Protégée

*Ce document doit être cité comme suit :*  
*Pelletier, D. & K. Leleu. 2008. Utilisation de techniques vidéo pour l'observation et le suivi des ressources et des écosystèmes récifo-lagonaires. Rapport d'opération ZONECO + Annexes. 117 p.*

## Table des matières

Résumé.....	3
Mots-clés .....	3
Table des matières .....	4
I. Contexte et Objectifs.....	5
II. Proposition initiale.....	6
III. Matériel utilisé.....	9
III.1. Caméras.....	9
III.2. Caissons caméras.....	9
Figure 1. Caméras et caissons utilisés lors de cette étude.....	9
III.3. Matériel informatique .....	10
II.4. Logiciels d'analyse des images et des données.....	10
II.5. Outils d'identification des poissons.....	11
II.6. Archivage des données .....	12
II.7. Cartographie et GPS.....	13
II.8. Moyens navigants .....	14
III. Observations réalisées.....	14
III.1. Vidéos tractées.....	14
III.2. Transects vidéo .....	22
III.3. Stations Vidéos Rotatives.....	28
IV. Informations obtenues à partir des observations. ....	40
IV.1. Etat d'avancement des analyses et espèces observées par chaque technique.....	40
IV.2. Comparaison des transects vidéos et des transects UVC : l'œil et la caméra.....	47
IV.5. Les stations vidéos rotatives : une couverture spatiale et pas de perturbation par les plongeurs.....	53
V. Conclusions - Perspectives. ....	66
V.1. Informations apportées par les techniques.....	66
V.2. Faisabilité et mise en œuvre des techniques .....	70
V.3. Difficultés rencontrées .....	73
V.4. Perspectives .....	75
Références.....	79

## I. Contexte et Objectifs.

Il est nécessaire de suivre l'évolution des zones récifo-lagonaires en vue d'identifier, voire d'anticiper les possibles dégradations qui peuvent les affecter. Ces suivis peuvent également permettre, si le protocole le prévoit, d'appréhender les causes inhérentes à ces changements. L'importance patrimoniale et économique du lagon et des zones récifo-lagonaires de Nouvelle-Calédonie justifie à elle seule la mise en place de tels suivis.

Les méthodes d'observation traditionnellement utilisées pour le suivi des écosystèmes récifo-lagonaires reposent sur des techniques visuelles et sur des pêches expérimentales. Les techniques visuelles ont largement fait leurs preuves et fournissent une image assez complète des peuplements ichthyologiques, bien que certaines espèces ne soient pas observables par ces techniques. Elles permettent aussi des observations des habitats de ces peuplements. Elles présentent l'inconvénient pour des suivis en routine et, particulièrement dans le cas des écosystèmes très diversifiés de l'Indo-Pacifique, de requérir *des plongeurs experts en identification d'espèces, poissons, invertébrés et habitat*. Elles sont également sujettes à des *incertitudes liées à l'effet observateur* (Chapman et al 1974 ; Jennings and Polunin 1995 ; Kulbicki 1998). D'un autre côté, les pêches expérimentales fournissent essentiellement des observations pour les espèces sensibles aux appâts et capturables par des engins de pêche. Cette technique est par ailleurs destructrice, ce qui n'est pas souhaitable dans le cas de zones sensibles ou protégées (Hickford et al. 1995 ; Pelletier 2003).

Parce qu'elle évite plusieurs de ces inconvénients, la vidéo constitue une alternative intéressante, bien qu'encore relativement peu utilisée pour le suivi des écosystèmes marins (Pelletier et al. 2006). Les principales utilisations ont eu lieu en Australie (Harvey et Shortis 1997; Watson et al. 2005) et en Nouvelle-Zélande, notamment dans la Réserve Marine « Cape Rodney to Okakari Point » (Willis et al. 2000, 2003, Langlois, comm. pers.). Un certain nombre d'études (Francour et al 1999; Willis et al. 2000; Harvey et al 2002; Pitcher et al. 2002; Watson et al. 2005) ont comparé plusieurs techniques d'observation, dont des comptages visuels, des pêches expérimentales et des observations vidéo. Les résultats montrent l'intérêt de ces dernières, appâtées et non appâtées, à la fois pour estimer l'abondance des poissons et leur biomasse, mais aussi pour évaluer la diversité des assemblages spécifiques.

En Nouvelle-Calédonie, nous avons testé dans le cadre d'une manipulation préliminaire en avril-mai 2006, l'utilisation de stations vidéo appâtées et de transects vidéo (Langlois et al. 2006a et b). Cette expérience-pilote a donné quelques pistes pour adapter les techniques aux conditions rencontrées en Nouvelle-Calédonie afin qu'elles fournissent des données appropriées pour l'estimation d'indices de diversité, d'abondance et de biomasse.

## II. Proposition initiale.

Nous avons proposé dans le cadre de cette opération :

- a) d'utiliser plusieurs techniques vidéo pour l'évaluation des ressources et de la biodiversité des récifs et des lagons de Nouvelle-Calédonie ;
- b) de réaliser des observations dans des habitats représentatifs, en Province Nord et en Province Sud, afin de tester et valider les techniques dans différentes conditions ;
  - dans des zones traditionnellement non prospectées par les comptages sous-marins comme les fonds lagonaires et les substrats meubles ;
  - dans et autour de réserves pour lesquelles une différence existe entre les peuplements à l'intérieur et à l'extérieur. Grâce à ces contrastes, les estimations réalisées pourront être comparées au plan statistique et la pertinence de la technique sera testée dans une large gamme de niveaux d'abondance. Cette condition est de plus nécessaire pour pouvoir envisager une analyse des protocoles d'observation adéquats pour un suivi à grande échelle.

Il a été prévu d'analyser deux types d'observation à partir des films : les peuplements ichtyologiques et leurs habitats.

Deux techniques vidéo seront utilisées:

- a) des stations à points fixes larguées depuis la surface. Cette technique ne requiert pas de plongeurs et peu de manutention. Nous aurons principalement recours à des stations non appâtées, donc non sélectives des espèces pour mieux appréhender l'assemblage spécifique dans son ensemble ; cette technique est rapide et un grand nombre de points peut être réalisé. On réalisera aussi des stations appâtées (Baited Underwater Video) en nombre plus limité à but de comparaison appâté/non appâté. Cette technique cible des espèces carnivores comme les Lethrinidés, Serranidés, principales ressources halieutiques du lagon ;
- b) des transects en plongée permettant d'étudier la variabilité spatiale des observations le long du transect. Cette technique requiert un plongeur équipé d'une caméra stabilisée. Ces transects seront réalisés en parallèle avec des comptages visuels afin de comparer quantitativement les indices biologiques issus des deux techniques.

## Références

- Chapman, C., A. Johnstone, J. Dunn, and D. Creasey. 1974. Reactions of fish to sound generated by diver's open-circuit underwater breathing apparatus. *Marine Biology* **27**, 357-366
- Francour, P., Liret, C. and Harvey, E., 1999. Comparison of fish abundance 512 estimates made by remote underwater video and visual census. *Naturalista Siciliano* **23**, 155-168.
- Jennings, S. and Polunin, N.V.C. 1995. Biased underwater visual census biomass estimates for target-species in tropical reef fisheries. *Journal of Fish Biology* **47**, 733-736.
- Harvey, E. and Shortis M, 1996. A system for stereo-video measurement of sub-tidal organisms. *Marine Technology Society Journal* **29**(4), 10-22.
- Harvey, E., Fletcher, D., and Shortis, M. 2002. Estimation of reef fish length by divers and by stereo-video next term A first comparison of the accuracy and precision in the field on living fish under operational conditions. *Fisheries Research* **57**, 255-265.
- Hickford, M.J.H., Schiel, D.R. 1995. Catch vs counts: Effects of gill-netting on reef fish populations in Southern New Zealand. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **188**, 215-232.
- Kulbicki, M., 1998. How the acquired behaviour of commercial reef fishes may influence the results obtained from visual censuses. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **222**, 1-30.
- Langlois, T.J., Anderson, M.J., Cappo, M., Chabanet, P., Merritt, D., Mou-Tham, G., Harvey, E., and Pelletier, D. 2006a. Baited remote underwater video: a tool for the assessment and management of coral reef fish. Coral Reef Ecosystems Biodiversity Forum, Nouméa.
- Langlois, T.J., Chabanet, P., Pelletier, D., and Harvey, E. 2006b. Baited underwater video for assessing reef fish populations in marine reserves. *Secrétariat de la Communauté du Pacifique, Fisheries Newsletter* **118**, 53-56.
- Pelletier, D., Claudet, J., Ferraris, J., Benedetti-Cecchi, L., and García-Charton, J.A.. 2008. Indicators for evaluating ecological and fisheries-related effects of Marine Protected Areas: Current status and perspectives. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **65**, 765-779.
- Pitcher, C.R., Wassenberg, T.J., Cappo, M., Smith, G.P., Austin, M.P., Gordon, S.R., Bustamante, R.H., Moeseneder, C.H., Speare, P.J., Kennedy, J.A., Doherty, P.J., and Hooper, J.N.A. 2002. Dynamics of large seabed sessile fauna, important for structural fisheries habitat and biodiversity of marine ecosystems - and use of these habitats by key finfish species, CSIRO Marine Research.

- Watson, D.L., Harvey, E.S., Anderson, M.J., and Kendrick, G.A. 2005. A comparison of temperate reef fish assemblages recorded by three underwater stereo-video techniques. *Marine Biology* **148**, 415-425.
- Willis, T.J., Millar, R.B., and Babcock, R.C. 2000. Detection of spatial variability in relative density of fishes : comparison of visual census, angling, and baited underwater video. *Marine Ecology Progress Series* **198**, 249-260.
- Willis, T.J., Millar, R.B., and Babcock, R.C. 2003. Protection of exploited fishing temperate regions : high density and biomass of snapper *Pagrus auratus* (Sparidae) in northern New Zealand marine reserves. *Journal of Applied Ecology* **40**, 214-227.

### III. Matériel utilisé.

#### III.1. Caméras

Les caméras utilisées pendant cette étude sont deux caméras **Sony HDR-SR1** (**Figure 1**) enregistrant en Haute Définition sur un disque dur intégré (30Go, soit plus de 4h de film en FullHD) en format AVCHD (extension .m2ts ; *Codec Sony*). (<http://www.camcorderinfo.com/content/Sony-HDR-SR1-Camcorder-Review.htm>). L'une des caméras est équipée d'un grand angle 0.5x amovible. Le hublot du caisson subspace permet d'obtenir une vision périphérique équivalente à celle de l'autre caméra.

Une caméra Panasonic a aussi été utilisée pour quelques vidéos tractées et stations vidéo rotatives (elle produit des fichiers d'extension .mts).

#### III.2. Caissons caméras

Les caissons utilisés sont un caisson Subspace modèle MK1 et un caisson Mediasub modèle TUBE. (Photos à <http://www.subspace.ch/Mk1.htm>, <http://www.mediasub.com/Video.htm>)(**Figure 1**).

**Figure 1.** Caméras et caissons utilisés lors de cette étude.



### II.3. Matériel informatique

Voir Figure 2. Un ordinateur de puissance appropriée à la technologie HD a été utilisé pour les analyses. Il possède notamment un processeur Intel Core duo, une mémoire vive de 4 Go et deux disques durs internes à accès rapide de 500 Go. Un écran 22 pouces (MW221u d'Asus) acceptant la Full HD permet une identification efficace des poissons observés ainsi qu'un confort dans l'analyse. Un écran plus petit est envisageable, mais il doit accepter la HD (HD Ready ou mieux Full HD) afin d'optimiser l'analyse des images.

Un second ordinateur est nécessaire pour saisir les données.

Quatre disques durs externes (1 de capacité 300 Go et 3 de 500 Go) ont été achetés pour l'archivage et le doublage des données qui représentent finalement au total 1172 Go.

**Figure 2.** Ordinateurs, Ecran 22 Pouces, livres, Disques Durs Externes utilisés lors de cette étude.



### II.4. Logiciels d'analyse des images et des données

Les logiciels utilisés pour la lecture et l'analyse des images sont Picture Motion Browser, logiciel fourni par Sony avec les caméras, et Cyberlink Power DVD 7 ([http://fr.cyberlink.com/multi/products/main\\_1\\_FRA.html](http://fr.cyberlink.com/multi/products/main_1_FRA.html)). Ce dernier permet de ralentir et zoomer sur les images vidéo, de faire des arrêts et retours sur image fréquents, facilitant ainsi l'identification de certains poissons trop lointains ou trop rapidement aperçus. Cyberlink Power DVD 7 présente de plus l'avantage d'avoir un prix abordable (inférieur à 10 000 CFP pour la version plus récente (Cyberlink Power DVD 8))

Une fiche-type d'entrée de données Excel a été créée pour optimiser la collecte des données de la vidéo (Figure 3).

Les analyses statistiques sont réalisées à partir du logiciel R (<http://cran.r-project.org/>).

Figure 3. Fiche-type pour l'entrée des données.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
2	Nom du point	Famille	Genre	Espec	Rotation	s1	s2	s3	s4	s5	s6	Pinf5	Minf5	Ginf5	Psup5	Msup5	Gsup5	Distance estimée	Commentaires
3	173	Lethrinidae	Lethrinus	nebulosus	1			x										2	6 poissons (lethrinidae à 03:58)
4	173	Lethrinidae	Lethrinus	nebulosus	2				x									3	6 poissons (lethrinidae à 07:48)
5	175	Scandae	Chlorurus	sordidus	0				n			0	0	0	0	0	0		Pas d'observation. Le secteur 5 de rotation 3 a sauté.
6	176	Lethrinidae	Lethrinus	nebulosus	1				x				1				1		6 Poissons (03:49 ; se rapproche vers 04:10)
7	176	Lethrinidae	NA	sp	2	n		x											1 poisson (05:18)
8	181	Scombroidae	Scomberomus	commerson	1					x				5					03:30 ; 5 poissons en pleine eau (Thazards ?)
9	194	Dasyatidae	Himantura	sp	1	x	x							2					2 énormes raies plus quelques poissons (dont 1 lethri au fond) à 01:00
10	194	Mullidae	Parupeneus	heptacanthus	1	x				n			30	10					
11	194	Serranidae	Epinephelus	cyanopodus	1	x					n								Loche bleue
12	184	Scandae	NA	sp	1				x	n							1		7 1 poisson (03:04)
13	184	Mullidae	Parupeneus	heptacanthus	2	x				n		15	20						Plusieurs petits poissons (03:48) + 1 loche
14	194	Serranidae	Epinephelus	cyanopodus	2	x				n				1					
15	184	Mullidae	Parupeneus	heptacanthus	3	x				n		15	10						Plusieurs petits poissons (08:10)
16	184	Serranidae	Epinephelus	cyanopodus	3	x				n				1					
17	184	Lethrinidae	Lethrinus	nebulosus	3			x		n							1		7 1 Lethri (07:04)
18	184	Carcharhinidae	Negaprion	acudens	3					x				1					Requin citron plus remora (08:33) (2m)
19	99	Scandae	Scarus	albipinnis	1	x					x						2		7
20	99	Serranidae	Cromileptes	atrhvells	1	x								1					
21	99	Siganidae	Siganus	argenteus	1	x								8					
22	99	Lethrinidae	Lethrinus	abinsoni	1			x						1					
23	99	Labridae	Cons	aygula	1			x	e					1					après fil avec bande bleue
24	99	Mullidae	Parupeneus	barberinus	1			x						1					
25	99	Acanthuridae	Naso	brevirostris	1	x								1					
26	99	Mullidae	Parupeneus	cyclostomus	1	x							1						
27	99	Siganidae	Siganus	doliatus	1		x							2					
28	99	Labridae	Choerodon	graphicus	1	x	x	x					1	3					
29	99	Priacanthidae	Priacanthus	hamrur	1	x											1		8
30	99	Scandae	Scarus	microrrhinos	1	x								1					
31	99	Acanthuridae	Acanthurus	nigricauda	1	x	x							2					
32	99	Lethrinidae	Lethrinus	obsoletus	1				x				2						
33	99	Siganidae	Siganus	punctatus	1					x				2					
34	99	Scandae	Scarus	rivulatus	1		x										1		8
35	99	Acanthuridae	Naso	tonganus	1	x				x			9						
36	99	Acanthuridae	Naso	unicornis	1					x	x			2					
37	99	Acanthuridae	Acanthurus	xanthopterus	1	x								3					
38	99	Siganidae	Siganus	argenteus	2	x								18					
39	99	Acanthuridae	Naso	brevirostris	2	x								4					
40	99	Siganidae	Siganus	doliatus	2		x	x						4					
41	99	Serranidae	Epinephelus	fasciatus	2			x						1					
42	99	Labridae	Choerodon	graphicus	2						x			1					

## II.5. Outils d'identification des poissons

Une liste des familles d'intérêt halieutique et emblématique a été dressée pour cette étude (Tableau 1), avec précision des genres ciblés pour certaines familles comme les Labridés et les Serranidés). Selon les cas, ont été relevées soit les seules espèces de cette liste, soit toutes les espèces.

Quatre livres d'identification et un site Internet ont été consultés pendant cette étude lors de l'analyse des images :

- Allen, G., R. Steene, P. Humann & N. Deloach. 2003. Reef Fish Identification - Tropical Pacific. New World Publication, Jacksonville, Florida. 500 p.
- Randall, J.E. 2005. Reef and Shore Fishes of the South Pacific, New Caledonia to Tahiti and the Pitcairn Islands. University of Hawai Press, Honolulu. 706 p.
- Lieske, E. & R.F. Myers. 1995. Guide des poissons des récifs coralliens. Delachaux et Niestlé, Lausanne. 400 p.
- Laboute, P. et F. Grandperrin. 2000. Poissons de Nouvelle Calédonie, Editions Catherine Ledru, Nouméa. 519 p.
- Fish Base : <http://www.fishbase.org>

**Tableau 1.** Liste des familles d'Intérêt Halieutique et Emblématique utilisée lors de l'analyse de vidéos tractées et rotatives. Pour les Labridés, seuls les

Acanthuridae	Haemulidae	Lutjanidae
Albulidae	Hemiramphidae	Mullidae
Atherinidae	Holocentridae	Myliobatidae
Balistidae	Kyphosidae	Priacanthidae
Caesionidae	Labridae :	Scaridae
Carangidae	<i>Bodianus</i>	Scombridae
Carcharhinidae	<i>Cheilinus</i>	Scorpaenidae
Chaetodontidae	<i>Choerodon</i>	Serranidae
Chanidae	<i>Coris</i>	Siganidae
Clupeidae	<i>Epibulus</i>	Sphyraenidae
Dasyatidae	<i>Hemigymnus</i>	Zanclidae
Engraulidae	<i>Oxycheilinus</i>	
Ephippidae	Leiognathidae	Cheloniidae
Gerreidae	Lethrinidae	Dugongidae

genres indiqués en italiques sont relevés.

## **II.6. Archivage des données**

Les données ont été archivées sur les différents disques durs dans des dossiers reportant le lieu, le site et la date (jour) de réalisation des vidéos. La nomination des fichiers comprend le numéro du point ou transect, la date, et l'heure de réalisation de la vidéo (exemple pour une station vidéo rotative : Pt279\_20080125091308) (Figure 4).



et Coris : GPS Lowrance, Garmin ; Aldric : GPS Geonav) au cas où le GPS principal connaîtrait une défaillance.

Les logiciels utilisés pour extraire les points du GPS sont GPS Utility (<http://www.gpsu.co.uk/>) et Easy GPS (<http://www.easygps.com>).

## **II.8. Moyens navigants**

Trois bateaux ont été utilisés pendant ces études. Pour la zone Signal-Larégnère, les sorties se sont déroulées sur le Diodon, l'Aldric et le Coris. Le bateau le plus approprié est l'Aldric, car la disposition du pont facilite les mises à l'eau et la récupération des systèmes vidéo. Seul l'Aldric a été utilisé à Koné. Il permet de plus d'aller dans des zones de très faible profondeur.

## **III. Observations réalisées.**

Dans cette section, on décrit les méthodologies d'observation pour chaque technique vidéo utilisée, à savoir le matériel spécifiquement utilisé, le protocole d'observation, la méthode d'analyse des images. Chaque technique est discutée, puis la section se conclut par une discussion reprenant les avantages et inconvénients de chaque technique du point de vue de la méthodologie d'observation.

### **III.1. Vidéos tractées.**

Ces observations (non prévues dans l'opération ZONECO) ont été réalisées grâce à la mise à disposition d'un ingénieur et de son matériel par l'Ifremer de Toulon.

- ***Principe***

La technique de vidéo tractée consiste à remorquer à faible vitesse un système stable équipé d'une caméra qui filme en direction du fond. La trajectoire du système est enregistrée simultanément pour géoréférencer les images.

- ***Matériel utilisé :***

**Système de caméra tractée MobidicHD : Module d'Observation des Biocénoses par Imagerie Digitale pour le Côtier en Haute Définition.(1080 i) se composant :**

-d'un caméscope SONY HD \_HC1 16/9 avec enregistrement sur cassettes MiniDV et caisson cylindrique à hublot sphérique pour grand angle de 120 degrés sur axe horizontal ;

-d'un petit caisson de secours Sony à hublot plan pour les fonds de 5 mètres maximum ;

-d'un moniteur de surface (lecteur-enregistreur Archos) relié à la caméra pour suivre en surface les images filmées (format .avi) et ajuster l'altitude du système à la profondeur et aux obstacles rencontrés en chemin;

-d'un PC équipé du logiciel VIDEONAV de l'IFREMER ([www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr));

-d'un GPS sur port USB pour géoréférencement des vidéos et qui enregistre l'altitude de Mobidic au dessus du fond via un port série NMEA ;

-d'un câble FALMAT de 25 mètres électroporteur (pour télécommande) avec une sortie vidéo pour tracter le système et retransmettre la vidéo en surface

Le PC et le moniteur sont alimentés grâce à un convertisseur 12 V-220 V 300 W branché sur la batterie de service du bateau. On utilise en outre le logiciel HDSPLIT pour transformation des bandes DV en fichier informatique au format m2t (2<sup>ème</sup> caméra) et des cartes des zones à la norme ESRI shape vecteur en latitude longitude WGS84 pour les intégrer dans le logiciel VIDEONAV.

- **Mode opératoire :**

La caméra est fixée sur un tripode trépied de photo et pilotée par le câble, elle est fixée pour la journée soit à 30 degrés (horizontale) soit verticale (par ex. pour la cartographie des fonds). Un plan antidérive stabilise l'ensemble (Poids du système de 5kg hors de l'eau, 3 kg en immersion) (Figure 5). Le caméscope est mis en route en surface avant immersion.

La caméra vidéo est tractée à faible vitesse (de 1 à 1.5 nœuds) et altitude (au-dessus du fond) constante par un bateau sur une longue distance dans ou en dehors du lagon, avec ou sans le moteur du bateau en marche.

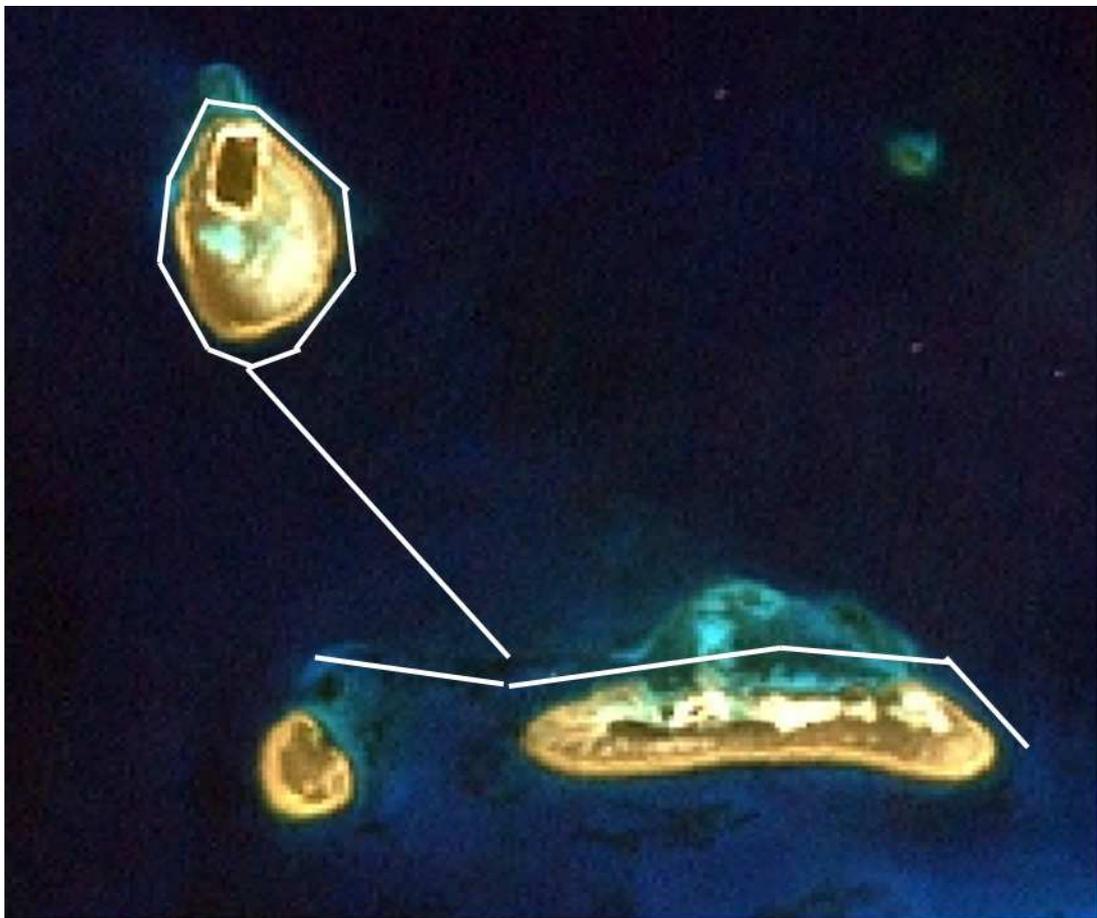
**Figure 5.** a) Système vidéo tractée en position verticale ; b) Traction du système vidéo par un bateau ; c) Contrôle du système vidéo à partir de la surface.



