

Bilan de l'analyse des données de marquage collectées du mois de décembre 2011 au mois de septembre 2013 dans le cadre du programme CHARC



par Marc Soria, Antonin Blaison et Pascal Cotel de l'IRD
Janvier 2014

Programme CHARC (Connaissances de l'écologie et de l'Habitat de deux espèces de Requins Côtiers à La Réunion)

SOMMAIRE

Introduction

I. Les opérations de déploiement des stations d'écoute et de marquage des requins

I.1. Le déploiement des stations d'écoute

I.2. Les opérations de pêche et de marquage

II. Résultats préliminaires sur le comportement des requins tigre et bouledogue

II.1. Le requins tigre (*Galeocerdo cuvier*)

II.2. Le requin bouledogue (*Carcharhinus leucas*)

II.2.1. Analyse globale du nombre de détections et des temps de présence

II.2.2. Analyse de la variabilité spatiale et temporelle des temps de présence des requins bouledogue

A. Temps moyens d'absence et de présence

B. Analyse de la variabilité spatiale et temporelle des temps de présence

C. Analyse de la variabilité annuelle et saisonnière des comportements

D. Analyse des déplacements à moyenne et grande échelles

D. 1. Déplacements sur l'ensemble de la zone côtière de l'île de la Réunion

D. 2. Déplacements à grande l'échelle par double marquage (marques Vemco et Wildlife Computer)

III. Analyse de deux facteurs plausibles favorisant la présence accrue de requins à la côte

IV. Discussion

V. Conclusion

VI. Citations

Annexe

Introduction

Le programme CHARC a notamment pour but de collecter des informations sur le comportement des requins bouledogue et tigre marqués autour de l'île de La Réunion pour définir les différents habitats de ces deux espèces à partir de leur temps de présence et de leurs déplacements dans cette zone. A partir du mois d'octobre 2011, en collaboration avec le CRESSM, l'association Squal'idées, 3 pêcheurs de la côte ouest de l'île et les équipes de plongeurs et de marquage, l'équipe scientifique de l'IRD a effectué le déploiement des stations d'écoute et les opérations de marquage sur l'ensemble de la zone d'étude qui s'étend actuellement soccer predictions du Port jusqu'à la ville de Saint-Pierre avec deux stations supplémentaires aux sorties des ports de Sainte-Marie et de Sainte-Rose.

Plusieurs rapports intermédiaires ont été effectués et diffusés au cours de cette période. Ces rapports ainsi que le document de référence du programme peuvent être consultés sur le site IRD de La Réunion à l'adresse suivante : <http://www.la-reunion.ird.fr/le-programme-charc>. Ce rapport fait suite au dernier relevé effectué début octobre 2013. Il compile l'ensemble des données obtenues entre décembre 2011 et septembre 2013.

I. Les opérations de déploiement des stations d'écoute et de marquage des requins

I.1. Le déploiement des stations d'écoute

Au cours de la période d'étude, 47 sites ont été équipés de stations d'écoute VR2W Vemco. Le tableau 1, en annexe page 30, indique les sites et les périodes de ces déploiements. Depuis le 12 mai 2013 et suite à des remaniements, le dispositif d'observation est constitué de 44 sites équipés chacune d'une station d'écoute, et couvre l'ensemble de la zone d'étude au sud-ouest de l'île et les sorties des ports de Sainte-Marie et de Sainte-Rose (figure 1). Ainsi, in fine, la surface de la zone d'étude est estimée à 160 km² en considérant un polygone de 2 km de large et de 80km de long, parallèle à la côte. En considérant qu'en moyenne une station couvre une surface de détection d'environ 0.35 km², la surface totale de détection et donc d'échantillonnage des 44 sites sur lesquelles les stations ont été déployées est approximativement de 16 km² ce qui correspond à 10% de la zone d'étude. Néanmoins, le nombre de stations et la durée des observations sur les sites ont varié au cours du temps. Le déploiement des stations s'est effectué en plusieurs étapes et de nombreux réajustements ont été nécessaires tels que le nombre de stations par site et leurs positions (figure 2). Ces variations au cours des observations ont été prises en compte dans l'estimation des mesures lorsque les besoins des calculs le nécessitaient.

I.2. Les opérations de pêche et de marquage

Soixante dix neuf sorties de pêche ont été effectuées du 18 novembre 2011 au 16 mai 2013 soit pendant environ 18 mois. La palangre horizontale de fond (ancrée) a été l'engin de pêche principal utilisé. Soixante quinze pour cent des 284 coups de pêche effectués au cours de cette

période l'ont été dans le secteur Nord de la zone d'étude entre Le Port et Trois Bassins. En moyenne (tigre et bouledogue confondus), une capture par jour de pêche a été réalisée (1.1 ± 0.2).