- **Protocole :**

La campagne s'est déroulée en deux temps: du 29 janvier au 1er février 2007 dans le lagon sud-ouest (Province Sud), et du 5 au 9 février dans la zone de Koné (Province Nord). La Direction de l'Environnement de la Province Sud a mis à disposition le navire Kié avec un équipage de deux personnes, tandis que le Service de l'Aquaculture et de la Pêche a mis à disposition le navire Max et son équipage. En Province sud, la zone d'étude comprend les îlots Signal et Larégnère et la zone intermédiaire (Figure 6). Des traits ont été réalisés dans plusieurs types d'habitat et dans des zones protégées (réserves) et non protégées. La vitesse moyenne de tractage est de 1.3 nœuds, mais a varié entre 1.1 et 1.5 nœuds en fonction des conditions de vent et de mer.

**Figure 6.** Trajectoire approximative des traits réalisés en Province Sud du 29 janvier au 1<sup>er</sup> février. Certains passages ont été réalisés plusieurs fois.



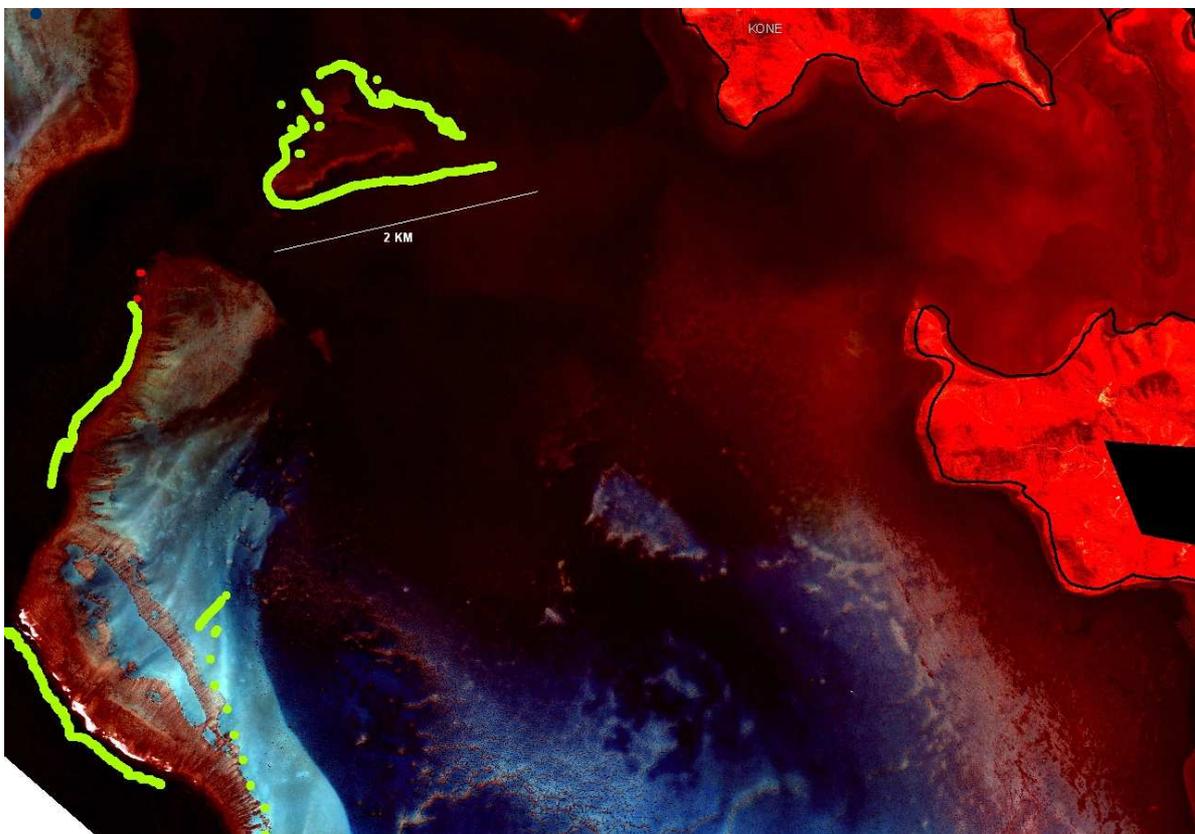
En Province Nord, des traits ont été réalisés suivant le même protocole dans le lagon nord et sud de Koné, sur la pente externe du récif (Figure 7). Le temps de route a été plus long pour les observations sur la pente externe du récif barrière, et il a fallu naviguer de la partie nord du lagon à la partie sud le 7 février.

Les premières observations ont été faites avec la caméra filmant à la verticale ; pour les suivantes, la caméra a été uniquement utilisée en position quasi-horizontale. Le focus était réglé sur l'infini.

A Signal-Larégnère, 12 traits ont été réalisés lors de 4 sorties, ces traits durent de 8 minutes à 1h27mn. Neuf seulement se révèlent exploitables pour les images. Une station fixe de 1h8mn a également été réalisée. A Koné, 14 traits (dont deux sans moteur) ont été effectués en 5 sorties allant de 11 minutes à 1h27mn. 5 stations fixes ont été réalisées. (Annexe I).

Pour réaliser ces missions de terrain, trois personnes par jour en moyenne étaient présentes sans compter le pilote. Cependant plusieurs sorties à deux personnes ont été réalisées et en routine, deux personnes semblent suffisantes pour mettre en oeuvre cette technique.

**Figure 7.** Traits réalisés dans le lagon de Koné entre le 5 et le 7 février, d'après les trajets acquis par Videonav.



- **Analyse des images**

L'analyse des images requiert une ou deux personnes selon le niveau d'identification souhaité pour les espèces.

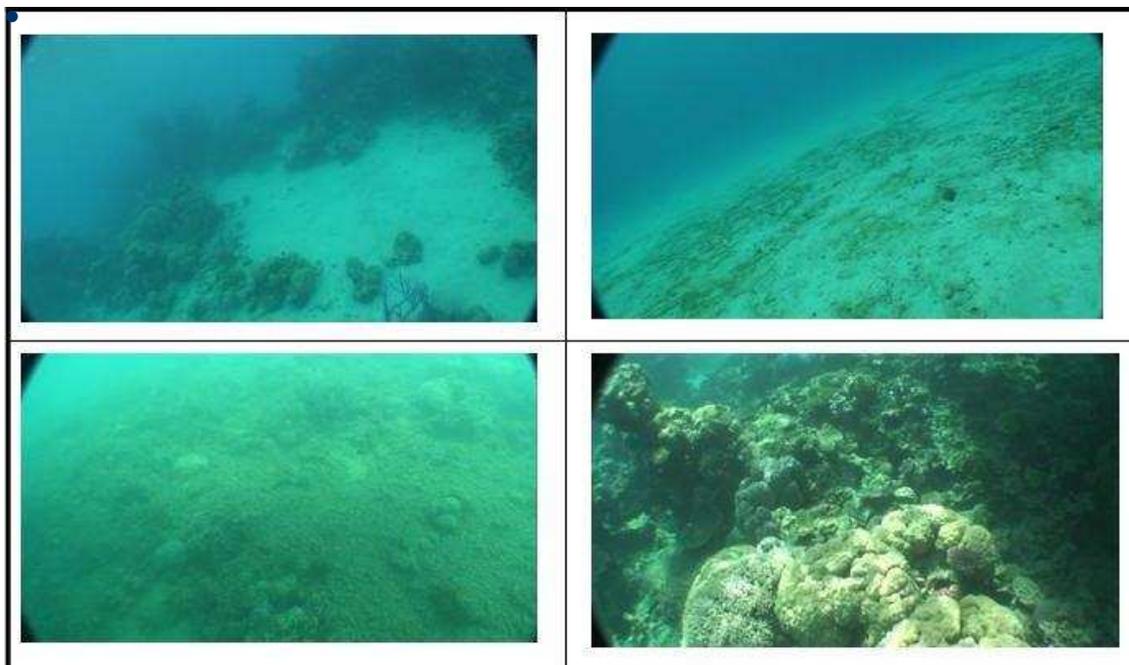
-Si l'identification souhaitée ne concerne que les familles d'intérêt halieutique et emblématique (Tableau 1), la première personne doit avoir des bases solides en identification des poissons tropicaux (au moins au niveau de la famille), et la seconde personne dont la présence est facultative, confirme et saisit les données sur un PC. La possibilité de rejeu des images permet de faire appel ultérieurement à un expert pour certaines espèces en cas de doute persistant.

-Si toutes les espèces doivent être identifiées, la présence d'un expert ichtyologue est indispensable.

Chaque trait a en moyenne une longueur d'environ 2 km. Afin de produire des données aisément analysables au plan quantitatif et surtout comparables avec celles obtenues par d'autres techniques d'observation sous-marine, chaque trait a été discrétisé en transects de 50 m en s'appuyant sur les données GPS collectées toutes les 2 secondes. Un transect de 50 m correspond en effet à l'unité d'observation la plus courante dans les comptages visuels sous-marins (Harmelin-Vivien et al. 1985).

Il faut environ 10 minutes (+/- 5mn) pour analyser un transect, selon la complexité de l'habitat et donc de la composition des peuplements ichtyologiques (Figure 8).

**Figure 8.** Captures d'images prises dans différentes conditions de visibilité et sur différents habitats : a) haut gauche : patates de corail avec nombreux groupes de poissons en mouvement, visibilité moyenne ; b) haut droit : fond sableux colonisé par des algues, visibilité assez bonne ; c) bas gauche : débris de corail avec quelques poissons, visibilité moyenne ; d) bas droite : structure corallienne, pas de poissons, visibilité bonne. **Attention, la capture d'écran fait perdre la Haute Définition.**



- ***Identification des poissons***

Chaque poisson appartenant à une espèce d'intérêt halieutique ou emblématique (Tableau 1) est identifié au minimum au niveau de la famille, et sa taille est estimée de manière semi-quantitative (petit, moyen, grand). Quand il y a un doute au niveau de l'identification, le zoom peut être utilisé, mais la lecture de l'image zoomée s'avère en général difficilement exploitable de par la vitesse du bateau.

La vitesse du bateau ainsi que la hauteur et l'inclinaison de la caméra ne permettent pas de compter les petites espèces comme la plupart des Pomacentridés et les petites espèces de Labridés.

- ***Comptage des poissons***

Tous les individus rencontrés sur la vidéo sont comptés par espèce et par classe de taille. Lorsqu'il existe un doute sur le risque de compter deux fois un même poisson, l'individu n'est pas pris en compte. Cette procédure conduit donc à une possible sous-estimation du nombre d'individus.

- ***Caractérisation de l'habitat***

A partir de la vidéo tractée, l'habitat peut être caractérisé par une analyse paysagère de type Medium Scale Approach (Clua *et al.* 2006) en utilisant une classification plus grossière que celle utilisée par les plongeurs, du fait de la difficulté d'évaluer correctement la surface de chaque catégorie. L'analyse de l'habitat peut se faire à partir de captures d'écran échantillonnées régulièrement (par ex. toutes les 10 secondes) durant la séquence vidéo (voir exemples sur la Figure 8).

## **DISCUSSION DE LA TECHNIQUE D'OBSERVATION**

Ce dispositif avait déjà servi à l'observation du macrobenthos fixé, notamment en Thaïlande sur des récifs coralliens, mais n'avait pas encore été utilisé pour l'observation des poissons. Les premières sorties ont permis de tester le dispositif et de résoudre les différents problèmes qui se sont posés.

- ***Système MovidicHD***

Le caisson prévu pour un compactage maximum a donné satisfaction notamment par sa bonne pénétration et sa stabilité dans l'eau. Un seul problème d'étanchéité a été rencontré en début de campagne du à l'échange accidentel des couvercles des deux caissons. La connexion manuelle des différents fils et la fermeture correcte du caisson a demandé une grande attention. Pour des

utilisations ultérieures, il conviendra d'améliorer ce système de connexion, par ex. par un connecteur unique.

A plusieurs reprises, de la buée s'est accumulée à l'intérieur du caisson, obligeant à relever le dispositif hors de l'eau pour nettoyage. Ce problème a été résolu par l'introduction de silicagel performant dans le caisson.

La caméra a fonctionné correctement. Il a fallu veiller au réglage de l'autofocus qui doit être débrayé (réglage sur infini) et du paramétrage de veille de la caméra (ne doit pas s'éteindre). La caméra a plusieurs fois montré des signes de surchauffe, probablement du au faible espace dans le caisson et à la mauvaise dissipation thermique. Elle s'est éteinte automatiquement après un certain temps en surchauffe. Ce problème pourrait être résolu par le remplacement des couvercles en plastique par des couvercles en alu qui feraient un pont thermique avec l'eau (solution testée avec succès depuis par Gilles Hervé).

La fixation du système sur un trépied simple n'a pas posé de problème. Le lest est de 1.4 kg sur chaque pied, et dans ces conditions, le dispositif s'est révélé extrêmement stable dans l'eau. Le trépied a fourni une protection au caisson et a bien résisté aux deux semaines de campagne, malgré plusieurs touchers et accrochages sur le corail.

- ***Acquisition des données - Suivi en surface***

Le système d'acquisition des données GPS n'a pas toujours fonctionné correctement pour des raisons d'alimentation du port USB du PC qui disjonctait sans alarme. Dans plusieurs traits, l'acquisition a donc patiné et les positionnements ne sont pas satisfaisants. L'altimètre n'a pas fonctionné les deux premiers jours, mais a correctement fonctionné ensuite.

Le suivi en surface à partir de l'Archos a parfaitement fonctionné. On dispose ainsi de fichiers au format .avi qui complètent les images Haute Définition.

- ***Conduite du système***

La conduite du système s'est faite à la main en filant ou virant du câble en fonction des images en temps réel de l'Archos et du sondeur du bateau. Une personne s'occupe du câble, tandis qu'une autre examine les images de l'Archos et le sondeur.

Dans l'environnement lagonaire, les compétences du pilote du bateau sont primordiales pour une bonne prise de vue. Les vitesses expérimentées durant la campagne correspondent à la vitesse minimale permettant une bonne manœuvrabilité du navire. Le pilote doit régler en permanence les gaz pour ajuster la vitesse et surtout garder une orientation satisfaisante du navire pour un travail optimal de la caméra. Dans des conditions où la trajectoire précise du navire importe peu (par ex. sur un fond meuble ou au milieu d'un habitat sans écueils), la conduite est facile ; trois traits en dérive sans moteur ont pu être

expérimentés. Par contre, quand il s'agit de longer un récif, ceci peut s'avérer plus délicat.

Des points mineurs sont également à prendre en compte: l'ombre portée éventuelle du navire sur le champ de vision de la caméra, les reflets des vagues en surface produisant un effet de moirage sur l'image filmée, et l'orientation de la caméra. Avec le système actuel, cette dernière peut être ajustée dans une certaine mesure en fonction de la position de la caméra par rapport au bateau. L'orientation fine de la caméra n'est pas toujours contrôlable et dépend du vent, de la vitesse du bateau et des vagues. Quelques modifications peuvent être apportées au système pour plus de stabilité, par ex. suivant les propositions de Morrison et Carbines (2006).

- ***Transfert des données et visionnage***

L'espace de stockage de la caméra est suffisant pour enregistrer les films d'une journée, 30 Go correspondant à 4h de vidéo. En 9 jours de campagne, plus de 200 Go d'images ont été enregistrées et doublées sur disque dur externe.

La surface observée est difficile à estimer à partir des vidéos, de par notamment les changements fréquents de hauteur du système tracté par rapport au sol.

Les difficultés rencontrées durant l'analyse des images viennent des mouvements parasites de la caméra (changements d'angle et de hauteur parfois brusques, vitesse trop élevée, inclinaison de la caméra).

L'identification des espèces et l'estimation de la taille sont parfois difficiles, de par les différentes difficultés énoncées ci-dessus. Cependant les individus sont identifiés au moins au niveau de la famille.

- ***Habitat***

L'avantage de la vidéo tractée est de parcourir en un trait une longue distance et donc d'obtenir des informations sur de nombreux biotopes différents (herbier, algueraie, pente externe, platier etc...). En cas de positionnement horizontal, l'inclinaison de la caméra ne permet l'analyse que de la moitié inférieure de l'écran. Les mouvements parasites de la caméra ne facilitent pas non plus la capture d'image. Enfin, l'estimation de la surface est impossible, n'ayant aucun ou trop peu d'information concernant la profondeur ni la hauteur de la caméra par rapport au sol et ne disposant d'aucun repère visuel. L'information fournie sur l'habitat est donc qualitative, ce qui se révèle utile pour une prise en compte de ce facteur dans l'analyse des variations spatiales de la distribution des poissons. Cependant, avec la caméra en position verticale la technique fournit des images qui permettent ensuite l'évaluation des surfaces de recouvrement, à partir de captures d'écran. On peut ainsi envisager l'analyse de ces images avec un logiciel du type CPCE.

## III.2. Transects vidéo

- *Principe*

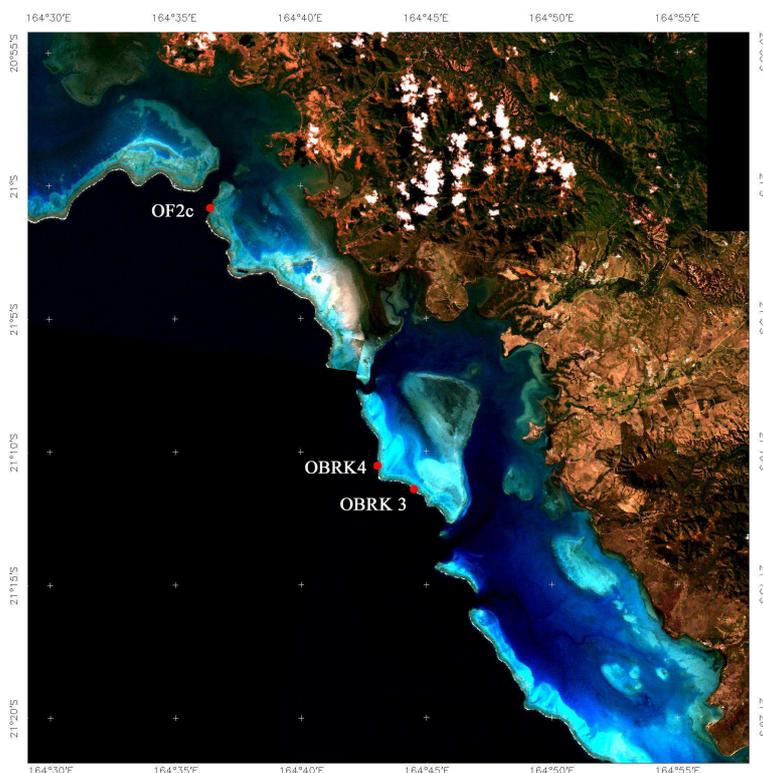
Un plongeur parcourt un transect matérialisé sur le fond tout en filmant devant et au-dessous de lui. L'information obtenue se rapproche de celle acquise par les plongeurs lors de comptages visuels sous-marins, et a été utilisée pour comparer les indices d'abondance et de biodiversité ainsi que les moyens requis en temps de personnel requis et coûts. La présence d'au moins deux plongeurs équipés est nécessaire pour la réalisation des transects vidéo.

Ces observations ont été collectées en deux temps : 1) sur la pente externe du lagon de Koné (Province Nord) les 27 et 28 février 2007, et 2) sous le vent de l'îlot Signal (Province Sud) les 17 et 19 avril ainsi que les 10, 21, 25 et 31 mai 2007. Dans la deuxième étape, le protocole a été affiné sur la base des premières observations.

- *Protocole d'observation à Koné*

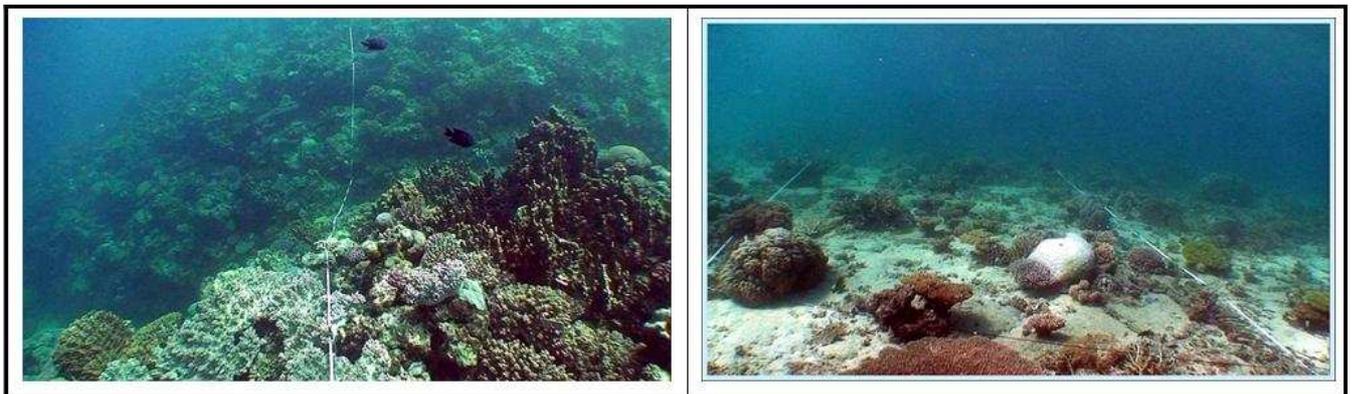
Les observations ont été réalisées sur la pente externe du récif barrière (Figure 9) dans trois sites (OBRK3, OBRK4, OF2c) des campagnes annuelles de comptages visuels.

**Figure 9.** Les 3 sites d'observation sur la pente externe du lagon de Koné.



Deux transects vidéo droits (Encadré 1) ont été réalisés par site, l'un avant le passage des compteurs visuels sous-marins, le second après, soit au total 6 transects vidéo réalisés et analysés pour 3 comptages visuels (Annexe II). Chaque transect a été matérialisé par un pentadécamètre marqué tous les 10m (Figure 10).

**Figure 10.** Délimitation des transects à Koné (gauche) et Signal (droite).



- **Protocole d'observation à Signal**

L'expérience de Koné a conduit à matérialiser la surface du transect plutôt qu'une seule ligne située en son milieu. Installé en début de chaque journée par les plongeurs, ce quadrat a une surface précise de 4x50m matérialisée par deux pentadécamètres reliés tous les 10m par des cordelettes de 4m (Figure 10).

Sur chacun des trois sites sous le vent de l'Ilot Signal, quatre quadrats ont été disposés pseudo-aléatoirement sur ou à proximité du tombant (Q0, Q1, Q2, Q3)(Figure 11).

**Figure 11.** Les trois sites d'observation de l'îlot Signal (jaune) et les quadrats (Q1, Q2 et Q3 en rouge et Q0 en vert).



Cinquante-trois transects vidéo ont été réalisés au total pour Signal (Annexe II). En Avril, les "quadrats 0" des 3 sites ont servi à perfectionner les techniques d'observation vidéo utilisées par la suite (matérialisation de la surface, altitude, angle, transects navigants...) (Encadré 1). Quinze transects vidéos ont été réalisés mais pas de comptages visuels associés. Deux transects ont été destinés à la comparaison méthode photo / méthode vidéo pour l'acquisition des données habitat.

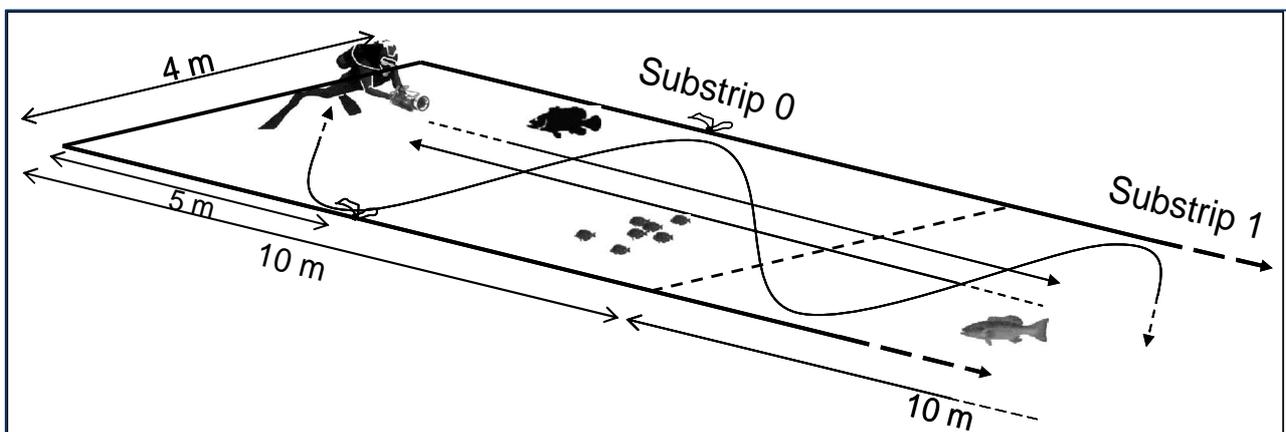
En Mai, 36 transects vidéo et 9 comptages visuels ont été réalisés sur l'ensemble des 3 sites. Pour chaque quadrat (Q1, Q2 et Q3) un transect droit et un transect navigant ont été réalisés avant et après chaque passage des compteurs visuels. Ainsi, à chaque site, 12 transects vidéo (6 transects droits et 6 transects navigants) ont été appariés à trois comptages visuels.

### Encadré 1. Transects Vidéo : droits et navigants

Deux types de transect ont été utilisés durant cette étude (Figure 12) :

- **Transect droit** : Le transect **droit** correspond à une trajectoire rectiligne du plongeur, à altitude au dessus du fond ( $\approx 1.5$  m) et vitesse ( $\approx 0.2$  m.s<sup>-1</sup>) constantes. L'angle de vue de la caméra est proche de l'horizontale, permettant de balayer une surface de 4 à 5 m de large à partir d'une distance d'environ 1.5 m du caméraman. Ce type de transect a été utilisé à Koné (la vidéo étant centrée sur le pentadécamètre) et à Signal (trajectoire à égale distance des pentadécamètres dans la surface matérialisée). La durée d'un tel transect est d'environ 5 minutes.
- **Transect navigant** : A Signal, la présence du quadrat a permis de réaliser un second type de transect, dit **navigant**, consistant à naviguer dans le quadrat sans tenir compte de la vitesse ni de la hauteur (Figure 10 et 11) afin de maximiser la probabilité de détecter les poissons présents. La durée du transect peut varier de 8 à 12 minutes.

Figure 12. Les deux types de transects utilisés durant cette étude.



- **Protocole pour les comptages visuels sous-marins**

La méthode des comptages visuels en plongées, ou Underwater Visual Census (UVC) est la principale méthode d'évaluation des peuplements de poissons dans les écosystèmes coralliens, particulièrement sur les récifs barrières et les massifs coralliens intermédiaires. En effet, les caractéristiques du milieu corallien (clarté de l'eau, faibles profondeurs) ont favorisé le recours à des méthodes d'estimation directe des peuplements ichtyologiques telles que les UVC, dont la première utilisation remonte à 1954 (Brock 1954). Les UVC présentent de plus l'avantage d'être relativement rapide et de laisser intact le milieu observé (Harmelin *et al.* 1985).

- **Koné** : La technique utilisée est celle des transects à distance variable (Kulbicki & Sarramégna 1999) (Figure 13, haut). Deux plongeurs parcourent simultanément le transect. Le premier compte et note uniquement les espèces qui risquent de fuir à l'approche du plongeur (souvent les espèces pêchées), le second compte toutes les autres espèces, au total toutes les espèces sont relevées. Pour chaque poisson (ou groupe de poissons) observé, l'espèce (ou quand l'espèce ne peut être identifiée, le genre), le nombre d'individus, leur longueur moyenne (en cm) et le secteur dans lequel il a été observé est noté.

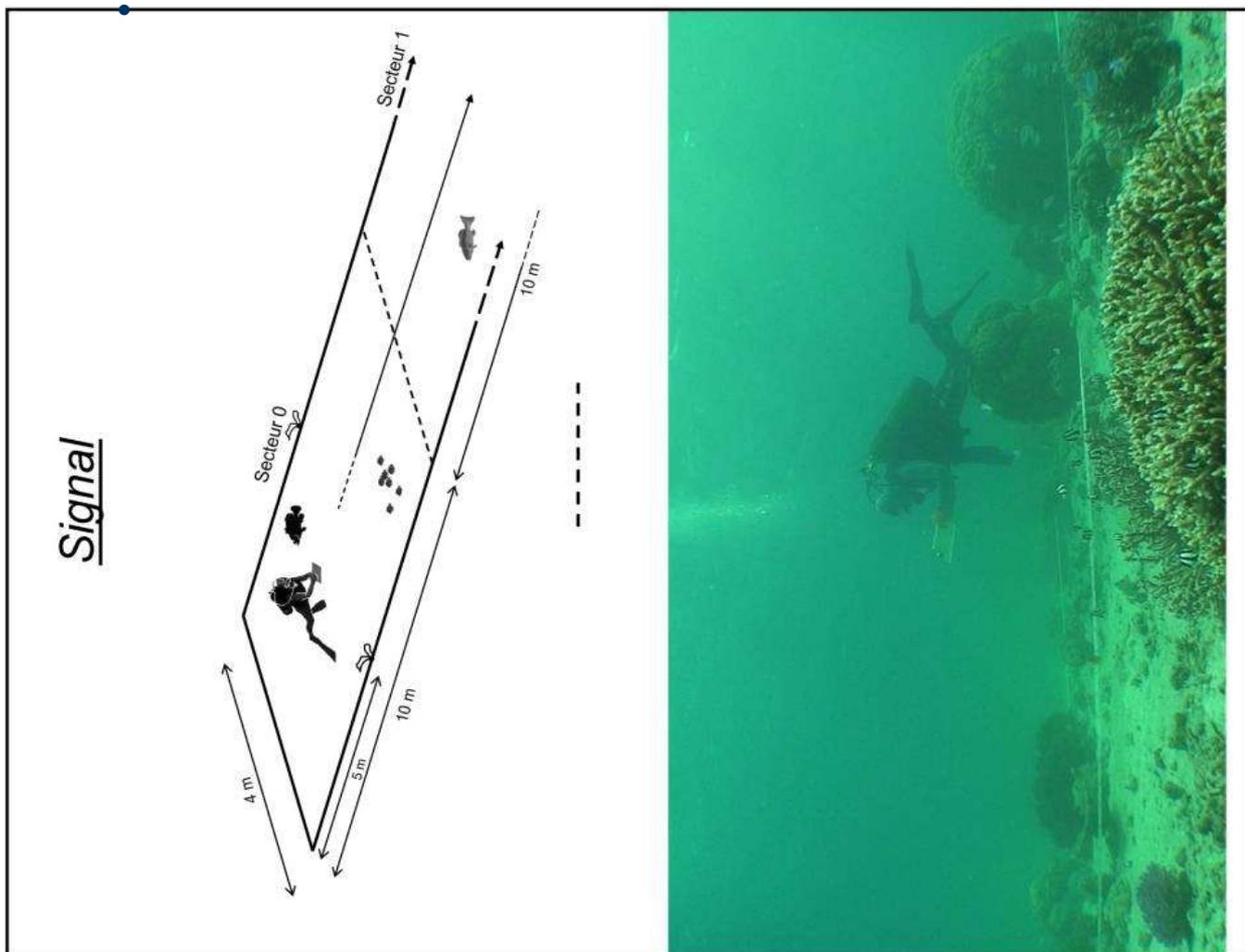
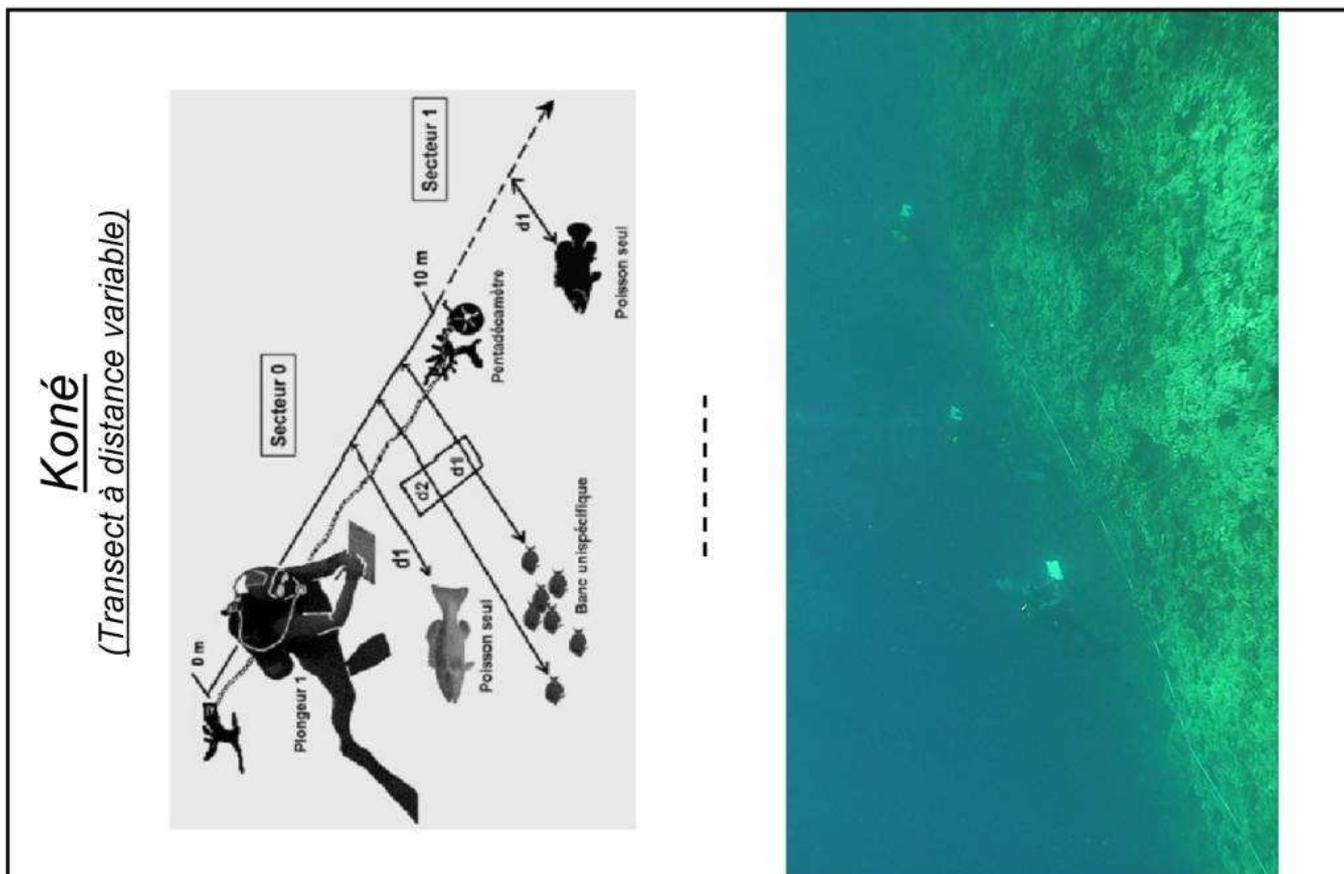
La distance (en m) des poissons au transect est relevée ; dans le cas d'un banc ou d'un groupe de poissons, le plongeur note la distance au transect du poisson le plus proche  $d_1$  et celle du poisson le plus éloigné  $d_2$  (Figure 13, haut). Le cumul des données récoltées par les deux plongeurs permet d'obtenir des données sur l'ensemble des espèces observées.

- **Signal** : Grâce à la matérialisation du quadrat, tous les poissons rencontrés à l'intérieur du périmètre ont été dénombrés, et ce par un seul compteur. L'espèce (ou le genre), le nombre d'individus, leur longueur moyenne (en cm) et le secteur du transect ont été relevés (Figure 13, bas). Les données ont ensuite été saisies avec le logiciel ReACT, qui attribue un code spécifique à chaque espèce et à chaque famille, et permet de calculer la biomasse par espèce selon leur nombre et leur taille (Letourneur *et al.* 1997). Cependant, le fichier d'entrée de données ne prend pas en compte le genre. Afin de travailler avec la même classification de tailles, un tableau de correspondances avec les classes Petit, Moyen, Grand a été réalisé grâce à l'expertise de G. Mou-Tham (Annexe 3).

- **Personnel requis pour les missions de terrain**

A Koné, trois plongeurs ont relevé les données poissons et habitats (Annexe II) et un plongeur (K. Leleu) a réalisé les vidéos. A Signal, il y avait deux plongeurs compteurs (Annexe II) et trois plongeurs caméraman (D. Pelletier, G. Mou-Tham et K. Leleu). De manière générale, trois plongeurs sont suffisants (un compteur, un caméraman et un plongeur sécurité).

**Figure 13.** Techniques de comptage visuel utilisées pour la comparaison avec les transects vidéo à Koné et à Signal.



- **Analyse des images vidéo**

A Signal, 48 transects sur les 53 réalisés ont pu être analysés. Trois transects étaient inexploitable pour des raisons de visibilité insuffisante, mauvaise hauteur ou de houle et les deux transects destinés à la comparaison photo/vidéo pour l'habitat n'ont pas été retenus pour les analyses poissons. Au total, 16 transects vidéo ont été analysés pour le site 1, 15 pour le site 2 et 17 pour le site 3.

Identification des poissons. Pour ces analyses, nous avons choisi d'identifier toutes les espèces afin de produire une comparaison entre UVC et vidéo. Deux personnes ont été nécessaires pour l'analyse des images : un expert pouvant identifier les poissons tropicaux et une seconde personne aidant à l'analyse et saisissant les données.

L'identification a porté sur tous les poissons aperçus par secteur de transect sur les vidéos réalisées à Koné, et sur les poissons rencontrés à l'intérieur du quadrat et par secteur de 10 m pour les vidéos de Signal. Lorsque l'espèce ne pouvait être clairement reconnue, l'identification s'est faite au moins au niveau de la famille, si possible au niveau du genre. Les poissons détectés mais ne pouvant être identifiés (par exemple parce que seule une petite partie du corps (seule une petite partie du corps était entrevue, ou encore la visibilité insuffisante) ont été pris en compte dans l'abondance totale.

Pour chaque individu rencontré, un code famille et un code espèce ont été attribués d'après la base de données ReACT, (Labrosse *et al.* 2003), logiciel développé conjointement par l'UR CoReUS et le Secrétariat des Communautés du Pacifique. Des codes espèces particuliers ont été créés pour les individus seulement reconnus au niveau du genre et de la famille. Pour les individus non reconnus, une mention « non identifié » a été attribuée.

Estimation de la taille (Petit, Moyen, Grand). Tous les individus rencontrés sur la vidéo (ou dans le quadrat) ont été comptés par espèce et par classe de taille. La taille est estimée de manière semi quantitative (petit, moyen, gros) relativement à chaque espèce.

Comptage -Double comptage. S'il subsistait un doute sur le risque de compter deux fois un même poisson (aucune marque distinctive, pas de dimorphisme avec un ou des individus comptés lors d'un précédent secteur), cet individu n'était pas pris en compte. Cette procédure conduit à une sous-estimation du nombre d'individus.

Habitat. L'habitat de chaque quadrat vidéo a été caractérisé grâce à la méthode du Medium Scale Approach (MSA) ou « approche paysagère » (Clua et al 2006).

Pour chaque secteur de 4 m x 5 m est estimée la couverture par : 1- les éléments abiotiques (10 catégories allant de la vase à la roche massive) ; 2- les coraux (7 catégories) ; 3- les éponges et coraux mous ; 4- les algues (7 catégories). Différents paramètres (situation géographique et morphologique, expositions au vent et au courant, présence et abondance de macro-invertébrés...) sont également relevés. Le marquage des pentadécamètres a permis de relever ces informations tous les 5 m (Annexe IV).

## DISCUSSION DE LA TECHNIQUE D'OBSERVATION

- *Mise en œuvre*

A Koné, la forte déclivité de la pente externe ainsi que la rugosité du substrat ont rendu difficile l'estimation du champ de vision à partir de la vidéo (et donc l'estimation de la surface échantillonnée), ne permettant pas une comparaison formelle des données vidéo et des UVC. Cette première étape a néanmoins été utile pour mettre au point le protocole utilisé à Signal.

La délimitation d'une zone de comptage identique pour les compteurs visuels et la vidéo a facilité la comparaison des deux techniques en éliminant le problème posé par l'évaluation de la surface observée. Cette méthode s'est avérée légèrement plus longue à installer (10 minutes contre 3 minutes pour un simple pentadécamètre). Les transects navigants sont faciles à mettre en œuvre et à partir des images obtenues, il est possible de détecter et compter un nombre d'espèces de poissons qui s'approche des résultats des UVC. Le quadrat par sa surface limitée présente par contre l'inconvénient d'exclure en partie les gros spécimens de poissons, par ex. des prédateurs comme les Serranidés, ceux-ci se tenant à une distance respectable des plongeurs (donc hors quadrat pour les comptages vidéo et visuels). Ce point affecte aussi bien les transects vidéo que les transects UVC.

Le plongeur étant présent dans les deux cas, les transects vidéos présentent les mêmes inconvénients que les UVC, à savoir un effet répulsif pour les poissons du aux bulles, au plongeur et aux bruits engendrés. Elle implique aussi qu'un ou deux autres plongeurs soient sous l'eau pour des questions de sécurité.

### III.3. Stations Vidéos Rotatives

- *Principe*

Dans cette troisième technique, un système qui filme de manière autonome en décrivant plusieurs rotations sur 360° est immergé depuis la surface, déposé puis laissé sur le fond, le bateau s'éloignant le temps de l'observation pour ne pas

perturber les poissons. L'avantage attendu de cette technique est de ne perturber le poisson ni par le bruit du moteur du bateau (vidéo tractée telle que pratiquée au I), ni par la présence d'un plongeur.

- **Mise au point de la technique**

Cette technique est nouvelle et a demandé de concevoir et fabriquer les systèmes rotatifs programmés, les systèmes de largage et les supports.

**Caissons caméras et caméras.** Les deux ensembles de la Figure 1 ont été utilisés. Ils ont été fixés aux axes des caissons moteurs grâce à une bague laiton munie d'une goupille.

**Caissons moteurs.** Trois systèmes caisson/moteurs rotatifs ont été utilisés pendant cette étude. L'un a été construit par l'Unité de Service IMAGO de l'IRD (Francis Gallois et Paul Mazoyer), avec la participation de Philippe Le Touze et Alain Courtaut. Son poids hors d'eau est de 7 kg (Figure 14, à droite). Le moteur est alimenté par deux batteries 12V - 12Ah.

Deux autres systèmes avec des caissons cylindriques ont été fabriqués par Gilles Hervé, du Laboratoire Côtier d'Ifremer Toulon, pour un poids de 1.5 kg chacun. (Figure 13). D'encombrement plus faible, ils comprennent chacun un moteur de type tourne-broche alimenté par une pile rechargeable R9.

Les deux systèmes sont équipés de composants électroniques qui pilotent la mise en route des moteurs et donc les rotations.

**Figure 14.** Systèmes utilisés pour les stations vidéo rotatives (caissons moteurs cylindrique à gauche - sur le Coris, caisson carré à droite - sur l'Aldric).



**Supports.** Deux structures métalliques construites par Nicaise Daffond (Atelier IRD Nouméa) ont été utilisées pour assurer une stabilité à l'ensemble au fond de l'eau tout en élevant l'angle de vue. Des bras ont été rajoutés afin d'y fixer le système de largage (Figure 14) et des plombs pour abaisser le centre de gravité du tout.

**Systèmes de largage.** Ils se composent de 4 fils de nylon fixés à une extrémité sur les structures métalliques au moyen d'émerillons et reliés à l'autre extrémité à une bouée intermédiaire. Celle-ci met les fils de nylon sous tension pour éviter qu'ils ne se coincent dans le caisson lors des rotations. Cette bouée intermédiaire est elle-même reliée à un bout permettant i) de larguer et haler le système du bateau et ii) de repérer le système en surface par une seconde bouée attachée à l'extrémité du bout. Des marques ont été placées sur les fils de nylon afin d'identifier les secteurs de chaque rotation lors de l'analyse de la vidéo.

Au complet, les systèmes ont un poids total d'environ 10 kg afin d'être stables une fois sous l'eau.

**Programmation des rotations.** Plusieurs essais *in situ* et au bureau ont conduit à trouver les angles et vitesses de rotation appropriés et à régler les composants électroniques en fonction. Le réglage qui s'est avéré satisfaisant correspond à des rotations par secteur de 60° toutes les 30 secondes (soit une rotation en 3 minutes).

- **Mise en œuvre à chaque station**

Le système est déposé sur le fond au point géographique prévu et sa position réelle est relevée par GPS. Lorsque le bateau arrive sur le point prévu, un emplacement adéquat pour la pose de la caméra (terrain plat, si possible proche de patates coralliennes ou du récif) peut être recherché dans un rayon d'une cinquantaine de mètres. La dépose du système dans de bonnes conditions (horizontalité, position par rapport à d'éventuels obstacles à la visibilité, faible houle) est cruciale et mérite d'en prendre le temps. L'aide d'une lunette de calfat est alors précieuse.

Le système est laissé de 12 à 15 mn sur le fond, décomptées lorsque le bateau s'est suffisamment éloigné, le temps pour la caméra d'effectuer trois rotations sans perturbation par la présence du bateau.

- **Protocole d'observation à Signal-Larégnère**

La zone d'étude comprend d'une part l'Îlot Signal et l'Îlot Larégnère (réserves marines où la pêche est totalement interdite), et d'autre part le récif Larégnère et le récif Sénez (zones à proximité des premières mais non protégées).

Le nombre et la distribution spatiale des stations ont été définis préalablement aux sorties grâce à une représentation sous ArcGis. La position de certains points est affinée sur le terrain en fonction des conditions rencontrées *in situ*.

Entre Signal et Larégnère, quatre radiales espacées d'environ 0.25 milles nautiques (~ 420 m) ont été prévues. La distance entre deux stations successives d'une radiale est d'environ 0.2 milles (~ 370 m)(Figure 15). Autour des deux îlots en réserve, deux cercles concentriques de stations ont été réalisées, l'un en bordure du récif, l'autre plus à l'extérieur à environ 150 m du premier. Sur chaque cercle, les stations sont espacées d'environ 0.1 milles (environ 185 m) (Figure 15). Pour les deux récifs, un seul cercle de stations a été réalisé, avec des stations espacées d'environ 185 m (Figure 15). La station la plus profonde est à 20 m, une profondeur maximale arbitraire de précaution pour l'étanchéité des caissons moteur.

La planification des observations était revue chaque jour en fonction des stations réalisées au cours des sorties précédentes et de leur validité.

Vingt-deux sorties ont été effectuées sur cette zone : 14 sur la période allant du 18/06/07 au 06/07/07, 7 sorties les 30 et 31 juillet, le 29 octobre, 08, 16 et 29 novembre 2007, et le 25 janvier et le 21 février 2008 (Annexe V). Trois cent dix-sept stations ont été réalisées, pour 221 vidéos pleinement exploitables pour les analyses (70%). 96 stations vidéos ne sont pas (ou seulement partiellement) exploitables en raison de défaut de rotation de la caméra, de chute du système, de problème d'autofocus ou de problème d'enregistrement.

Selon les sorties, un ou deux systèmes rotatifs ont été utilisés en fonction des problèmes techniques rencontrés. En moyenne, 14.4 stations ont été réalisées par jour de sortie et 3.7 stations par heure (Annexe V). Un maximum de 31 stations en une journée a été atteint en l'absence de souci technique. En tout, 82h46 (hors temps de trajet) ont été nécessaires à la réalisation de ces 317 stations, soit 03h52 par sortie.

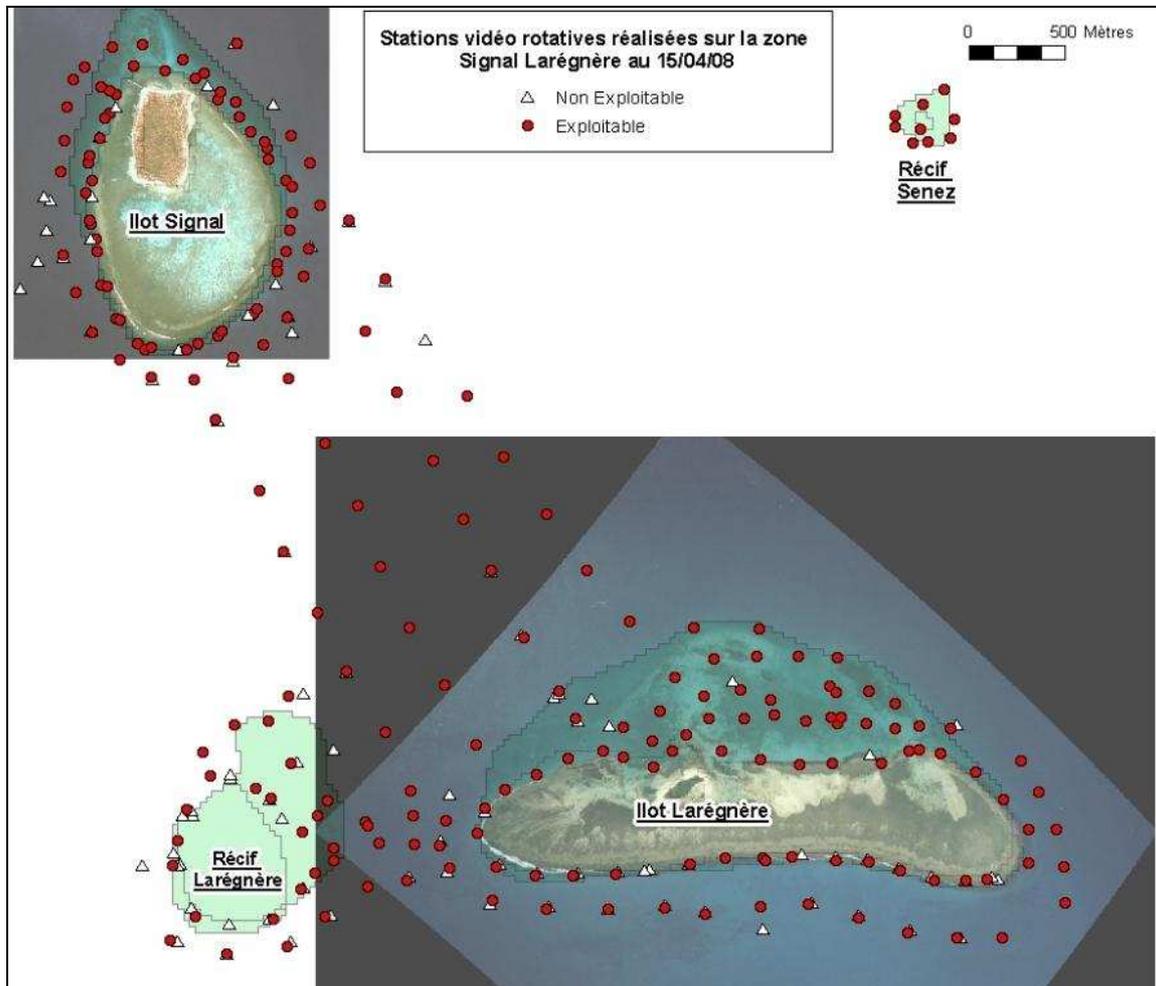
- ***Protocole d'observation à dans les lagons de la zone Voh-Koné-Pouembout***

La zone d'étude d'étend de la passe de Duroc à la passe de Pouembout. Le nombre et la distribution spatiale des stations ont été définis préalablement aux sorties grâce à une représentation sous ArcGis. Deux semaines de sortie ont été nécessaires, en décembre 2007 et en février 2008 (en remplacement d'une autre semaine prévue en décembre 2007 et annulée faute de bateau).

En décembre 2007, 120 stations distantes de 500 m ont été définies sur la zone d'Oundjo et leurs coordonnées ont été extraites (Annexe VII, Carte 1). Quarante-deux de ces stations ont pu être réalisées lors des deux premières sorties à partir de la carte. Un certain nombre se sont révélées inaccessibles au bateau ou impraticables pour le système par manque de profondeur. Le temps pris pour naviguer entre les nombreuses patates de corail a réduit le nombre de stations effectives. Les trois dernières sorties se sont déroulées sur le plateau de Koniene et dans la passe de Koné avec des points déterminés sur le terrain à partir du GPS du bateau. Les 59 stations correspondantes sont distantes en

moyenne de 800 m, sauf le long de la pente interne du récif barrière où elles étaient espacées de 500 m.

**Figure 15.** Stations vidéo rotatives réalisées dans la zone Signal-Larégnère avec les stations exploitables pour l'analyse (ronds rouges), et les stations non analysables (triangles blancs).



En février 2008, 135 stations ont été préalablement définies avec ArcGIS sur les zones du grand Récif de Gatope, du Grand Ronfleur, d'Oundjo, et de Goyeta ainsi que dans les passes de Koné et de Pouembout. Les positions de ces stations ont été rentrées dans le GPS portable. Deux stations successives étaient espacées de 500 m ou d'un kilomètre selon la zone et sa morphologie (patates coralliennes, herbier, substrat meuble, réserve d'Oundjo, etc....). La planification des observations était revue chaque jour en fonction des stations réalisées au cours des sorties précédentes et de leur validité.

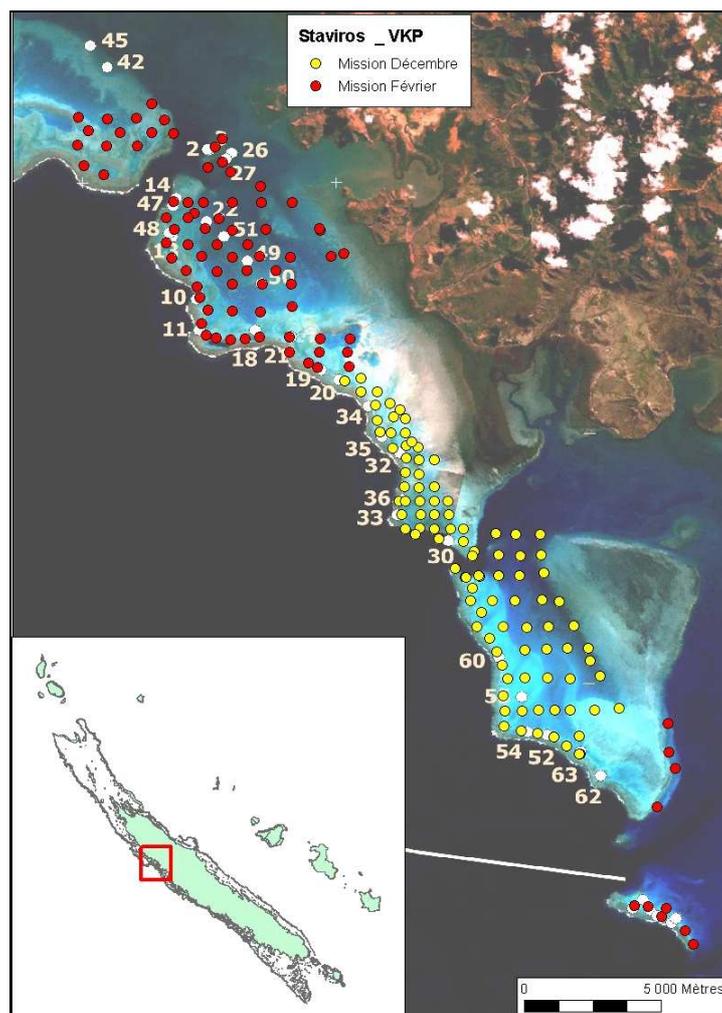
Dix sorties se sont étalées sur deux semaines, du 03 au 07 décembre 2007 (Annexe VII) et du 18 au 22 février 2008 (Annexe VIII). Cent quatre-vingt sept stations vidéos ont été obtenues, correspondant à ~60 h de bateau hors temps de trajet entre la mise à l'eau des premier et dernier points (76h de bateau au

total). Cent cinquante et une stations sont exploitables (soit 80%), les deux tiers des stations non exploitables le sont en raison des conditions de terrain. En décembre 2007, 101 stations (78 exploitables) ont été réalisées, contre 86 (73 exploitables) en février 2008.

5 sorties sur 10 furent effectuées avec deux systèmes. Avec les deux systèmes, 22 stations ont été réalisées à chaque sortie (maximum de 29), pour une moyenne de 3.4 par heure. Avec un seul système (mais deux caméras), 15.4 stations ont été réalisées en moyenne à chaque sortie (maximum de 24), avec une moyenne de 2.7 stations par heure.

En février 2008, des problèmes techniques et de mauvaises conditions météorologiques ont permis de faire seulement 86 des points prévus en 5 jours (Annexe VIII), dont 73 se sont avérés exploitables (parmi les 13 non exploitables, neuf l'ont été du fait des conditions météorologiques et environnementales).

**Figure 16.** Stations vidéo rotatives réalisées dans la zone Voh-Koné-Pouembout en décembre 2007 (*en jaune*) et février 2008 (*en rouge*).



- ***Personnel requis pour les missions de terrain***

A Signal, la plupart des sorties se sont déroulées soit à trois personnes sur le bateau en plus du pilote (9 sorties), soit à deux personnes (8 sorties), et trois sorties se sont déroulées avec une seule personne en plus du pilote. A Koné, la plupart des sorties se sont déroulées avec deux personnes à bord en plus du pilote (8 sorties). Deux sorties ont été effectuées avec seulement une personne plus le pilote.

Après plus de 30 sorties terrain, l'équipage adéquat préconisé est de deux personnes sur le bateau en plus du pilote. Cependant, si le pilote aide à la mise à l'eau et à la remontée du système, il est tout à fait possible de n'être qu'à deux sur le bateau. Dans ce cas, et pour la réalisation des stations dans les profondeurs de 15 m et plus, l'assistance d'un vire-ligne facilite les manipulations du système (testé à Signal-Larégnère).

- ***Analyse des vidéos***

L'analyse des images requiert une ou deux personnes selon le niveau d'identification souhaité. Il est néanmoins conseillé d'être deux pour les zones les plus riches comme les tombants internes ou les patates coralliennes.

La condition initiale pour qu'une vidéo soit jugée analysable est une visibilité d'au moins 5 m, **ET** qu'au moins deux rotations complètes aient été effectuées (la visibilité est souvent légèrement supérieure à la distance à laquelle un poisson est identifiable (environ 1 m de plus). Dans la plupart des cas, trois rotations sont analysées par station vidéo. Si le système vidéo est relevé avant l'achèvement d'une rotation, l'analyse se déroule jusqu'au secteur avant relevage. Certaines stations vidéo ont en effet été relevées avant la fin de la troisième rotation, du fait de l'irrégularité des temps et angles de rotation au fond, par ex. 7 secteurs au lieu de 6, secteur supérieur à 30s, saut de secteur...). Ainsi, la durée moyenne des stations analysées est de 10mn 18s pour Signal-Larégnère (+/- 2mn 8s) et de 10mn 7s (+/- 2mn 30s) pour la zone Voh-Koné-Pouembout. Ces différences viennent principalement de la difficulté à régler précisément les minuteries des circuits électroniques, ainsi que des conditions météo qui peuvent engendrer plus ou moins de résistances (mouvements de l'eau), ralentissant les rotations.

La première rotation est décomptée à partir du moment où le bateau est suffisamment éloigné pour ne pas perturber les observations.

A chaque vidéo, les temps précis (hh:mm:ss)(encore appelés timecodes) de début et de fin d'analyse sont relevés afin de calculer la durée du film analysé. La visibilité est estimée à partir des images. Les nombres effectifs de rotations et de secteurs sont aussi notés. Dans la plupart des cas, 6 secteurs par rotation sont analysés. Mais si un saut de secteur se produit, si l'angle de rotation est plus long ou plus court que les 60° initialement prévus, ou si le temps de film par

secteur est supérieur ou inférieur aux 30s prévues, le nombre de secteurs analysés pour 3 rotations peut différer, mais en aucun cas il n'est supérieur à 18.

- ***Identification des poissons***

Les poissons appartenant à une famille d'intérêt halieutique et emblématique (Tableau 1) sont dénombrés et identifiés.

Tous les poissons aperçus sont identifiés et leur taille est estimée (classes de taille : petit, moyen, grand) et les secteurs dans lequel il apparaît sont relevés (présence/absence cochée). Lorsqu'un poisson est jugé être observé à plus de 5 m de la caméra, sa distance à la caméra est estimée et notée. Pour la vidéo, dans les conditions pratiquées, une visibilité supérieure à 10 m est exceptionnelle ; les poissons apparaissant dans cette zone sont en général difficilement identifiables.

Nous avons choisi des niveaux d'analyse différents pour les deux zones ayant fait l'objet d'observations.

Pour la zone de Signal-Larégnère, l'identification des poissons s'est systématiquement faite jusqu'au niveau de l'espèce. Quand il n'était pas possible d'identifier clairement l'individu, l'identification s'est faite au moins au niveau de la famille, si possible au niveau du genre.

Pour la zone de Koné, afin de tester une méthode plus rapide et ne requérant pas d'expert, l'identification s'est faite au moins au niveau de la famille, si possible au niveau du genre et de l'espèce.

Les individus non reconnus au niveau de l'espèce sont nommés Genre sp. ou Famille sp.

- ***Comptage - Double comptage***

Tous les individus rencontrés sur au moins un des secteurs d'une rotation ont été comptés selon leur espèce et leur classe de taille. Dans les conditions où il y avait risque de compter deux fois un même poisson qui se serait déplacé au cours d'une même rotation (aucune marque distinctive, similitude avec un ou des individus comptés lors d'un précédent secteur), le ou les individus correspondants ne sont pas pris en compte (cette procédure génère un risque de sous-estimation du nombre d'individus). La présence d'un individu dans un secteur était également relevée (x), de même que les sauts de secteurs dans la rotation (n). La présence d'individus relevés lors d'un saut de secteur était aussi relevée (nx).

Le choix de rotations toutes les 30s résulte aussi d'essais destinés à réduire cette possibilité de double comptage. Pour les espèces mobiles, on fait de plus attention aux comptages avant, pendant et après rotation. L'abondance étant relevée à l'échelle de la rotation et non du secteur, le risque est finalement

limité. Le fait de disposer d'au moins deux rotations exploitables par station donne en outre une idée de la variabilité de l'observation.

- ***Habitat***

Pour cette étude, les habitats de chaque station ont été caractérisés sous forme de dominantes (3 max.). La complexité est codée de 1 (milieu simple) à 5 (milieu exceptionnellement complexe), ainsi que la présence ou l'absence de corail vivant. Les informations concernant le pourcentage de couverture de chaque élément ainsi que la complexité du paysage sont accessibles à partir des vidéos (Andréfouët, comm. pers.). La classification définie par Serge Andréfouët dans l'Atlas des Récifs de Nouvelle-Calédonie (Andréfouët & Torres-Pullizza 2004) a aussi été utilisée pour caractériser chaque station. Cependant, le temps d'analyse nécessaire à une telle démarche s'est avéré trop important et ce travail est apparu non prioritaire dans ce projet compte tenu du plan de charge. Néanmoins, la qualité d'archives des vidéos rend ces analyses possibles à tout moment grâce au rejeu des images. Les informations obtenues pourront être utilisées pour des projets de cartographie ou de suivi des habitats.

## DISCUSSION DE LA TECHNIQUE D'OBSERVATION

- ***Personnel requis pour les missions de terrain***

Seulement deux personnes sont nécessaires sur le terrain (deux techniciens ou un technicien et le pilote si celui-ci aide). Il suffit à bord d'une seule personne connaissant la mise en œuvre de la technique. Avant comme après le terrain, une personne suffit pour préparer la sortie puis valider et archiver les images. Des documents d'aide à la mise en œuvre avant, pendant et après le terrain ont été rédigés (Annexes IX à XI).

- ***Nombre de stations et couverture spatiale***

Malgré la nouveauté de cette technique, il a été possible de la tester tout en réalisant un grand nombre de stations et donc d'assurer une bonne couverture spatiale des zones d'étude. Les résultats de terrain confirmés en 2008 par une deuxième campagne d'observations montrent qu'avec deux systèmes fiables, il est possible de réaliser une trentaine de stations par journée (une vingtaine avec un seul système). Le nombre de stations est en réalité limité par la capacité des disques durs des caméras. Les caméras utilisées dans cette étude ont un disque dur de 40 Go. Depuis est sortie sur le marché une caméra avec un disque de 60 ou 80 Go, ce qui augmente d'autant le nombre de stations réalisables par jour. Le déchargement d'une caméra sur ordinateur est cependant toujours possible ; il prend une trentaine de minutes, laissant ainsi la possibilité de faire un peu plus de points par jour. Néanmoins, il requiert d'apporter à bord un ordinateur

portable sur le bateau, ce qui n'est pas forcément conseillé lorsque les conditions météo sont mauvaises ou que le bateau est insuffisamment protégé.

Le nombre de stations réalisables par sortie dépend également du temps de trajet entre les stations qui doivent être préférablement réalisées par paires. Le temps de trajet dépend non seulement de la distance entre stations mais aussi de la vitesse à laquelle le bateau peut avancer pendant le trajet. Cette vitesse se réduit dans des zones avec des patates coralliennes et en cas de clapot.

On doit aussi noter qu'il n'est guère utile de disposer de plus de deux systèmes par bateau, le délai entre deux stations successives ne laissant pas le temps de mettre en place plus de deux systèmes simultanément.

Au final, une grande surface peut être échantillonnée par sortie. Ainsi, si 30 points espacés de 500m sont réalisés et qu'ils sont tous exploitables, c'est une surface minimum de 2355m<sup>2</sup> qui est analysable pour une surface couverte / échantillonnée de 7.5 km<sup>2</sup>.

- ***Contraintes de sortie sur le terrain***

En ce qui concerne la météo, la manipulation de ces systèmes n'est pas très contraignante. Plusieurs sorties ont eu lieu avec une météo assez défavorable (25 nœuds de vents, 1m de clapot, grosses pluies) sans dégâts matériels. C'est lors de la mise à l'eau et de la remontée que l'attention doit être maximale. La prise de coffre requiert une grande attention de la part du pilote en cas de météo difficile.

A plusieurs reprises mais dans un nombre limité de cas liés à des conditions météo difficiles, la visibilité sur la vidéo s'est avérée insuffisante. La station a alors été refaite un jour suivant.

En ce qui concerne la profondeur, les stations ont été réalisées dans des fonds de 1.2 m à 20 m. La profondeur minimale à laquelle il est possible d'opérer avec les systèmes actuels est de 1.4 m. En deçà, il est nécessaire de prévoir un système de largage différent, voire de poser les stations sans système de largage. Il est tout à fait possible de repenser les supports des caissons pour aller dans des profondeurs qui ne pourront toutefois être inférieures à 0.5 m, hauteur du système caisson moteur-caisson caméra. Par ailleurs, nous avons limité la profondeur d'utilisation à 20 m. Les caissons cylindriques supportent cette profondeur sans problème et même au delà, mais nous avons préféré ne pas prendre de risque en les descendant plus profond. Les problèmes rencontrés d'étanchéité des caissons, d'électronique et d'alimentation ont été facilement résolus. Compte tenu du déroulement de la campagne 2008, nous considérons que le système est au point et pourra être utilisé si nécessaire dans des profondeurs plus importantes.

Pour ce qui est de la nature du fond, les systèmes peuvent être posés dans une variété d'habitats et de types de fonds. Cependant, la topographie de certains fonds (pente externe, certains tombants internes et fonds détritiques) s'est avérée problématique pour l'horizontalité du système. Là encore, une solution technique sera recherchée pour pouvoir réaliser des stations sur des fonds accidentés.

Dans cette étude de faisabilité, nous avons choisi de limiter les coûts matériels de fabrication et de mise en œuvre des systèmes rotatifs. Les résultats obtenus nous encouragent à travailler désormais sur la fiabilité technique du système rotatif et de le rendre plus robuste en vue d'une utilisation en routine. La solution adoptée pour les campagnes de juin et juillet 2008 a donné pleine satisfaction. Les durées et angles des rotations se sont avérés réguliers, aucun problème d'étanchéité n'a été rencontré (mis à part la casse accidentelle d'un des caissons caméras) et la proportion de stations exploitables par rapport aux stations réalisées en trois semaines de terrain est remarquablement élevée (327 sur 366, soit 89%).

- **Analyse des images**

En comparaison de la vidéo tractée et des transects vidéo, l'analyse des vidéos rotatives est plus facile en termes d'identification et de comptage, surtout du fait qu'il s'agit d'une succession de plans fixes entrecoupés des phases de rotation. Seuls les poissons se déplacent.

Le fait d'avoir analysé les vidéos de la zone Signal-Larégnère et de la zone VKP à des niveaux d'identification différents (de l'espèce à la famille et de la famille à l'espèce) va permettre d'évaluer la méthode à plusieurs niveaux de détails. La qualité d'archive des vidéos rend possible des analyses ultérieures plus détaillées sur les vidéos de Koné si besoin est.

Quelques difficultés ont été rencontrées pendant les analyses, notamment l'estimation de la visibilité et de la distance des poissons à la caméra. Equiper le système de lasers sous marins est actuellement à l'étude pour diminuer ces incertitudes. Ainsi, deux paires de lasers sous-marins ont été acquises qui seront expérimentées en 2009. Une expérience de calibration des images avec des poissons en plastique de plusieurs tailles et plusieurs couleurs, placées à des distances variables mais connues a eu lieu en juillet 2008 et est en cours de dépouillement. Nous étudierons aussi l'intérêt de transformer ce système en système stéréo qui permettrait de s'affranchir de ces questions (Harvey et al. 2002), toutefois aux prix d'un encombrement et d'un coût plus élevé (2 caissons-caméras par système stéréo).

La visibilité générale est notée lors de l'analyse, mais une diminution de la surface observée peut se produire si un obstacle se présente face à la caméra sur un secteur. Même si la visibilité par secteur était relevée, le problème

viendrait du fait que l'on peut apercevoir des poissons plus loin que l'obstacle si celui-ci ne bouche pas complètement l'angle de vue de la caméra. C'est pourquoi le placement du système in situ n'est pas anodin.

Des informations précises sur l'habitat (pourcentage de couverture, complexité) peuvent aussi être extraites des vidéos réalisées (Guillemot, Vigliola, Andr  fouet, comm. pers.).

## IV. Informations obtenues à partir des observations.

### IV.1. Etat d'avancement des analyses et espèces observées par chaque technique.

- *Vidéo tractée*

Ces observations ne faisant pas partie de l'opération Zoneco, leur analyse n'était pas prioritaire. Cependant, l'opportunité de confronter la technique aux autres techniques vidéo nous a conduit à analyser un trait (réalisé à Koné et référencé Ko23). Comme décrit au § III.1, le trait a été discrétisé en transects de 50 m en s'appuyant sur les données GPS collectées toutes les 2 secondes. Ce sont les premières analyses d'image qui ont été réalisées. Il a fallu environ 10 minutes (+/- 5min) pour analyser un transect (soit 1 mn de vidéo), selon la complexité de l'habitat et les peuplements ichthyologiques rencontrés. L'analyse des **40** transects du trait Ko23 a pris un peu plus de 6h.

Dans le trait analysé, 2329 poissons ont été dénombrés appartenant à 52 espèces de 16 familles. Parmi les 2329 poissons, on compte 1147 petits (dont près de 1000 petits Scaridés, presque toujours en bancs d'une cinquantaine d'individus), 1038 moyens et 144 grands.

**16** familles pour **27** genres et **52** espèces ont été observés. 2329 individus ont été identifiés au moins au niveau de la famille, 1152 au moins au niveau du genre et 802 au niveau de l'espèce. Une dizaine pour lesquels le doute subsiste nécessiterait une nouvelle analyse avec un zoom qui n'était pas disponible au moment à ces images ont été visionnées. De nombreux bancs de jeunes Scaridés ont été observés dans ces images. Seule une estimation de ces bancs a été possible, le grand nombre d'individus (parfois plus d'une centaine), leur vitesse couplée à celle du bateau, la hauteur et l'inclinaison de la caméra ne permettant pas un comptage exhaustif ni l'identification au niveau de l'espèce.

Le fait que ces analyses aient été les premières réalisées doit être pris en compte. En effet, les compétences en identification d'espèces à partir des images, ainsi que le temps requis pour l'analyse d'un film d'une durée donnée ont largement évolué au fil de l'opération.

Nous avons par ailleurs observé que le bruit du moteur faisait fuir les poissons. Le trait effectué en dérive n'a malheureusement pas encore été analysé pour évaluer l'effet du moteur sur l'observabilité des poissons.

**Tableau 2.** Récapitulatif des observations de vidéo tractée pour le trait analysé.

Nb famille	16		
Nb genre	27	Proportion d'individus identifiés au niveau de l'espèce	34.4%
Nb espèces	52	Proportion d'individus identifiés au niveau du genre	49%
Nb total d'individus	2329		
<i>Nb Petits</i>	1147		
<i>Nb Moyens</i>	1038		
<i>Nb Grands</i>	144		

**Tableau 3.** Familles, genres et espèces observés dans le trait analysé.

Famille	Nb ind. observés	Remarques
Scaridés	1474	Dont 1150 Scaridés
		185 <i>Scarus sp.</i>
		53 <i>Chlororus sordidus</i>
		32 <i>Scarus frenatus</i>
Acanthuridés	358	Dont 258 <i>Ctenochaetus striatus</i>
Lutjanidés	289	Dont 200 <i>Lutjanus sebae</i>
Lethrinidés	62	Dont 61 <i>Gnathodentex aurolineatus</i>
Chaetodontidés	62	Dont 25 <i>Chaetodon sp.</i>
Caesionidés	40	Banc de <i>Pterocaesio sp.</i>
Labridés	12	Dont 5 <i>Bodianus loxozonus</i>
Haemulidés	9	
Siganidés	7	
Mullidés	4	
Holocentridés	4	
Serranidés	3	
Zanclidés	2	
Balistidés	1	
Muraenidés	1	
Ephippidés	1	
<i>16 familles</i>	<i>2329</i>	

- **Transects vidéos et UVC correspondants**

Toutes les images exploitables (6 à Koné et 48 à Signal) ont été analysées, mais seules les données de Signal ont fait l'objet d'analyses quantitatives, dont les résultats sont présentés dans la section IV.2. Pour les poissons, le temps d'analyse varie de 45 minutes à 1h40 par transect, toutes les espèces rencontrées étant identifiées et comptées. La caractérisation et quantification de l'habitat nécessite environ 20 minutes par transect.

Sur les 36 transects vidéos réalisés dans un quadrat (§ III.2), 37950 individus ont été observés correspondant à 182 espèces de 36 familles (Tableau 4). 655 individus n'ont pu être identifiés qu'au niveau du genre, 592 au niveau de la famille, et enfin pour 28 individus, la famille n'a pu être définie. Ces poissons représentent 3,3% des poissons observés. Les poissons identifiés au niveau du genre seulement appartiennent aux genres Pomacentrus (438 ind.) et Scarus (172 ind.). Les poissons identifiés au niveau de la famille seulement sont des Pomacentridés (103 ind.) et des Scaridés (474 ind.).

Dans les 9 transects UVC, 11394 individus ont été observés correspondant à 138 espèces de 29 familles (Tableau 5). Parmi ceux-ci, tous les individus ont été identifiés au niveau de l'espèce, sauf 200 identifiés seulement au niveau du genre. La plupart de ces individus sont des Pomacentridés (77 ind.), des Scaridés (65 ind.) et des Labridés (39 ind.).

Du fait de la différence en nombre de transects entre UVC et vidéos, il n'est pas possible de comparer les tableaux 4 et 5 en termes de nombre d'espèces et d'abondance. Par contre, en termes de rang des familles observées, on constate la même prévalence des familles Pomacentridés, suivies de loin par les Labridés, puis les Scaridés, Chaetodontidés et Acanthuridés. Le fait que certaines familles ont été vues au cours des transects vidéos, mais pas lors des UVC, s'explique certainement par le nombre d'observations et/ou le hasard. Enfin, on notera que toutes les familles détectées pendant les UVC sont également vues dans les transects vidéos.

Les espèces s'abritant soit dans le corail, les anémones ou le substrat ne semblent pas moins bien observées par les vidéos que par les UVC.

Tableau 4. Familles observées dans les 36 transects vidéos réalisés à Signal.

Famille	Nb d'espèces	Abondance totale	Fréquence d'occurrence (%)
Pomacentridae	36	32516	100
Labridae	35	1701	100
Scaridae	13	1315	100
Chaetodontidae	18	551	100
Acanthuridae	7	451	100
Pomacanthidae	4	367	100
Lutjanidae	8	295	44
Nemipteridae	1	194	98
Mullidae	4	127	84
Blenniidae	7	92	78
Balistidae	2	51	53
Serranidae	8	41	56
Gobiidae	3	34	44
Synodontidae	2	31	51
Siganidae	2	24	20
Tetraodontidae	2	23	47
Penguipedidae	2	19	31
Haemulidae	2	13	9
Aulostomidae	1	12	22
Lethrinidae	5	11	20
Monacanthidae	1	10	18
Cirrhitidae	2	7	16
Apogonidae	2	6	13
Scombridae	1	6	2
Microdesmidae	2	6	11
Scorpaenidae	1	4	9
Ostraciidae	1	3	7
Syngnathidae	1	2	4
Priacanthidae	1	2	4
Holocentridae	2	2	4
Muraenidae	1	2	4
Zanclidae	1	1	2
Carcharhinidae	1	1	2
Octopodidae	1	1	2
Echeneidae	1	1	2

**Tableau 5.** Familles observées dans les 9 transects UVC réalisés à Signal.

Famille	Nombre d'espèces	Abondance totale
Pomacentridae	29	9204
Labridae	22	596
Chaetodontidae	19	218
Scaridae	10	514
Blenniidae	8	68
Acanthuridae	6	160
Serranidae	6	45
Apogonidae	4	60
Mullidae	4	61
Balistidae	3	7
Gobiidae	3	35
Pomacanthidae	3	164
Holocentridae	2	3
Lutjanidae	2	77
Penguipedidae	2	42
Siganidae	2	3
Aulostomidae	1	4
Cirrhitidae	1	12
Haemulidae	1	2
Lethrinidae	1	2
Microdesmidae	1	2
Monacanthidae	1	8
Muraenidae	1	1
Nemipteridae	1	57
Ostraciidae	1	1
Plesiopidae	1	2
Scorpaenidae	1	1
Synodontidae	1	19
Tetraodontidae	1	26

- **Stations vidéos rotatives**

**Avancement des analyses.** Sur la zone de Signal, 196 stations sur les 221 analysables ont été analysées à l'heure actuelle. Les 24 stations qui n'ont pas été analysées ont été jugées non prioritaires parce qu'elles sont très proches de stations déjà analysées et que la visibilité était moins bonne que sur des stations voisines. Leur analyse pourra être envisagée ultérieurement en cas

de besoin pour des études à très petite échelle spatiale. Sur la zone de Koné, l'ensemble des images exploitables a été analysé, soit 77 stations sur décembre 2007 et 69 sur février 2008. Seules les données de décembre 2007 fait l'objet d'analyses quantitatives jusqu'à présent. Les résultats des analyses de données sont présentés dans la section IV.5. Le temps d'analyse varie entre 10 et 45 minutes par station pour les poissons et 1 minute pour l'habitat.

**Espèces observées.** Nous ne reporterons ici que les données correspondant aux observations réalisées sur la zone de Signal pour lesquelles l'analyse des images a été systématiquement faite au niveau de l'espèce. Dans les 196 stations analysées, 10346 individus ont été observés correspondant à 168 espèces de 67 genres et 24 familles (Tableau 6).

**Tableau 6.** Familles observées dans les 196 stations vidéo réalisées dans la zone Signal-Larégnère.

	Nb d'espèces	Abondance totale	Fréquence d'occurrence (%)
Chaetodontidae	22	223	28
Acanthuridae	18	1441	88
Scaridae	14	871	72
Serranidae	14	176	24
Lutjanidae	13	3588	14
Mullidae	13	802	51
Labridae	12	300	37
Lethrinidae	11	1511	54
Carangidae	9	171	9
Balistidae	8	259	35
Siganidae	6	462	21
Haemulidae	5	62	5
Carcharhinidae	3	13	3
Cheloniidae	3	8	3
Dasyatidae	3	8	2
Scombridae	3	47	2
Kyphosidae	2	225	1
Chanidae	1	72	1
Cheilodactylidae	1	1	1
Ephippidae	1	44	1
Holocentridae	1	1	1
Myliobatidae	1	3	1
Priacanthidae	1	39	3
Zanclidae	19	1	3

Les principales familles observées en termes d'abondance sont les Lutjanidés, mais ceci est dû à un nombre limité de bancs rencontrés dans 14% des stations. Lethrinidés et Acanthuridés sont par contre observés en grande quantité et fréquemment, ainsi que dans une moindre mesure les Scaridés et les Mullidés. La comparaison avec les observations obtenues en présence de plongeurs sur les familles d'intérêt halieutique et emblématique fait apparaître une diversité accrue des Chaetodontidés, des Acanthuridés, des Mullidés, des Serranidés, des Lutjanidés, des Siganidés, des Balistidés, des Haemulidés dans les stations vidéo rotatives. Certaines familles ne sont observées que dans les stations vidéo rotatives : Carangidés, Carcharhinidés, Dasyatidés, Myliobatidés.

Ces différences s'expliquent par l'absence de plongeur, mais aussi par la diversité des habitats observés grâce aux stations vidéo rotatives et le nombre d'observations réalisées avec cette technique.

**Tableau 7.** Poissons non identifiés au niveau de l'espèce.

Acanthurus	90
Carangoides	3
Chaetodon	2
Epinephelus	1
Gymnocranius	14
Himantura	4
Lethrinus	295
Lutjanus	23
Mulloidichthys	6
Naso	2
Parupeneus	3
Plectropomus	1
Scarus	114

146 individus n'ont pu être identifiés qu'au niveau de la famille, et 558 n'ont pu l'être qu'au niveau du genre (Tableau 7). Ces derniers sont principalement des Lethrinus (295 ind.) et des Scarus (114 ind.), suivis par des Acanthurus (90 ind.). Les poissons identifiés au niveau de la famille seulement sont des Scaridés (113 ind.) et des Lethrinidés (18 ind.), et quelques Balistidés, Carangidés, Haemulidés et Serranidés (entre 2 et 5 individus par famille). Les individus pour lesquels l'espèce n'est pas identifiée représentent 6,4% des poissons observés.

## IV.2. Comparaison des transects vidéos et des transects UVC : l'œil et la caméra.

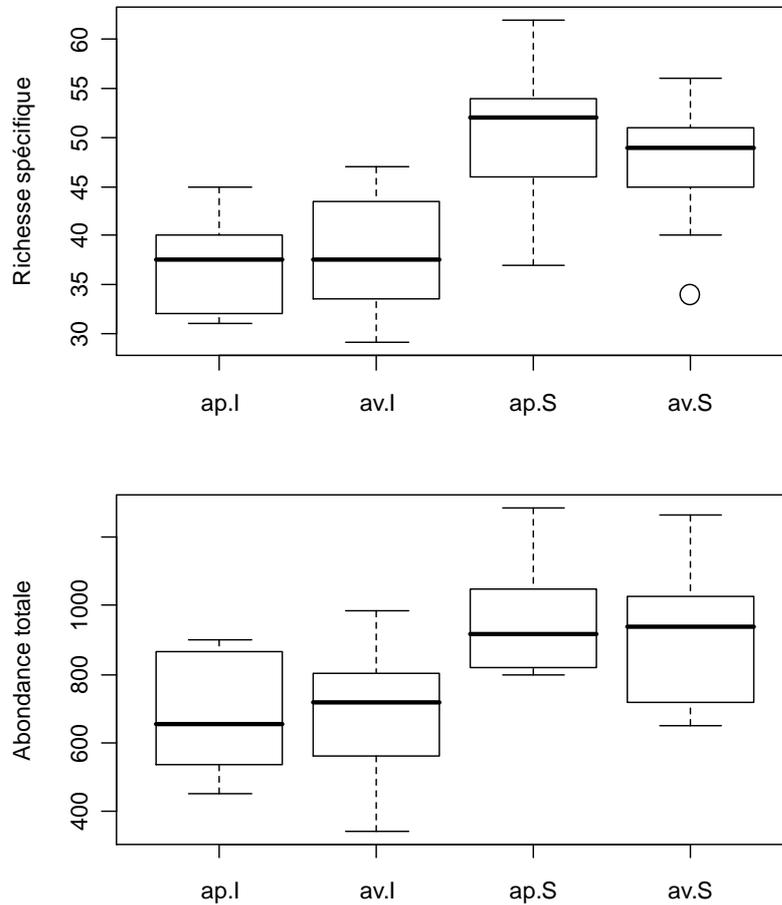
Dans ce qui suit, on ne s'intéressera qu'aux 36 transects vidéos réalisés dans le cadre de la comparaison avec les UVC, les transects du quadrat 0 sont donc exclus (§ III.2).

Le protocole a été construit pour comparer les observations résultant de deux types de transect vidéo, droits et navigants, avec celles issues de transects UVC, et ce en contrôlant l'effet de réaliser le transect vidéo avant ou après l'UVC (§ III.2).

- **Effet avant/après**

Cet effet a été évalué sur l'abondance totale par transect et sur la richesse spécifique (Figure 17). Le graphique montre que les différences entre les transects d'un même type réalisés avant ou après ne semblent pas significatives, à l'inverse des différences entre transects droits et navigants. L'ajustement d'un modèle linéaire à trois facteurs, avant/après, type de transect et site, sur les données vidéos, d'une part sur l'abondance totale, et d'autre part sur la richesse spécifique le confirme. Le modèle de la richesse spécifique est globalement très significatif ( $R^2_{\text{ajusté}}=0.47$ ,  $F(11,24)=3.81$  avec  $p=0.003$ ), mais le seul effet significatif se rapporte au type de transect ( $p=1.7 \times 10^{-5}$ ) et l'effet avant/après n'est pas du tout significatif ( $p=0.65$ ). Pour l'abondance, le modèle à trois facteurs n'est pas significatif du fait de la variabilité entre sites, mais le modèle à deux facteurs type de transect et avant/après l'est ( $R^2_{\text{ajusté}}=0.2891$ ,  $F(3,32)=5.7$  avec  $p=0.003$ ). Dans ce modèle, l'effet avant/après n'est pas significatif ( $p=0.79$ ) et l'effet type de transect est le seul effet significatif ( $p=0.00025$ ). Ainsi, réaliser le transect avant ou après le transect UVC n'a pas d'effet significatif sur l'abondance totale et sur la richesse spécifique par transect. Nous avons aussi comparé l'abondance par famille observée avant ou après et ce par type de transect. Le coefficient de corrélation entre ces deux abondances est de 0.998 ( $p < 2.2 \times 10^{-16}$ ). Deux modèles linéaires ont été ajustés sur l'abondance et la richesse spécifique avec les facteurs type de transect, site, family, et avant/après. Les Pomacentridés et individus non identifiés ont été exclus des ajustements. Les résultats confirment que l'effet avant/après n'est pas significatif et n'interfère pas avec les autres effets. Le facteur avant/après sera donc ignoré dans le reste de l'analyse.

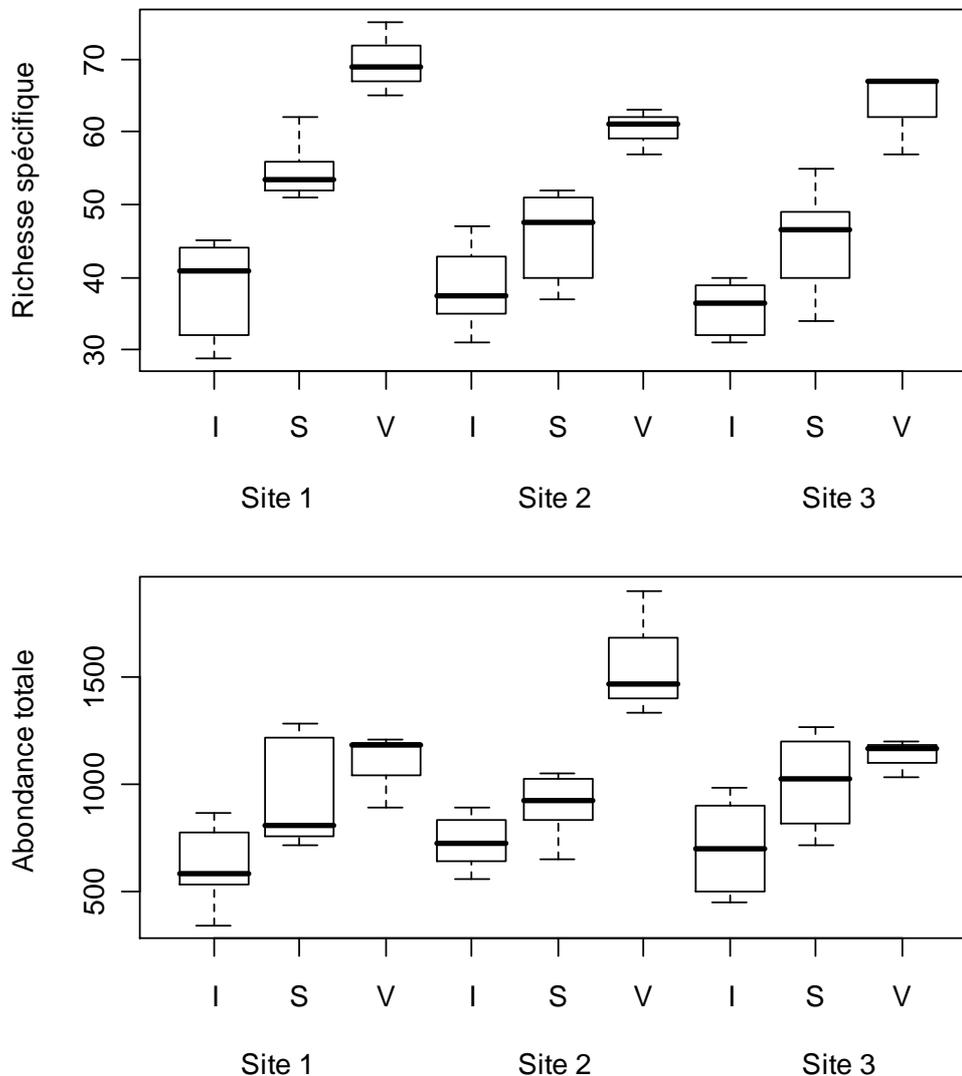
**Figure 17.** Boxplots de l'abondance totale et de la richesse spécifique par transect. « ap » et « av » signifient respectivement avant et après (le transect UVC), tandis que « I » et « S » représentent respectivement un transect droit et un transect navigant.



- **Abondance d'ensemble et richesse spécifique par type de transect**

A chaque site (S1, S2, S3), les richesses spécifiques moyennes par transect valent respectivement (38.7, 38.5, 35.8) pour les transects droits, (54.7, 45.8, 45.2) pour les transects navigants, et (69.7, 60.3, 63.7) pour les transects UVC. Les abondances moyennes observées par transect à chaque site valent respectivement (612, 728, 704) Pour les transects droits, (932, 901, 1008) pour les transects navigants, et (1094, 1570, 1134) pour les transects UVC. Les abondances et richesses spécifiques observées étaient plus grandes avec les transects UVC qu'avec les transects vidéos. Les transects navigants (S-type) détectent plus d'individus et d'espèces que les transects droits (Figure 18).

**Figure 18.** Boxplots de l'abondance totale et de la richesse spécifique par transect. « I », « S » et « V » représentent respectivement un transect droit, un transect navigant et un transect UVC.



Un modèle linéaire à deux facteurs, type de transect et site, a été ajusté à l'abondance totale par transect, à la richesse spécifique par transect d'autre part et à la diversité taxonomique (nombre d'espèces par famille). Pour la richesse spécifique, le modèle est validé et hautement significatif ( $R^2$  ajusté = 0.77,  $F(8,36) = 19.2$  avec  $p < 7.10^{-11}$ ), et seuls les effets du type de transect et du site sont significatifs (resp.  $p < 4.9.10^{-13}$  et  $p < 9.10^{-3}$ ). Pour l'abondance, et la diversité taxonomique, les  $R^2$  ajustés sont respectivement 0.58 et 0.62, les statistiques de Fisher  $F(8,36)$  valent respectivement 8.5 ( $p < 2.1.10^{-6}$ ) et 9.95 ( $p < 3.5.10^{-7}$ ), et le seul effet significatif se rapporte au type de transect (respectivement  $p < 5.9.10^{-8}$  et  $p < 2.4.10^{-9}$ ). Noter que l'interaction entre les facteurs site et type de transect n'est pas significative pour la richesse

spécifique, c'est à dire que la différence entre les types de transect ne dépend pas du site. Pour l'abondance, cette interaction est par contre à la limite du significatif ( $p=0.07$ ) en raison des observations UVC obtenues sur le site 2.

Le modèle a ensuite été utilisé pour prédire la richesse spécifique, l'abondance totale par transect et la diversité taxonomique (Tableau 8). Rapporté en valeurs relatives, ces résultats signifient qu'avec les transects droits, on détecte en moyenne 56% de l'abondance et 61% de la richesse spécifique observées dans les UVC, tandis que ces chiffres progressent à 85% de l'abondance et 77% du nombre d'espèces pour les transects navigants. Ces chiffres sont valides sur le type de site où la comparaison a été menée.

**Tableau 8.** Prédiction issues du modèle linéaire à deux facteurs.

Métrique	Transect vidéo droit	Transect vidéo navigant	Transect UVC
Richesse spécifique	38.7	54.7	69.7
Abondance	612	932	1094
Diversité taxonomique	12	15.8	18

#### • Effet du site

La richesse spécifique apparaît plus élevée au site 1, suivi du site 2 puis du site 3 (Figure 18). En ce qui concerne l'abondance totale, les sites 1 et 3 montrent beaucoup moins de différences entre les types de transect que le site 2 pour lequel l'abondance détectée par l'UVC est significativement supérieure à celle vues dans les transects vidéos (seul effet significatif de l'interaction typeXsite).

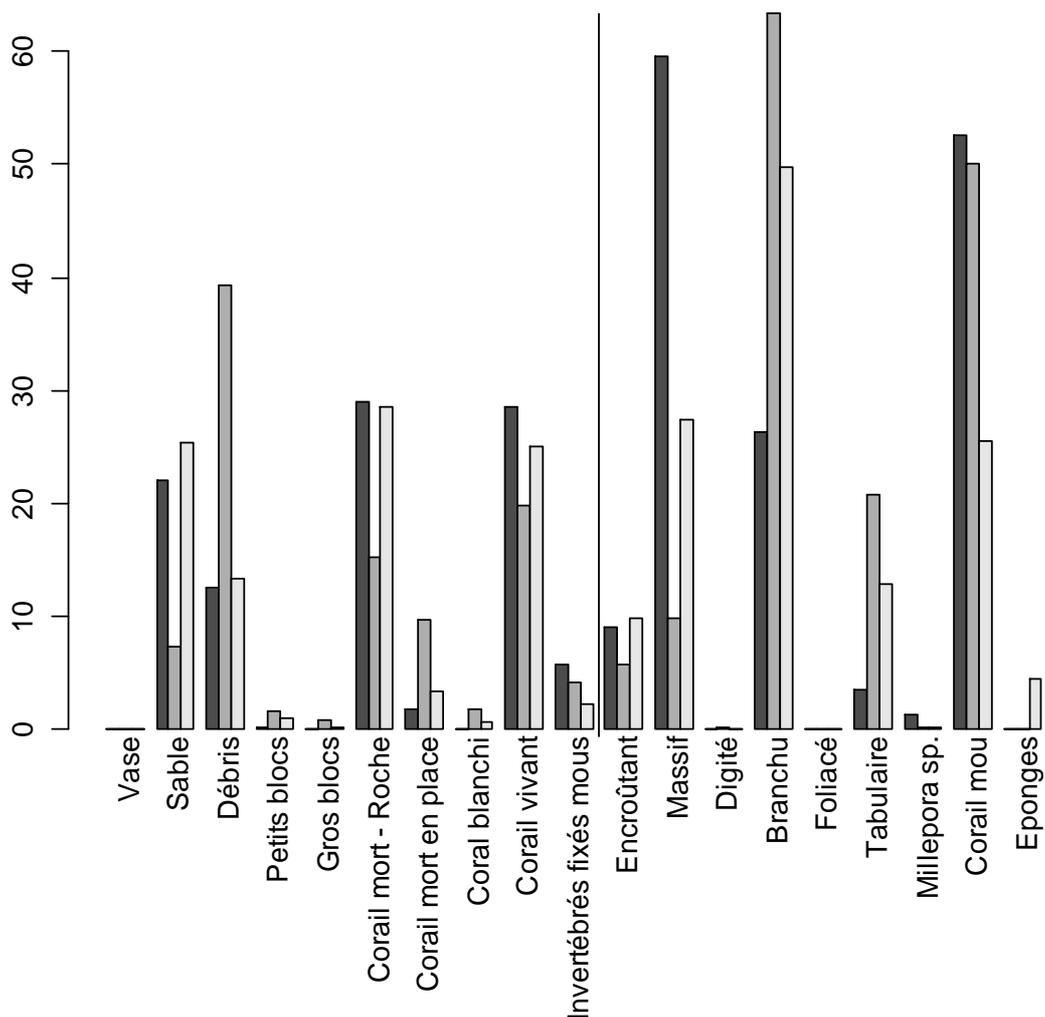
La modélisation des abondances par famille permet d'identifier que ceci est du à une abondance très élevée de Pomacentridés sur le site 2.

#### • Observabilités par famille

En complément des nombres totaux d'espèces par famille rencontrés avec chaque type de transect, on s'est intéressé à la valeur moyenne de ce nombre rapportée au nombre de transects de chaque type. Pour la majorité des familles et notamment les familles les plus représentées, ce nombre est maximal pour les transects vidéo navigants, bien que la différence avec les UVC ne soit pas très grande en général. Nous n'avons pas fait de tests sur ces différences, étant donnée la disparité entre les nombres de transects de chaque type. Le principal enseignement de cette comparaison est que le nombre d'espèces détectées avec la vidéo n'est en aucun cas inférieur à celui correspondant aux UVC. Seuls les

Apogonidés et les Cirrhitidés indiquent une meilleure observabilité par les UVC dans les données de cette étude.

**Figure 19.** Composition (%) du substrat et de sa couverture aux trois sites faisant l'objet d'observations. Les nuances de gris du plus clair au plus foncé correspondent respectivement aux sites 1, 2 et 3. La barre verticale sépare la composition du substrat de la nature des coraux présents.



**Tableau 9.** Familles observées et nombre d'espèces moyen par famille rencontrées par transect pour chaque type de transect. Pour chaque famille, le maximum est indiqué en rouge. Scombridés et Zanclidés n'ont été rencontrés que dans le quadrat 0, d'où les valeurs nulles pour les nombres d'espèces par famille.

Famille	Transect droit	Transect navigant	UVC
Acanthuridae	0,73	0,76	0,64
Apogonidae	0,00	0,07	0,24
Aulostomidae	0,09	0,09	0,04
Balistidae	0,22	0,20	0,13
Blenniidae	0,33	0,87	0,69
Carcharhinidae	0,00	0,02	0,00
Chaetodontidae	1,76	1,73	1,51
Cirrhitidae	0,07	0,07	0,13
Echeneidae	0,00	0,02	0,00
Gobiidae	0,02	0,29	0,22
Haemulidae	0,04	0,02	0,02
Holocentridae	0,00	0,04	0,04
Labridae	2,91	4,36	2,69
Lethrinidae	0,11	0,11	0,02
Lutjanidae	0,18	0,29	0,09
Microdesmidae	0,02	0,07	0,02
Monacanthidae	0,04	0,07	0,07
Mullidae	0,49	0,51	0,40
Muraenidae	0,02	0,02	0,02
Nemipteridae	0,38	0,40	0,20
Octopodidae	0,02	0,00	0,00
Ostraciidae	0,04	0,02	0,02
Pinguipedidae	0,04	0,11	0,24
Plesiopidae	0,00	0,00	0,02
Pomacanthidae	0,80	0,89	0,51
Pomacentridae	4,18	5,13	2,96
Priacanthidae	0,00	0,04	0,00
Scaridae	1,96	2,18	1,09
Scombridae	0,00	0,00	0,00
Scorpaenidae	0,02	0,04	0,02
Serranidae	0,13	0,42	0,44
Siganidae	0,09	0,07	0,04
Syngnathidae	0,00	0,04	0,00
Synodontidae	0,13	0,20	0,18
Tetraodontidae	0,13	0,18	0,18
Zanclidae	0,00	0,00	0,00

## IV.5. Les stations vidéos rotatives : une couverture spatiale et pas de perturbation par les plongeurs.

### • Calcul des indices d'abondance et de diversité

Les informations relevées lors de l'analyse des images d'une station sont les suivantes :

- $N_{esp,cl,r}$  = nombre d'individus observés d'une espèce/genre/famille et d'une classe de taille, et ce par rotation
- liste des secteurs où les individus ont été observés
- cl=classe de taille des individus (petit, moyen, grand)
- L = distance au centre du point de comptage si plus de 5 m (et < 10 m)

Les classes de taille sont petit, moyen, gros, correspondant à  $[L_{min}, L_{33%}[$ ,  $[L_{33%}, L_{66%}[$ ,  $[L_{66%}, L_{max}]$ .

A partir de ces informations, des indices (métriques) sont calculés à l'échelle de la station :

### Métriques par espèce et par station

#### (1) Présence-absence par espèce :

$PA_{esp,r} = \text{Max}_{r \in \{1,2,3\}} Ind_{esp,r}$  , où  $Ind_{esp,r}$  vaut 1 si l'espèce est vue dans la rotation et 0 sinon

#### (2) Abondance par espèce, voire par classe de taille

$$\begin{cases} \hat{N}_{esp,cl} = \frac{1}{3} \sum_{r=1}^3 N_{esp,cl,r} \\ \hat{V}(\hat{N}_{esp,cl}) = \frac{1}{9} \sum_{r=1}^3 (N_{esp,cl,r} - \hat{N}_{esp,cl})^2 \end{cases}$$

#### (3) Densité d'abondance par espèce voire par classe de taille :

$$\begin{cases} \hat{D}_{esp,cl} = \hat{N}_{esp,cl} / \pi r_{esp}^2 \\ \hat{V}(\hat{D}_{esp,cl}) = \frac{1}{(\pi r_{esp}^2)^2} \hat{V}(\hat{N}_{esp,cl}) \end{cases}$$

où  $r_{esp} = \text{Max}(\text{distance d'observation de l'espèce})$  et  $D_{esp,cl,r} = N_{esp,cl,r} / \pi r_{esp}^2$ .

Pour chacun des indices calculés en valeur moyenne sur les rotations, la variance de l'indice peut être estimée à partir des valeurs par rotation, à l'exemple des indices (4) et (5) ci-dessus.

En complément de ces indices moyens, des indices sont également calculés à partir de la valeur maximale observée sur les rotations :

**(4) Abondance brute maximale**  $\hat{N}_{esp,cl} = \text{Max}_{r \in \{1,2,3\}}(N_{esp,cl,r})$

**(5) Densité d'abondance maximale**  $\hat{D}_{esp,cl} = \hat{N}_{esp,cl} / \pi r_{esp}^2$  où  $\hat{N}_{esp,cl}$  est donné par (5).

### Métriques par station

**(6) Abondance**

$\hat{N}_{cl} = \sum_{esp} \hat{N}_{esp,cl}$ , où  $\hat{N}_{esp,cl}$  est calculé soit par (2) soit par (5).

**(7) Densité d'abondance**

$\hat{D}_{cl} = \hat{N}_{cl} / \pi r_{esp}^2$  où  $\hat{N}_{cl}$  est donné par (7).

**(8) Richesse spécifique** :  $RS_{esp} = NbEsp$ , Nombre d'espèces rencontrées cumulé sur les rotations de la station

### Métriques calculées sur un groupe de stations voire sur l'ensemble des stations d'une campagne

**(9) Fréquence d'occurrence par espèce** :

% de stations où l'espèce est rencontrée dans un ensemble de stations données

**(10) Richesse spécifique totale**

Nombre d'espèces rencontrées dans un ensemble de stations données

**(11) Abondance totale**

$\hat{N}_{cl} = \sum_{esp} \hat{N}_{esp,cl}$ , où  $\hat{N}_{esp,cl}$  est calculé soit par (2) soit par (5).

**(12) Densité d'abondance**

$\hat{D}_{cl} = \hat{N}_{cl} / \pi r_{esp}^2$  où  $\hat{N}_{cl}$  est donné par (7).

Ces métriques peuvent être calculées sur des stations correspondant à un habitat ou un site donné ou un statut réglementaire donné (par ex. en réserve versus hors réserve) (voir plus loin) ou sur l'ensemble des stations (par ex. Tableau 6).

- **Cartes d'abondance et de richesse spécifique**

Nous présentons principalement les résultats des stations réalisées en juin-juillet 2007 sur la zone Signal-Larégnère sont présentés ici.

**Figure 20.** Abondance moyenne par rotation et par station (métrique (6)).

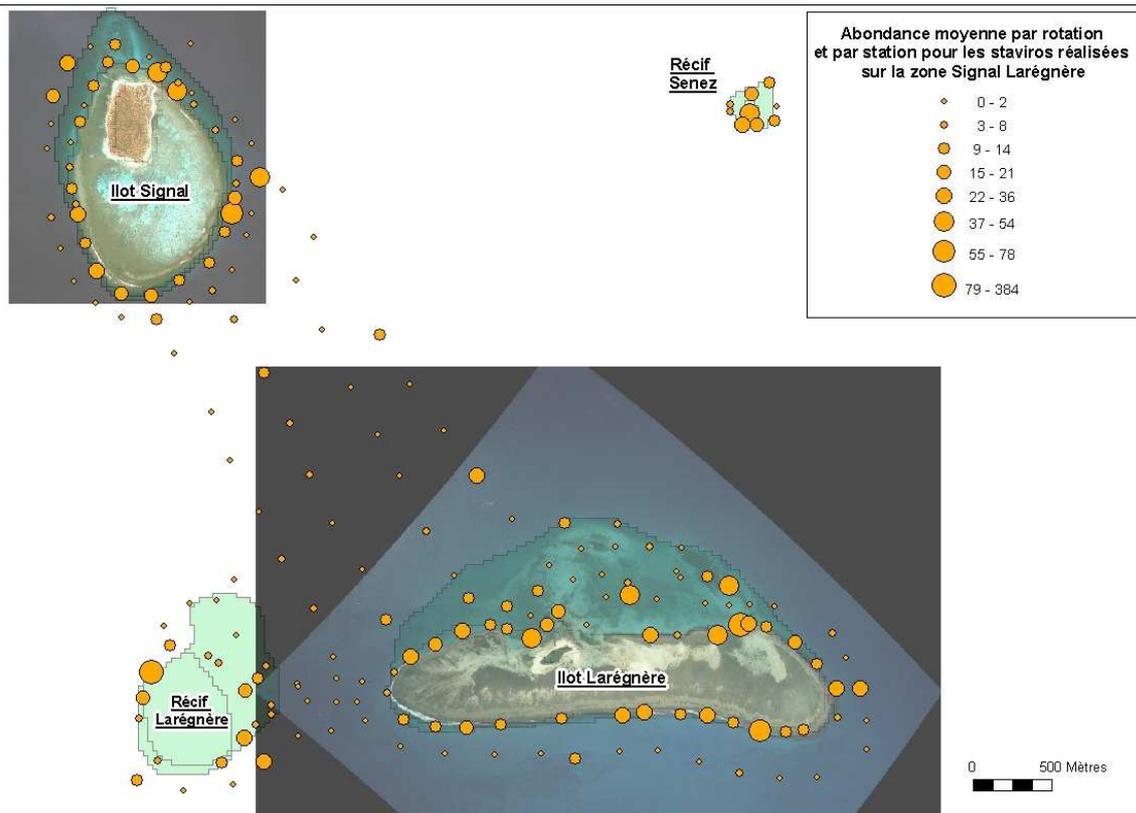
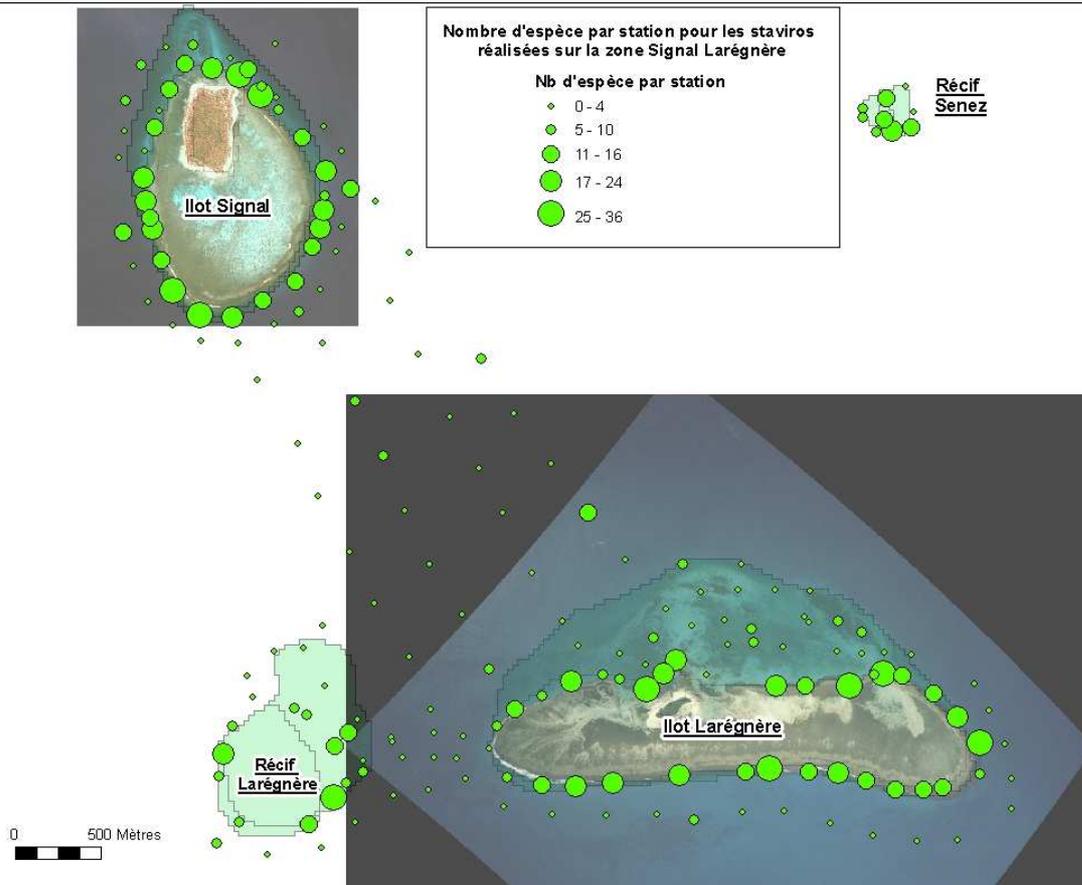


Figure 21. Richesse spécifique par station (métrique (8)).



Les indices toutes espèces confondues (Figures 20-21) montrent la forte hétérogénéité spatiale de l'abondance et de la diversité spécifique. Abondance et richesse spécifique par stations apparaissent logiquement plus élevées autour des îlots, mais des valeurs importantes sont parfois relevées dans la zone située entre Signal et Larégnère. L'abondance par station est comprise entre 0 et 384, tandis que la richesse spécifique est comprise entre 0 et 36. Aucun poisson n'a été observé à 54 stations qui sont retrouvées dans tous les sites, dans les réserves avec 25 à Larégnère et 8 à Signal, et hors réserve avec 11 entre les îlots, 9 sur le récif Larégnère et 1 sur le Récif Senez.

Les figures 22-25 montrent la distribution spatiale de certaines espèces-cibles.

Figure 22. Abondance de *Scarus ghobban* par station (métrique (2)).

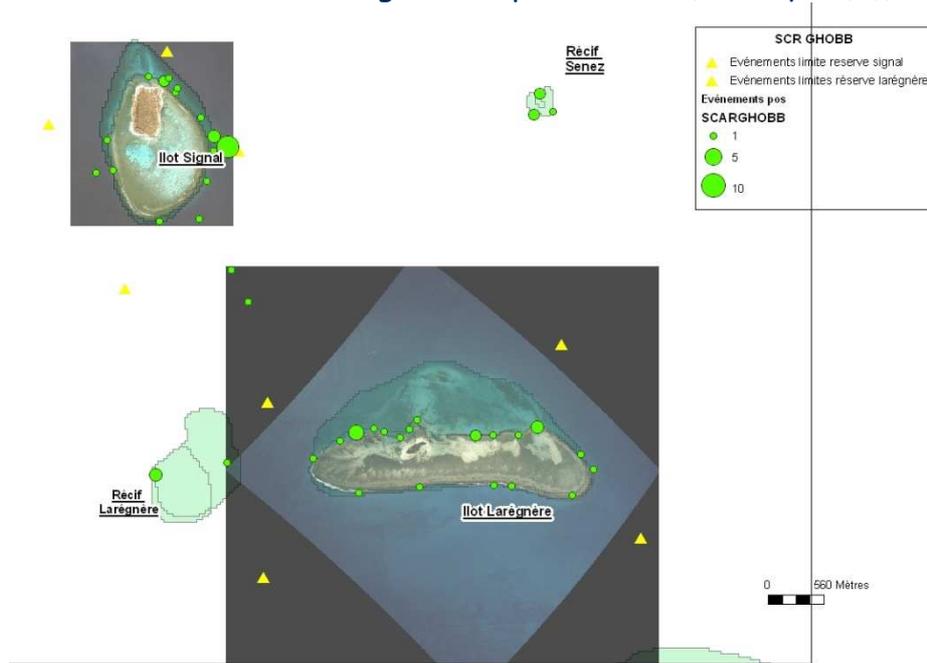


Figure 23. Abondance de *Lethrinus nebulosus* par station (métrique (2)).

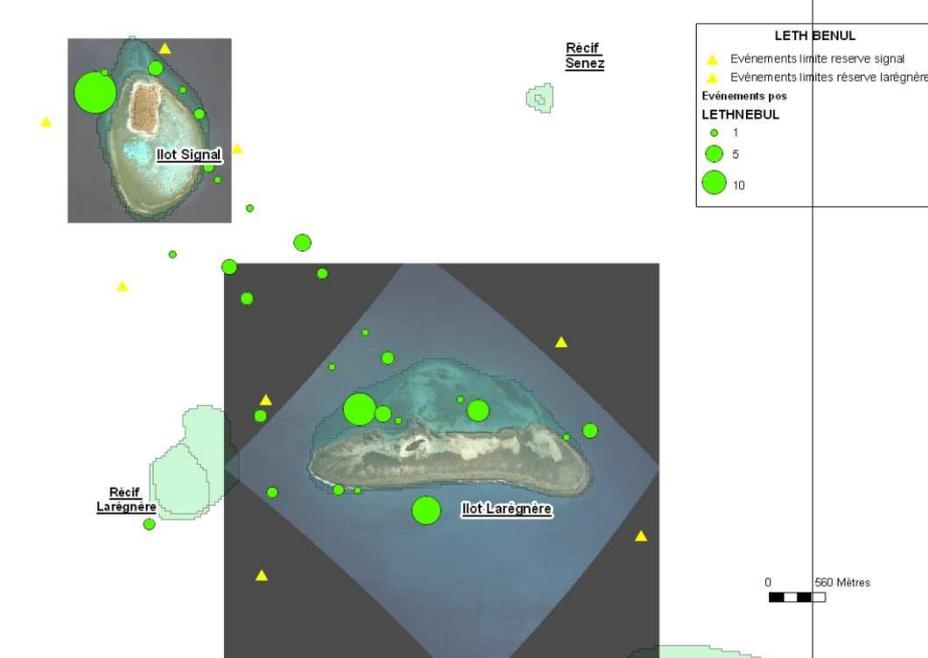


Figure 24. Abondance de *Scarus rivulatus* par station (métrique (2)).

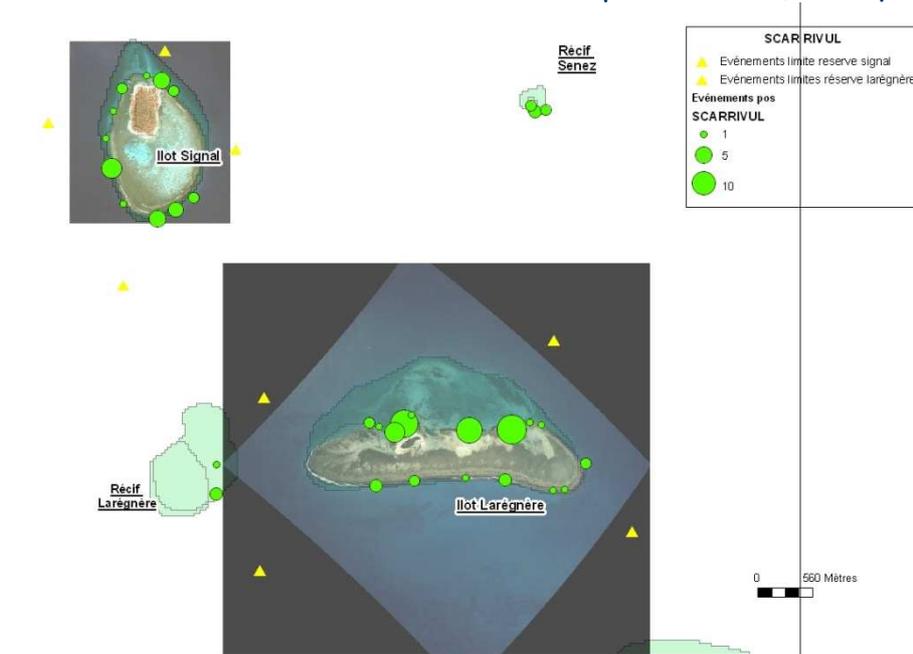
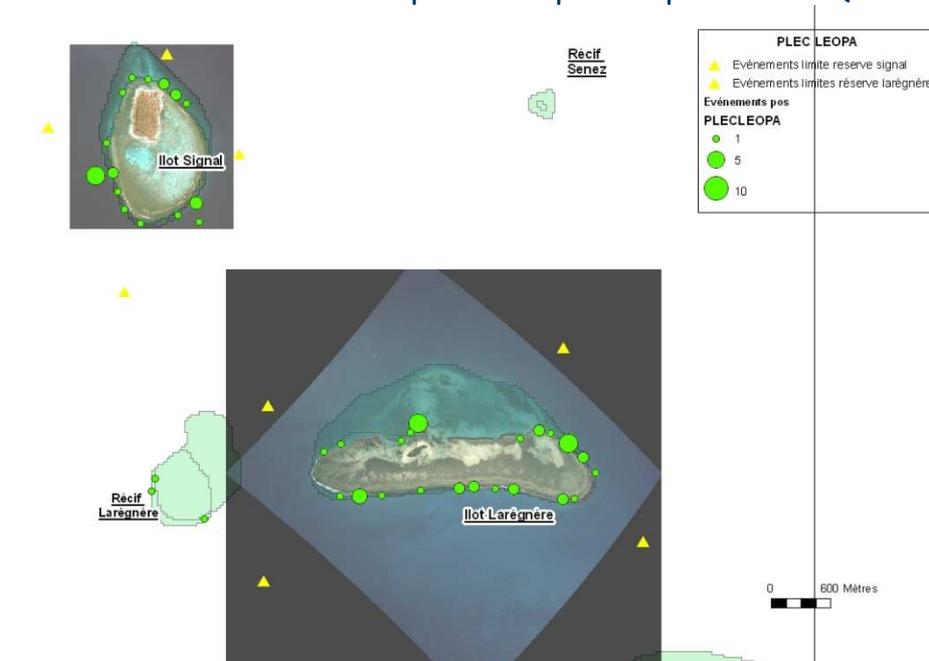


Figure 25. Abondance de *Plectropomus leopardus* par station (métrique (2)).



- **Observabilités par famille**

Un grand nombre d'espèces de chaque famille de la liste des espèces d'intérêt halieutique et emblématique (Tableau 1) ont été observées. Les familles de la liste qui n'ont pas été observées dans les stations rotatives sur la zone Signal-Larégnère en 2007 sont les suivantes : Albulidés, Atherinidés, Gerreidés, Hemiramphidés, Leiognathidés, Scorpaenidés, Sphyraenidés.

Les espèces rarement observées dans les stations rotatives le sont également dans les UVC.

**Tableau 10.** Familles observées dans les stations rotatives de Signal-Larégnère. Le référentiel considéré ici est celui de Michel Kulbicki. Les familles munies d'un astérisque ne sont pas dans leur totalité dans la liste.

Famille	Nb espèces du référentiel	Nb espèces observées	Fraction observée
Chaetodontidae	38	22	0.58
Acanthuridae	45	19	0.42
Serranidae	68	16	0.24
Scaridae	32	15	0.47
Lethrinidae	14	14	1
Mullidae	25	14	0.56
Lutjanidae	26	13	0.5
Labridae (*)	36	12	0.33
Carangidae	41	10	0.24
Balistidae	21	8	0.38
Siganidae	15	6	0.4
Haemulidae	13	5	0.38
Carcharhinidae	12	3	0.25
Dasyatidae	8	3	0.38
Cheloniidae	3	3	1
Scombridae	7	3	0.43
Kyphosidae	5	2	0.4
Chanidae	2	1	0.5
Cheilodactylidae	2	1	0.5
Ephippidae	1	1	1
Holocentridae	29	1	0.03
Myliobatidae	2	1	0.5
Priacanthidae	4	1	0.25
Zanclidae	1	1	1

La comparaison des stations rotatives avec les transects vidéo demande de se restreindre aux espèces du Tableau 1. Par ailleurs, cette comparaison doit prendre en compte le fait que le nombre d'observations est très différent entre les deux techniques. Pour toutes les familles concernées sauf pour les Scorpaenidés, le nombre d'espèces observées avec les stations rotatives est plus grand qu'avec les transects vidéo (Tableaux 9 et 10). Les familles pour lesquelles cette différence est la plus importante sont les Acanthuridés (19 vs 7), les Lethrinidés (14 vs 5), les Serranidés (16 vs 8), les Lutjanidés (13 vs 8), les Mullidés (14 vs 4), les Balistidés (8 vs 2), les Siganidés (6 vs 2) et les Haemulidés (5 vs 2). Certaines familles n'ont été observées que dans les stations rotatives : les Myliobatidés, Dasyatidés, Ehippidés, Chanidés, Cheilodactylidés et Kyphosidés.

Nous avons cherché à évaluer le nombre d'espèces observées par famille par rapport aux espèces qui peuvent être couramment trouvées dans la région. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur le référentiel d'espèces de l'Indo-Pacifique élaboré et mis à jour régulièrement par Michel Kulbicki (Tableau 10).

On constate ainsi que tous les Lethrinidés ont pu être observés, une grande partie des Chaetodontidés, des Mullidés,

Il serait intéressant de comparer les espèces observées avec celles observées dans les données de suivi des îlots car elles représentent un nombre d'observations important qui peut être mis en regard avec ces 196 stations, même si les habitats ne sont probablement pas tous couverts avec la même intensité.

- **Différences entre sites**

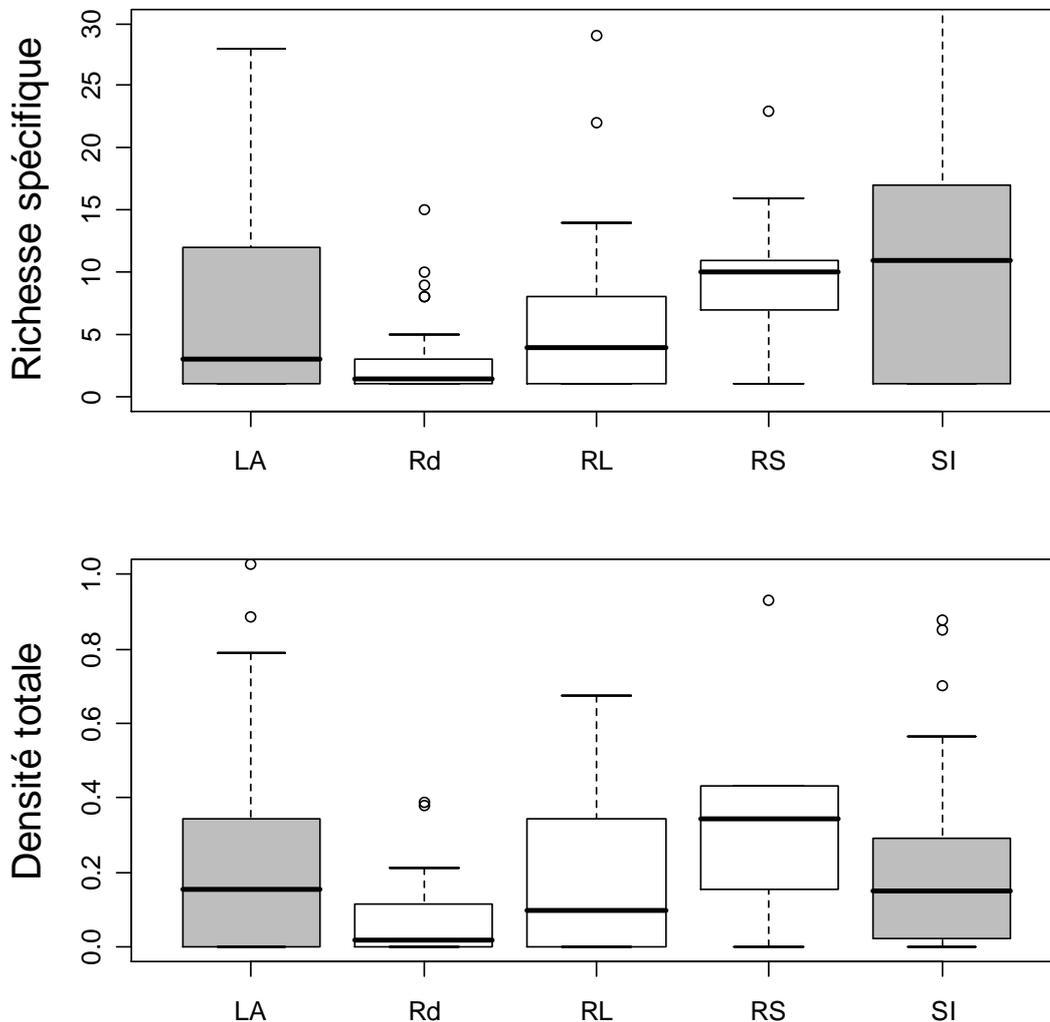
Pour compléter les différences déjà visibles sur les cartes précédentes, les abondances et richesses spécifiques par station peuvent être comparées entre les sites (Figure 26).

Les nombres de stations par site sont:

Larégnère	Signal	Radiales	Récif Larégnère	Récif Senez
83	46	30	28	9

Cette disparité est due aux différences de surface entre sites, les stations étant plus ou moins régulièrement espacées.

**Figure 26.** Boxplots de la richesse spécifique et de l'abondance par station entre les sites de la zone (métriques (6) (valeur moyenne) et (8)). LA=Ilot Larégnère, SI=îlot Signal, Rd=Radiale entre Signal et îlot Larégnère, RL=Récif Larégnère, RS=Récif Senez. Les zones en grisé correspondent aux réserves.



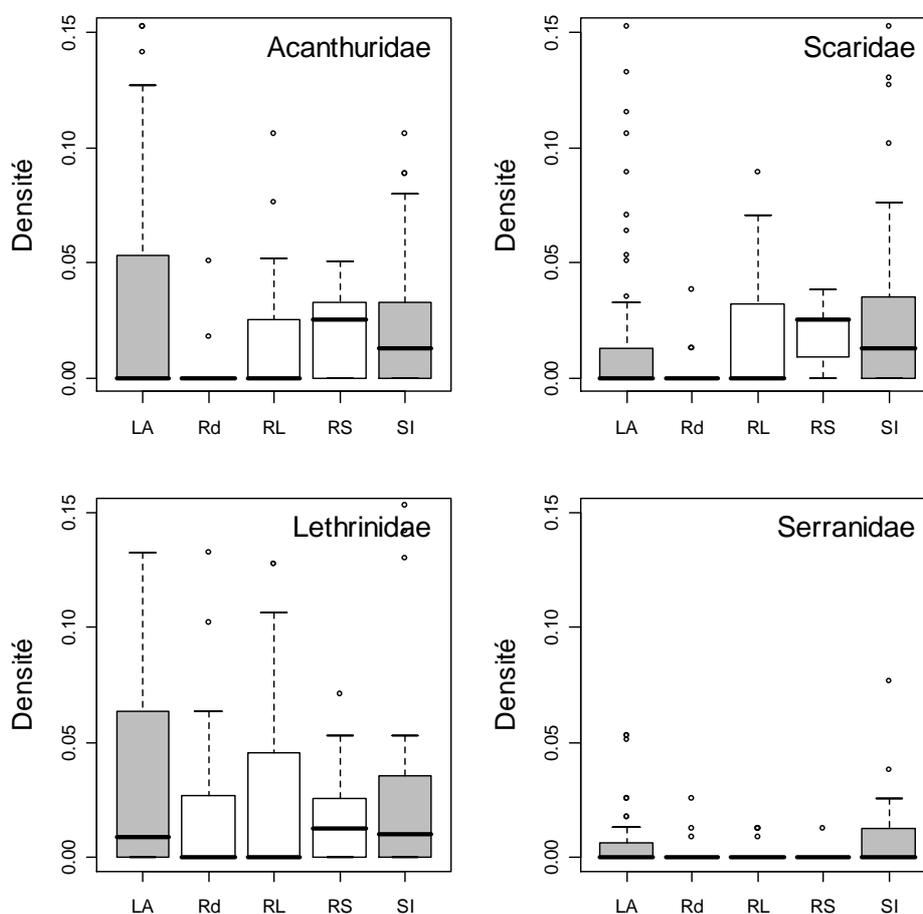
En termes d'abondance et de richesse spécifique, les différences entre sites apparaissent importantes, mais étant donnée la variabilité des métriques de la Figure 26, ces différences ne seraient pas significatives dans des tests statistiques. On observe cependant que les richesses spécifiques maximales sont observées dans les zones de réserve. Par ailleurs, la proportion de stations où aucun poisson n'a été observée est plus élevée hors réserve avec 37% (radiales), 32% (Récif Larégnère) contre 30% (îlot Larégnère) et 17% (Signal) en réserve. Le récif Senez apparaît atypique avec 11% de stations sans poissons, mais rappelons que peu de stations y ont été réalisées (seulement 9 stations) en comparaison des autres sites.

Ces comparaisons ne prennent pas en compte les différences d'habitat entre les sites, voire à l'intérieur d'un même site. La zone des radiales est logiquement

moins riche en espèces et en individus du fait qu'il s'agit essentiellement d'un fond lagunaire.

Pour les principales familles (Figures 27 et 28), les comparaisons entre sites illustrent aussi l'importance de l'effet habitat, puisque les Acanthuridés, Scaridés et Serranidés sont logiquement plus nombreux sur les zones récifales. A l'inverse, les Lethrinidés sont retrouvés dans tous les habitats.

**Figure 27.** Boxplots des densités par famille et par station pour les Acanthuridés, Scaridés, Lethrinidés et Serranidés.

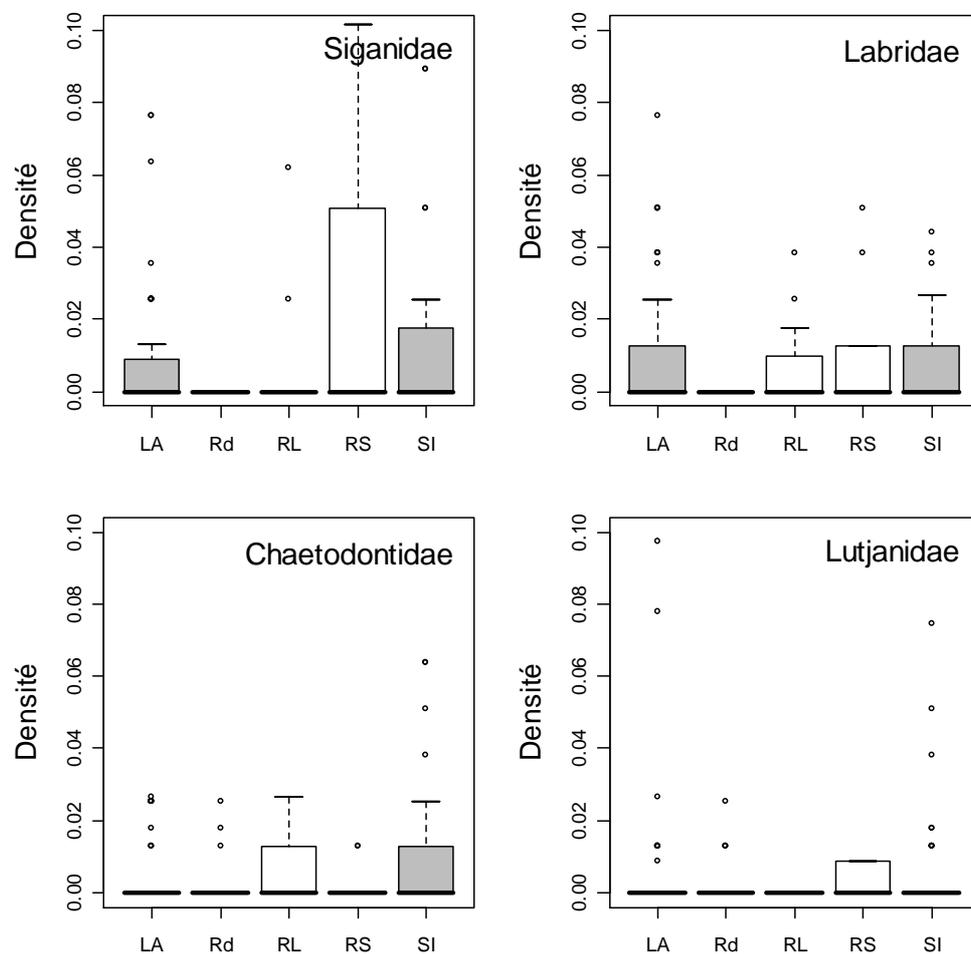


En ce qui concerne l'effet des réserves, nous ne mettons pas en œuvre de modélisation statistique dans le cadre de ce rapport. Ces approches seront développées dans le cadre du projet PAMPA. Cependant, les Figures 27 et 28 indiquent d'ores et déjà une différence importante entre les îlots en réserve et les zones non protégées pour les Serranidés. Pour les autres familles, un travail sur les métriques doit être entrepris pour identifier celles qui sont pertinentes pour l'évaluation des différences entre sites protégés et non protégés. De plus,

l'évaluation doit prendre en compte les informations sur l'habitat relatives à chaque station.

Par ailleurs, les densités trouvées sur les récifs Larégnère et Senez pour certaines familles sont élevées. Il convient donc pour évaluer cet effet réserve de prendre en compte la pression de pêche réellement subie par ces zones. Les enquêtes réalisées dans le cadre du projet PAMPA fourniront donc les informations nécessaires pour compléter ces évaluations. Certains sites hors réserve peuvent subir une pression de pêche somme toute faible ou peut-être ciblée sur certaines espèces.

**Figure 28.** Boxplots des densités par famille et par station pour les Siganidés, Labridés, Chaetodontidés et Lutjanidés.



- **Cartes d'abondance et de richesse spécifique sur la zone de Koné**

Les cartes présentées (Figures 29 et 30) ne prennent pas en compte la deuxième série d'observations réalisées en février 2008, et dont l'analyse a été réalisée après celle des observations réalisées sur la zone Signal-Larégnère.

Comme sur la zone Signal-Larégnère, on observe une forte hétérogénéité spatiale de l'abondance et de la diversité spécifique. Abondance et richesse spécifique par stations apparaissent logiquement plus élevées le long du tombant interne de la barrière, mais pas seulement. Des valeurs importantes sont également relevées à l'intérieur du lagon. L'abondance par station est comprise entre 0 et 61, tandis que la richesse spécifique est comprise entre 0 et 17. A 17 stations sur 77 analysées, aucun poisson n'a été rencontré.

**Figure 29.** Richesse spécifique par station (métrique (8)). Les points blancs numérotés correspondent aux stations des suivis UVC.

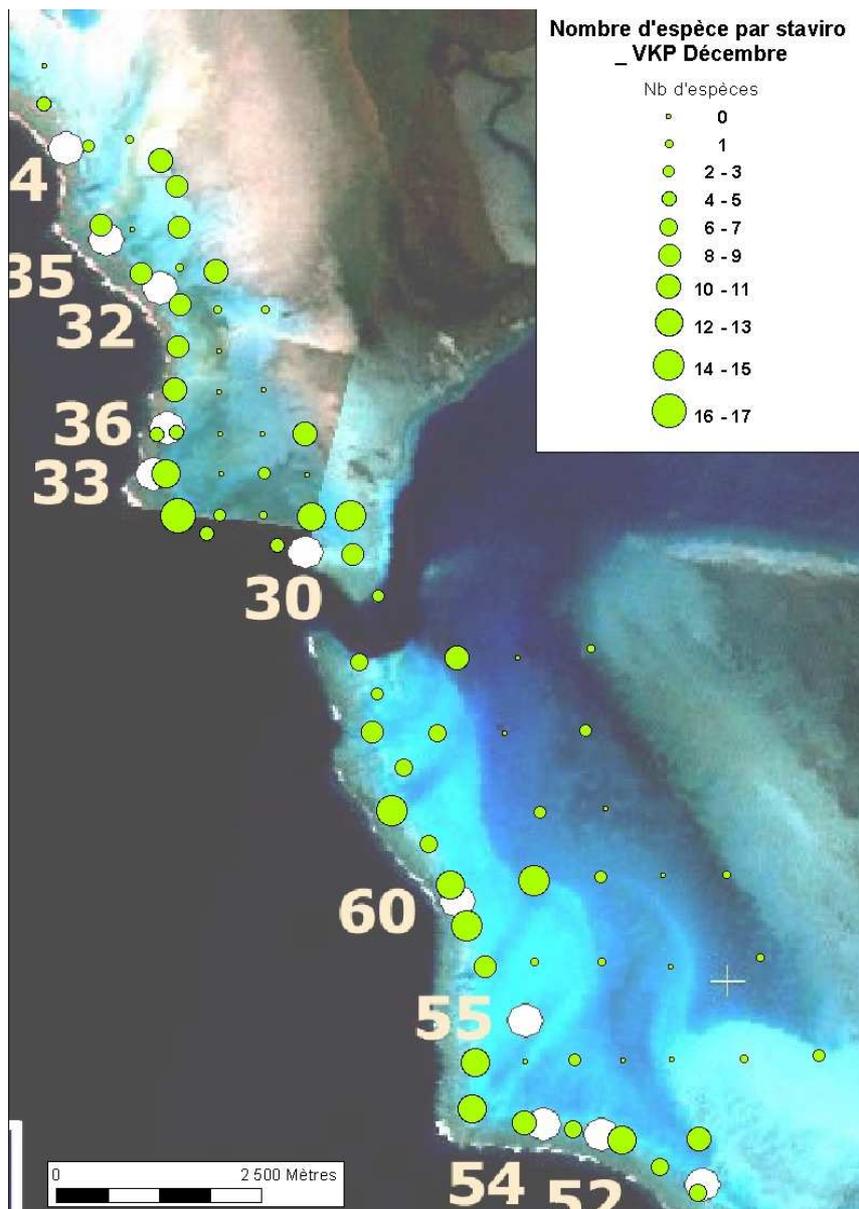
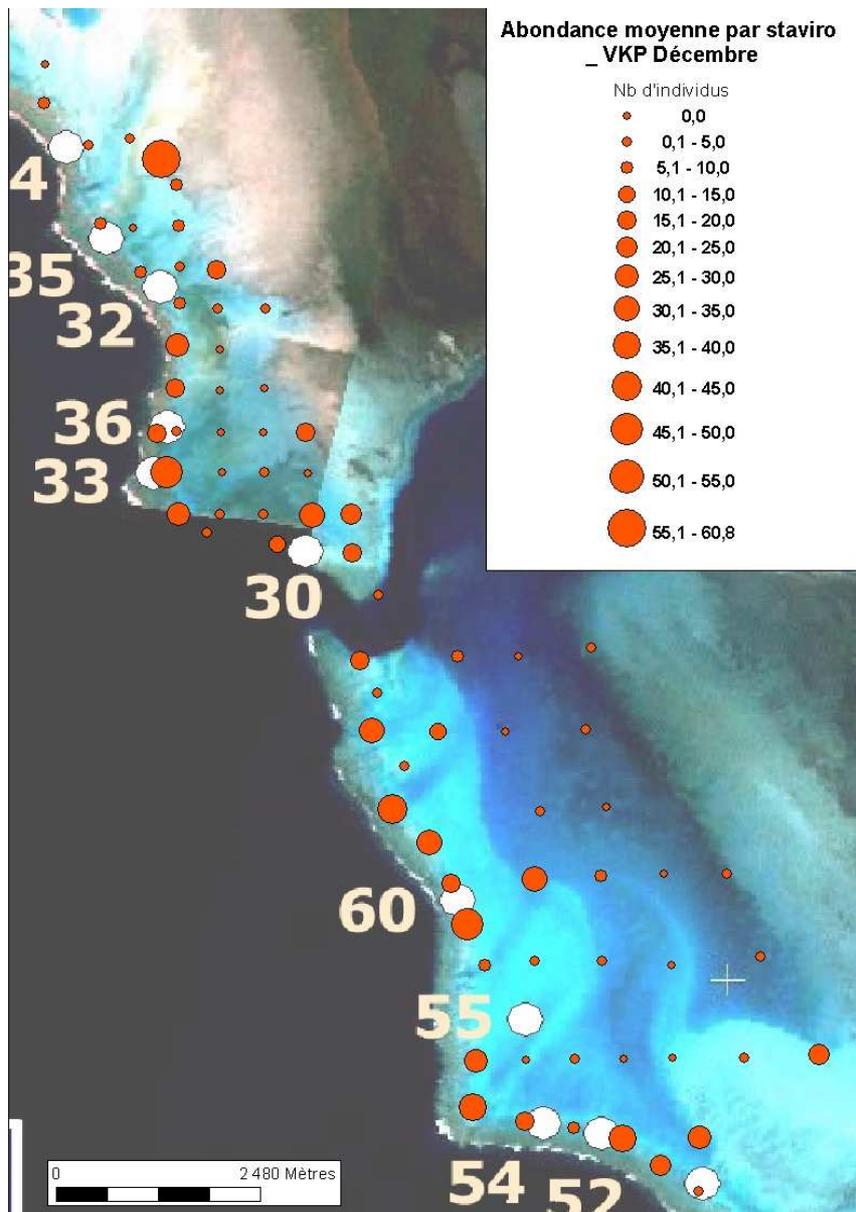


Figure 29. Abondance moyenne par rotation et par station (métrique (6)). Les points blancs numérotés correspondent aux stations des suivis UVC.



## V. Conclusions – Perspectives.

### V.1. Informations apportées par les techniques

- **Fraction de l'assemblage ichthyologique observée**

Trois techniques vidéo Haute Définition ont été utilisées : la vidéo tractée, les transects et les stations rotatives. Quelle que soit la technique considérée, les principales espèces d'intérêt halieutique sont couramment observées: Acanthuridés et notamment Naso, Lethrinidés, Serranidés, Lutjanidés, Scaridés, Siganidés, etc., et de toutes les classes de taille. Elles sont identifiables au niveau de l'espèce pour toutes les méthodes vidéo sauf pour quelques exceptions qui posent également problème pour les UVC. Il s'agit des petits individus des familles Lethrinidés, Scaridés et Labridés dont l'identification peut être améliorée en consacrant plus de temps à l'analyse des images.

Dans les transects vidéo et les stations rotatives, des espèces moins visibles sont également observées, comme les Pomacentridés. Enfin, dans les stations rotatives, donc en l'absence de plongeur, des espèces remarquables comme les tortues, requins, raies, napoléon, serpents sont observées et identifiées, ainsi qu'une présence accrue des espèces-cibles, dont certaines évitent souvent le plongeur ou s'en tiennent à distance, notamment les Acanthuridés (Naso sp. et Acanthurus sp.), les Lethrinidés, les Carangidés. Les poissons ne sont pas effrayés par le système vidéo, et semblent même parfois être intéressés par ce système, certains individus pouvant tourner autour de la station. La procédure d'analyse des images à l'échelle de la station fait que ce comportement n'occasionne pas de biais dans les comptages.

La comparaison directe entre les transects vidéos et les transects UVC montre qu'à partir des images vidéo, il est parfaitement possible de détecter les espèces habituellement vues lors des UVC, et ce alors même que l'expertise en analyse d'images en est à ses débuts.

Les stations rotatives permettent d'observer un certain nombre d'espèces plus couramment qu'avec les UVC, et parmi elles, des espèces-cibles importantes ainsi que des espèces remarquables voire emblématiques. Pouvoir réaliser un grand nombre de stations dans des habitats variés, y compris ceux qui ne font pas l'objet d'observations en routine au moyen d'UVC, apporte un plus en termes d'espèces observées et fournit des observations pour des habitats qui ne sont pas suivis en routine par des UVC.

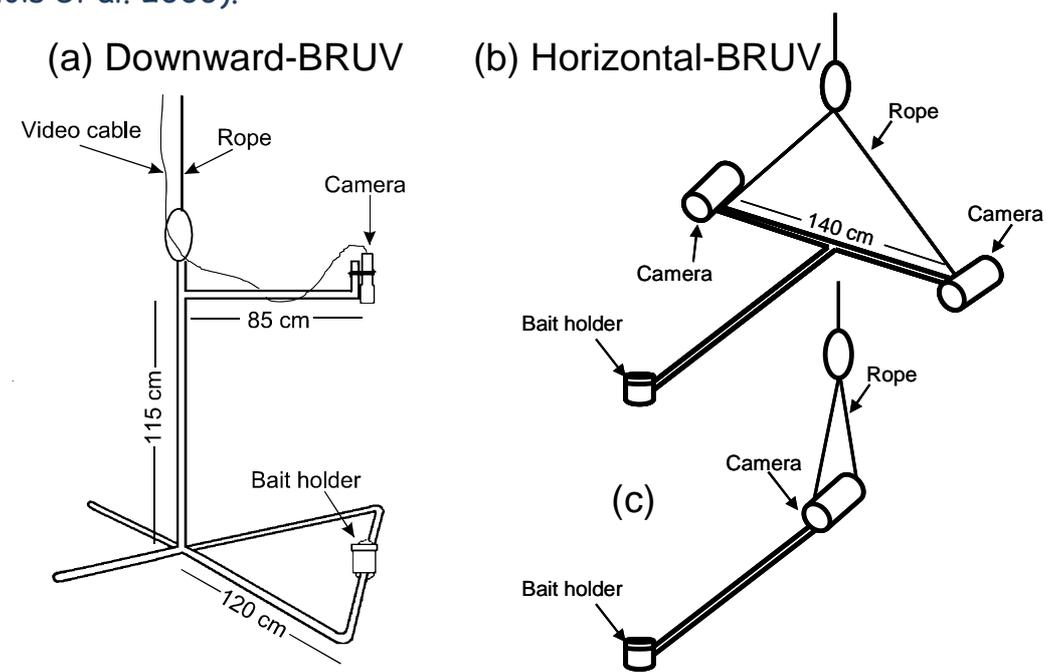
Il faut noter que la liste d'espèces utilisée pour l'analyse des stations rotatives est une liste limitative (qui correspond à la liste des espèces dites commerciales usuellement employée pour les suivis en UVC, à laquelle ont été rajoutées les espèces remarquables) (Tableau 1). L'analyse des images pour l'ensemble des espèces permettra de détecter un nombre accru d'espèces.

En ce qui concerne la vidéo tractée, la technique était également utilisée pour la première fois pour le comptage des poissons. L'analyse des images même très partielle laisse à penser que ces observations sont appropriées pour le comptage des espèces d'intérêt halieutique, après résolution de certains problèmes liés au bruit du moteur. Du fait que ces images ont été les premières analysées, les résultats en termes d'identification sont certainement améliorables. De plus, cette technique est intéressante pour l'habitat, et de par la couverture spatiale qu'elle offre, permettant ainsi de traverser de nombreux biotopes.

Cas de la vidéo appâtée. Compte tenu des autres possibilités techniques que nous avons explorées et à la lumière des résultats obtenus avec les vidéos appâtées en 2006, nous avons finalement choisi de ne pas mettre en œuvre cette technique durant cette opération.

En 2006, plusieurs vidéos appâtées ont en effet été réalisées à l'îlot Signal. Différents appâts, différentes positions de la caméra (positions horizontale et verticale, Figure 30). Des comptages visuels ont été réalisés aux mêmes endroits le même jour.

**Figure 30.** Dispositifs de vidéo appâtée utilisés dans l'expérience (extrait de Langlois et al. 2006).



En ce qui concerne la technique vidéo, la position verticale de la caméra s'est avérée plus performante que la position horizontale. Cependant, même en allongeant la durée de la station et en testant divers appâts, les résultats ont été décevants avec peu d'espèces et peu d'individus observés. 14 espèces appartenant à 4 familles ont été observées avec les vidéos appâtées contre 132 espèces de 16 familles avec les UVC. Les densités (resp. biomasses) moyennes obtenues avec les UVC et les vidéos appâtées sont respectivement  $0.21 \text{ ind.m}^{-2}$  ( $575 \text{ g.m}^{-2}$ ) et  $0.06 \text{ ind.m}^{-2}$  ( $271 \text{ g.m}^{-2}$ ). Une autre expérience de vidéo appâtée a été conduite en novembre 2006 en Province Nord, avec notamment un temps de pose beaucoup plus long, mais les abondances et richesses spécifiques observées ont été encore plus faibles qu'à Signal.

En comparaison des techniques que nous avons testées dans ce projet, la vidéo appâtée présente deux inconvénients dont le principal est le temps pris par chaque station qui peut être proche de l'heure, rallongeant ainsi le temps pris par l'analyse d'images tout en diminuant le nombre de stations réalisables par jour. En deuxième lieu, l'aire d'attraction de l'appât n'est pas non plus connue, rendant difficile l'estimation de la surface échantillonnée par station, et donc l'estimation de densités d'abondance, ainsi que l'extrapolation des estimations à des zones plus étendues. Les indices d'abondance ont donc une valeur uniquement relative, interprétable uniquement en termes de ses propres variations spatio-temporelles.

La vidéo appâtée donne cependant de bons résultats dans les utilisations qui en sont faites en Australie et en Nouvelle-Zélande (Willis et al 2003 ; Watson et al 2005). Dans ces applications, les problèmes posés par la technique sont la saturation du nombre de poissons visible à l'image et la dominance des gros poissons sur les petits, empêchant ceux-ci de se rendre sur l'appât.

Cappo et al. (2006) ont fait le bilan des études vidéo (essentiellement appâtées) réalisées au cours des 15 dernières années, notamment en termes de nombre d'espèces et de familles aperçues. A une échelle régionale, le plus grand nombre d'espèces observées (concernant toutes familles incluant notamment celle des serpents marins) est de 347 espèces pour 58 familles dans une gamme de profondeur allant de 8 à 110 m. Dans toutes les autres études, 20 espèces en moyenne sont observées, écosystèmes tropicaux et tempérés confondus, avec un maximum de 76 espèces. Ces chiffres confirment l'efficacité de la technique des stations vidéo rotatives non appâtées que nous avons développée dans cette étude. Néanmoins, la technique de vidéo appâtée est également en progrès constant.

- **Résolution et couverture spatiales et quantité d'information**

Les transects vidéo fournissent le même type d'information que les UVC, soit un nombre d'observations relatives à la surface de chaque transect (200 m<sup>2</sup> dans cette étude), nombre limité par les contraintes de plongée, bien que le temps pris pour réaliser un transect vidéo in situ soit plus bref que pour un UVC (voir S V.2). Les données peuvent être détaillées par secteur de 10 m de chaque transect, et la connaissance exacte de la surface du transect permet d'envisager des extrapolations des densités (qui devront toutefois prendre en compte les habitats rencontrés).

La vidéo tractée fournit des informations sur une bande d'environ 4 m sur une trajectoire de longueur 2 à 3 km. La largeur de l'image doit être réajustée en fonction de l'altitude (mesurée en continu) de la vidéo tractée au dessus du fond. Comme indiqué dans le III.1, les trajectoires peuvent être discrétisées en transects par ex. de 200 m<sup>2</sup>, pour une analyse des images à une échelle plus familière. Le sous-échantillonnage systématique des transects permet d'alléger l'analyse des images en fonction du temps disponible. Les données qui en résultent s'inscrivent ainsi sur une grille à deux dimensions le long des trajectoires. Lors des 9 jours de terrain réalisés, un linéaire de 40 km de trajectoire a été parcouru, aboutissant à une surface filmée de 80 ha.

Les stations rotatives fournissent des informations ponctuelles à une échelle d'environ 80 m<sup>2</sup> pour une visibilité de 5 m. 187 stations ont été réalisées (dont 151 exploitables) dans la zone de Koné en 10 jours correspondant à une surface échantillonnée d'environ 100 km<sup>2</sup> pour 28400 m<sup>2</sup> d'images analysables. Dans la zone de Signal-Larégnère au cours de 21 jours de sortie, 320 stations ont été réalisées (dont 221 exploitables) correspondant à une surface échantillonnée d'environ 13 km<sup>2</sup> pour 29500 m<sup>2</sup> d'images analysables. La distance entre deux stations successives est de 0.1 mn.

- **Observations de l'habitat**

Les images obtenues par les trois techniques utilisées fournissent des informations sur l'habitat.

Avec la vidéo tractée, l'information obtenue s'inscrit le long d'une trajectoire. La technique est d'ailleurs utilisée comme outil cartographique en milieu tempéré (Bonhomme et al. 2002). L'avantage de la vidéo tractée est de parcourir en continu une longue distance et donc d'obtenir des informations sur de nombreux biotopes différents (herbier, algueraie, pente externe, plâtier, etc.). L'inclinaison de la caméra ne permet par contre que l'analyse de la moitié inférieure de l'écran, la partie supérieure étant trop floue. Les mouvements parasites de la caméra ne facilitent pas non plus la capture d'image. Dans une configuration verticale pour la caméra, la technique est utilisable pour l'habitat seulement, les

images se révélant difficiles à utiliser pour compter les poissons. Cependant, dans ce cas, la surface observée est estimable et il est possible de sous-échantillonner des images sur la trajectoire pour les analyser à l'aide d'un logiciel de type CPCE. Dans une configuration horizontale, l'habitat doit être évalué à l'aide d'une approche paysagère (par ex. Medium Scale Approach (MSA), Clua et al. 2006), mais les mêmes images servent à la détermination de l'habitat et au comptage des poissons.

Lors des transects vidéos, l'approche de type MSA est utilisable au même titre que lors des UVC. L'estimation des pourcentages de couvertures des différents habitats a pu être réalisée de la même manière qu'en plongée et à partir de la même fiche. Si une mauvaise visibilité laisse subsister quelques doutes lors de l'estimation d'ensemble, la personne qui analyse les images peut laisser avancer le film vidéo pour affiner ces pourcentages de couverture. Une technique de Linear Intercept Transect pourrait aussi être utilisée avec cette technique.

L'approche MSA est également aisée en ce qui concerne les stations vidéo rotatives.

Au final, la vidéo tractée comme les stations rotatives fournissent des informations à fine échelle sur les habitats qui pourraient être valorisées comme information de terrain pour des approches cartographiques basées par exemple sur des données satellitaires ou autres.

## V.2. Faisabilité et mise en œuvre des techniques

- **Matériel requis**

Le matériel vidéo requis demande un investissement abordable. Le poste le plus élevé concerne les caissons des caméras. Les caméras elles-mêmes ont un coût unitaire d'environ 1000 €. Les caissons peuvent être fabriqués à moindre coût à partir de tubes cylindriques en plexiglas. En ce qui concerne les moyens d'analyse, un PC performant et un écran de 22" pouces sont nécessaires. Enfin, l'archivage des images est très gourmand en espace disque. Nous avons privilégié dans cette étude l'archivage sur des disques durs externes de 300 et 500 Go. De manière générale, le coût de ces différents matériels baisse au cours du temps. Ainsi, la caméra utilisée pour cette étude a connu une diminution de plus de 25% en un an.

La mise en œuvre de la vidéo tractée demande par contre du matériel supplémentaire : câble de traction et de transmission des informations, matériel de monitoring et logiciel de géoréférencement. Le câble est le plus cher à acquérir.

Pour le reste, les moyens matériels requis sont relativement abordables.

- **Conditions de mise en œuvre**

Les techniques ont été mises en œuvre à partir des moyens navigants disponibles, sans nécessité d'équipement particulier. Les conditions météorologiques rencontrées ont été diverses. Après un temps d'adaptation nécessaire aux développements des différentes méthodes, notamment celle des stations vidéo rotatives, celles-ci se sont révélées utilisables jusqu'à 1m de houle et 25 nœuds de vent, dans des profondeurs allant de 1 à 20m. La hauteur des vagues est le facteur limitant pour la vidéo tractée comme pour les stations rotatives. Ce sont la mise à l'eau et surtout la récupération du système qui deviennent délicates lorsque les conditions se durcissent. Des profondeurs plus importantes pourraient être explorées sans grand risque.

Pour les stations rotatives, une des contraintes actuelles du système est la nécessité de positionner le système horizontalement sur le fond. En cas de ressac, le lestage doit également être adéquat pour limiter le risque de balancement conduisant à une analyse d'image très inconfortable, voire de bascule et de chute pouvant conduire à des dégâts matériels, comme ce fut le cas en juillet 2008.

- **Temps et ressources humaines**

Les temps et les compétences requis pour chaque technique à chaque étape de sa mise en œuvre sont récapitulés dans le Tableau 11.

Dans la réalisation de cette étude, les ressources financières utilisées sont les suivantes :

- Ressources humaines : ZONECO (7,5 mois), IRD/CRISP (4,5 mois), IFREMER/IRD (4+2 mois)
- 2 systèmes caisson-caméra : IFREMER, IRD/CRISP
- Système rotatif : ZONECO et IRD
- Vidéo tractée : IFREMER
- PC + écran large: IFREMER et IRD
- Disques Durs pour archivages: IFREMER, IRD/CRISP
- Mission terrain: IRD/CRISP, IFREMER

**Tableau 11.** Récapitulatif des ressources en temps et en personnel requises pour les différentes techniques mises en œuvre.

<b>Technique</b>	<b>Temps (observation, analyse image, saisie des données)</b>	<b>-Ressources humaines -Nombre d'observations réalisables par jour</b>
<b>UVC</b>	-in situ : 45mn à 1h30 par transect poisson et 10mn par transect habitat -15mn pour la saisie des données	-2 plongeurs dont un formé à l'identification des espèces -2-3 transects poissons par jour et par plongeur et autant de transects habitat
<b>Vidéo tractée</b>	-temps in situ <sup>(a)</sup> -analyse des images: 10-15mn par transect	-1 ou 2 personnes et un pilote expérimenté -6h de tractage par jour et par bateau
<b>Transects vidéos</b>	-in situ : 15mn par transect -analyse des images: 45mn à 1h40 par transect poisson, et 20mn pour habitat	-2 plongeurs dont un qui filme -8 transects droits (6 transects navigants) par jour et plongeur
<b>Stations rotatives</b>	-in situ : 20mn par station -analyse des images: 10 à 45 mn par station et 1mn pour habitat	-1 ou 2 personnes et un pilote expérimenté -20 stations par jour avec un système -35 stations par jour avec 2 systèmes
<b>Vidéo appâtée</b>	-in situ : 1h - 1h30 par station -temps d'analyse	-1 plongeur pour la mise en place de la station -4-5 stations par jour par système

(a) Limité par la capacité du disque dur de la caméra. Le disque dur des caméras utilisées a une capacité de 40 Go, soit 4h d'enregistrement en HD. Actuellement, des caméras Sony avec un disque dur de 60 Go ou 80 Go sont sorties, au même prix que les caméras utilisées un an auparavant

### V.3. Difficultés rencontrées

Au cours de cette étude, nous avons du faire face, comme il se doit dans la mise au point de techniques d'observation, à plusieurs difficultés, sur le terrain et lors de l'analyse des images.

- **Sur le terrain**

Visibilité. Comme toutes les techniques basées sur les images, la vidéo requiert une visibilité suffisante. Dans la pratique, le visionnage rapide des vidéos au retour de chaque sortie a permis de valider les stations et des prévoir de refaire les jours suivants les stations inexploitable.

Réglages et problèmes techniques. Mise au point déréglée, problèmes d'étanchéité, d'alimentation, de surchauffe, d'angle de rotation ont été résolus les uns après les autres, et les systèmes sont considérés désormais comme fiables de ce point de vue.

Procédure de pose et récupération des stations. Plusieurs méthodes ont été testées pour le largage, la récupération, la prise d'information avant et après la station (Annexes IX et X), et la procédure est maintenant au point, elle est simple à apprendre pour un(e) novice.

- **Analyse des images**

Identification des espèces. L'apport de la Haute Définition a été une aide précieuse lors de l'analyse des vidéos pour l'identification des poissons. De plus, une séquence vidéo, contrairement à un cliché photographique, permet de prendre en compte le comportement et les mouvements des poissons pour aider à l'identification.

Néanmoins, certaines difficultés ont été rencontrées :

- Certaines espèces sont difficiles à dissocier sur la vidéo : *Acanthurus xanthopterus*, *A. blochii*, *A. nigricauda*, *A. albipectoralis* pour les Acanthuridés ; *Pomacentrus moluccensis* et *P. amboinensis* pour les Pomacentridés (transect vidéo).

- Certains individus se tiennent en limite de visibilité, passent trop rapidement (même pour le ralenti) ou seulement en partie devant la caméra. Il est alors difficile de les identifier au niveau de l'espèce, mais il est souvent possible de les reconnaître au niveau de la famille.

Pour la vidéo tractée, la vitesse, l'instabilité du système et la fuite des poissons devant le bateau en raison du bruit du moteur ont rendu plus difficile l'identification de plusieurs poissons, d'autant que de nombreux bancs de

juvéniles de scaridés (représentant près de 50% des observations) ont été croisés. L'absence de l'utilisation du moteur rend plus facile l'identification, mais le maintien d'un cap est alors plus difficile.

Pour les stations vidéo rotatives, l'identification des poissons est assez aisée, même si certaines espèces sont difficilement à distinguer, si des individus se tiennent trop loin ou passent trop vite ou seulement en partie devant la caméra. Cette technique est de plus accessible à des personnes non expertes (mais disposant tout de même de bonnes bases en identification) si l'on s'intéresse aux espèces ciblées par la pêche.

Pour toutes ces techniques, l'identification peut procéder en plusieurs étapes, avec un premier visionnage, suivi du recours à un expert pour confirmer ou aider à identifier les espèces pour lesquelles il y a un doute.

Estimation de la taille. Celle-ci s'avère difficile pour la plupart des petites espèces, souvent peu mobiles (comme les Pomacentridés, ainsi que certains Labridés). L'absence de mouvement prive en effet d'un élément pour l'identification, dans la mesure où les mouvements d'un poisson aident aussi à l'estimation de sa taille. Ces problèmes concernent essentiellement la méthode des transects vidéo.

La vision en deux dimensions entraîne par ailleurs l'écrasement des distances, pouvant rendre difficile l'estimation de la taille des poissons. C'est à dessein que la taille est évaluée en classes (petit, moyen, grand) spécifiques à chaque espèce, niveau de précision qui nous semble suffisant pour les suivis. Les effets liés à l'utilisation de grands angles avec les caméras et caisson peuvent aussi altérer l'estimation de la taille (surtout dans le sens d'une surestimation). Une expérience de calibration des images avec des poissons en plastique de plusieurs tailles et plusieurs couleurs, placées à des distances variables mais connues a été réalisée pour la campagne 2008, dont les premiers résultats indiqueraient une tendance à la sous-estimation de la taille des individus et de la distance d'observation. Cette question pourra certainement être prochainement résolue au plan technique, soit grâce à des pointeurs lasers, soit en utilisant des systèmes stéréos.

Comptage et Double comptage. La méthode consistant à ne pas compter un poisson dès lors que l'on a un doute sur le fait de l'avoir déjà compté a donné des résultats satisfaisants. Pour toutes les méthodes, le nombre d'individus composant un banc (nombre élevé d'individus) a été estimé selon la méthode des "paquets" habituellement utilisée lors des UVC. Avec la vidéo tractée, le fait que la caméra avance avec de la vitesse a grandement diminué le risque de double comptage. Pour les transects vidéo, une attention particulière doit être portée aux mouvements des poissons sortant et entrant dans le champ de vision de la caméra afin d'éviter tous double comptage. Certaines espèces comme les *Thalassoma* et les juvéniles de Scaridés ont des comportements plus

susceptibles d'entraîner des doubles comptages que des espèces moins mobiles comme les Pomacentridés. Parmi les trois techniques utilisées, c'est dans les stations vidéo rotatives que le risque de double comptage est le plus grand, entraînant ainsi une certaine sous-estimation du nombre d'individus observés, notamment avec les quelques espèces très mobiles, et celles qui ont tendance à tourner autour du système (*Nasos*, certains *Acanthurus*). Néanmoins, la procédure de comptage adoptée doit minimiser ce risque.

Estimation de la distance. La distance à laquelle se trouve chaque poisson ou groupe de poissons doit être appréciée, introduisant un risque d'erreur (qui existe aussi dans les UVC mais avec toutefois un champ de vision en trois dimensions). L'expérience avec les poissons en plastique semble indiquer que la distance serait plutôt sous-estimée. Le problème est partiellement résolu en s'appuyant sur des métriques d'abondance et de densité qui ne considèrent pas la distance entre 0 et 5 m, mais seulement pour les individus vus au-delà de cette distance. Cette question pourra certainement être prochainement résolue au plan technique, soit grâce à des pointeurs lasers, soit en utilisant des systèmes stéréos.

#### **V.4. Perspectives**

- **Analyse des données**

Mis à part la comparaison entre UVC et transects vidéo, les résultats présentés dans ce rapport ne sont que partiels, même pour ce qui est des stations rotatives 2007 de Signal-Larégnère. Il convient de retravailler sur ces données dans plusieurs directions :

- Etude des propriétés d'un ensemble de métriques calculables à partir des données, et ce afin de confronter leurs aptitudes à indiquer les variations spatiales et temporelles des assemblages ichtyologiques ;
- affiner la méthode de caractérisation des habitats pour les stations rotatives ; choix des catégories, des descripteurs de l'habitat ;
- Evaluation de la pertinence de différentes métriques à refléter un effet de la protection sur les îlots en réserve sur la base des deux points précédents.

- **Poursuite des observations**

Dans le cadre du projet PAMPA, la zone Signal-Larégnère a fait et fera l'objet d'une nouvelle campagne d'observations en juin-juillet 2008 (plus de trois cent stations valides) et 2009. D'autres sites pêchés ont été rajoutés à la stratégie d'échantillonnage afin de compléter les sites des récifs Larégnère et Senez. Le choix de ces sites s'est appuyé sur les résultats d'enquêtes usages mis en place sur le lagon en 2008.

Une expérience de comparaison entre points fixes visuels et stations rotatives sera également conduite, dans un site qui reste à confirmer, Ouano ou Signal-Larégnère.

Les systèmes seront également testés dans deux autres sites, Mayotte et Banyuls. Selon les demandes, des tests dans d'autres sites pourront avoir lieu et notamment en Nouvelle-Calédonie.

- **Améliorations du système d'observation**

Le système a d'ores et déjà été amélioré entre 2007 et 2008 et est considéré comme robuste puisqu'un grand nombre de stations valides a pu être réalisé en 2008. Les étapes suivantes de l'amélioration concernent l'installation de pointeurs lasers destinés à l'estimation de la distance et/ou de la taille des poissons.

- **Bancarisation des données**

Un travail sur la bancarisation aura lieu dès début 2009 afin de proposer une solution fiable et ergonomique pour gérer et accéder aisément l'ensemble des images de la banque d'informations. Le lien avec les outils de restitution qu'ils soient statistiques ou cartographiques doit également être spécifié et développé.

- **Stations longitudinales**

En complément des stations rotatives et de leur couverture spatiale, on envisage de réaliser des stations temporelles, rotatives ou non, déposées à des endroits précis et qui enregistrent pour de courtes périodes à intervalles réguliers du matin jusqu'à la nuit. L'intérêt de ces stations est de pouvoir évaluer les variations à très court terme des observations, notamment pour pouvoir les prendre en compte dans l'analyse des stations rotatives. 9 stations ont ainsi été réalisées en 2008 dans les principaux sites d'observation.

## **Un outil pour le suivi des ressources récifo-lagonaires ?**

Le bilan de l'étude est à notre sens très positif. Les techniques vidéo testées sont facilement mises en œuvre dans une large gamme de conditions météorologiques et de navigation. Elles ne requièrent pas un haut niveau d'expertise sur le terrain ; les coûts matériels sont raisonnables. Le coût d'acquisition de l'information in situ est faible puisqu'un grand nombre de stations peuvent être réalisés par deux ou trois personnes. La vidéo tractée et les stations rotatives ne nécessitent pas de plongeur.

Les images offrent une grande masse d'information, avec une couverture spatiale importante et une grande observabilité de l'assemblage ichtyologique et des habitats. Ces images sont archivables et réutilisables pour d'autres objectifs.

Les avantages et inconvénients des techniques utilisées sont résumés dans le Tableau 12. Moyennant des études complémentaires sur les points qui sont listés dans les perspectives, vidéo tractée et stations rotatives sont des outils de suivi potentiel, la première de préférence pour les habitats, la deuxième pour les poissons et les habitats, qui semblent pouvoir être mis en œuvre par les services gestionnaires ou du moins en étroite collaboration avec eux. Ces outils sont également disponibles pour d'autres sites que les sites de l'étude.

**Tableau 12.** Comparaison des avantages et inconvénients de chaque technique dans un objectif de suivi des ressources récifo-lagonaires. L'avantage de la vidéo en termes d'archivage des données n'est pas mentionné.

Technique	Avantages et inconvénients
UVC	<p><b>Largement répandus</b>  <b>Observation du peuplement de poisson : +++</b>                      Requiert des plongeurs qualifiés en identification d'espèces                      Effet du plongeur sur le comportement du poisson                      Effet de l'observateur dans les comptages                      Besoin de transects supplémentaires pour l'habitat</p>
Vidéo appâtée	<p>Peu d'espèces et peu de poissons observés ici                      Temps d'observation relativement long</p>
Transects vidéos	<p><b>Observation du peuplement de poisson : +++</b>                      Effet du plongeur sur le comportement du poisson                      Effet de l'observateur limité (plusieurs analyses possibles)</p>
Stations rotatives	<p><b>Observation du peuplement de poisson : +++</b>  <b>Pas d'effet plongeur</b>                      Effet de l'observateur limité (plusieurs analyses possibles)  <b>Rapide, bonne couverture spatiale</b></p>
Vidéo tractée	<p><b>Adapté pour l'habitat</b>  <b>Rapide, bonne couverture spatiale</b>                      Estimation abondance poissons possible mais à améliorer</p>

## Références

- Andréfouët, S. & D. Torres-Pullizza. 2004. Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie. IFRECOR Nouvelle-Calédonie, IRD Nouméa. 26 p. + 22 planches.
- Bonhomme P., Denis J., Bernard G., Deneux F., Charbonnel E., Emery E., Hervé G., Leriche A., Le Direach L., Sauzade D., & C.F. Boudouresque. 2002. Guide méthodologique pour la cartographie des biocénoses marines, volet n°1 l'herbier à *Posidonia oceanica*. Contrat d'étude Ifremer - GIS Posidonie, Fr. 84 p.
- Brock V. E. 1954. A preliminary report on a method of estimating reef fish populations. *Journal of Wildlife Management* **18**, 297-308.
- Clua E., Legendre P., Vigliola L., Magron F., Kulbicki M., Sarramegna S., Labrosse P. & R. Galzin. 2006, Medium scale approach (MSA) for improved assessment of coral reef fish habitat, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **333**, 219-230.
- Harmelin-Vivien, M. L., Harmelin J. G., Chauvet C., Duval C., Galzin R., Lejeune P., Barnabé G., Blanc F., Chevalier R., Duclerc J., & G. Lasserre. 1985. "Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons : méthodes et problèmes." *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)* **40**, 467-540.
- Harvey, E., Fletcher, D., & M. Shortis. 2002. Estimation of reef fish length by divers and by stereo-video next term A first comparison of the accuracy and precision in the field on living fish under operational conditions. *Fisheries Research* **57**, 255-265.
- Kulbicki, M. & S. Sarramegna. 1999. "Comparison of density estimates derived from strip transect and distance sampling for underwater visual censuses: a case study of Chaetodontidae and Pomacanthidae." *Aquatic Living Resources* **12**(5), 315-325.
- Langlois, T.J., Chabanet, P., Pelletier, D., & E. Harvey. 2006. Baited underwater video for assessing reef fish populations in marine reserves. *Secrétariat de la Communauté du Pacifique, Fisheries Newsletter* **118**, 53-56.
- Labrosse, P., Kulbicki, M. & J. Ferraris. 2003. Reat : Comptage visuel de poissons en plongée. Conditions d'utilisation et mis en oeuvre. Secrétariat générale de la Communauté du Pacifique. 54 p.
- Letourneur Y., Kulbicki M., & P. Labrosse. 1998. Length-weight relationship of fishes from coral reefs and lagoons of New Caledonia - an update. *NAGA, the ICLARM Quarterly* **4** 39-46.
- Morrison, M. & C. Carbines, 2006. Estimating the abundance and size of an estuarine population of the sparid *Pagrus aurata*, using a towed camera

- during nocturnal periods of inactivity, and comparisons with conventional sampling techniques. *Fisheries Research* **82**, 150-161.
- Watson, D.L., Harvey, E.S., Anderson, M.J., & Kendrick, G.A. 2005. A comparison of temperate reef fish assemblages recorded by three underwater stereo-video techniques. *Marine Biology* **148**, 415-425.
- Willis, T.J., Millar, R.B., & Babcock, R.C. 2003. Protection of exploited fishing temperate regions : high density and biomass of snapper *Pagrus auratus* (Sparidae) in northern New Zealand marine reserves. *Journal of Applied Ecology* **40**, 214-227.