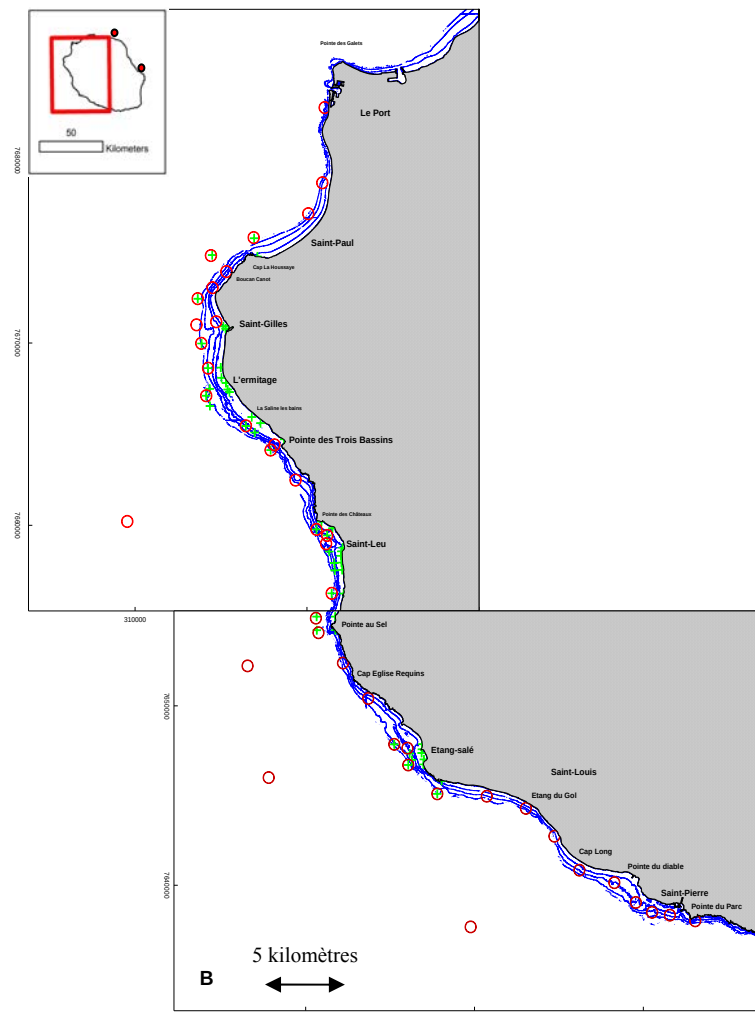


Figure 1. Carte de la zone d'étude. Les 42 stations d'écoute sont indiquées par un cercle rouge. Les croix vertes indiquent l'emplacement des bouées de la Réserve Marine. Les deux points sur la carte de situation indiquent les stations aux sorties des ports de Sainte-Marie et de Sainte-Rose.

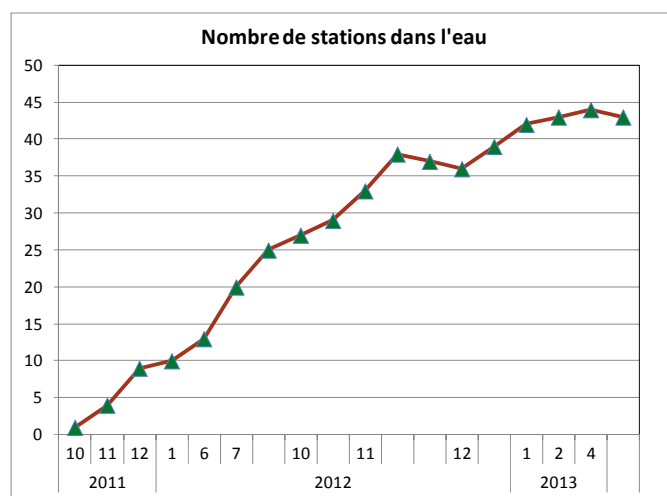


Figure 2. Evolution du nombre de stations à l'eau fonction du nombre de stations déployées et des redéploiements au cours de la période d'observation.

L'effort de pêche a été variable, plus intense en été qu'en hiver, ce qui conduit à des prises par unité d'effort plus importantes au cours des mois de janvier, février, juin et septembre (figure 3).

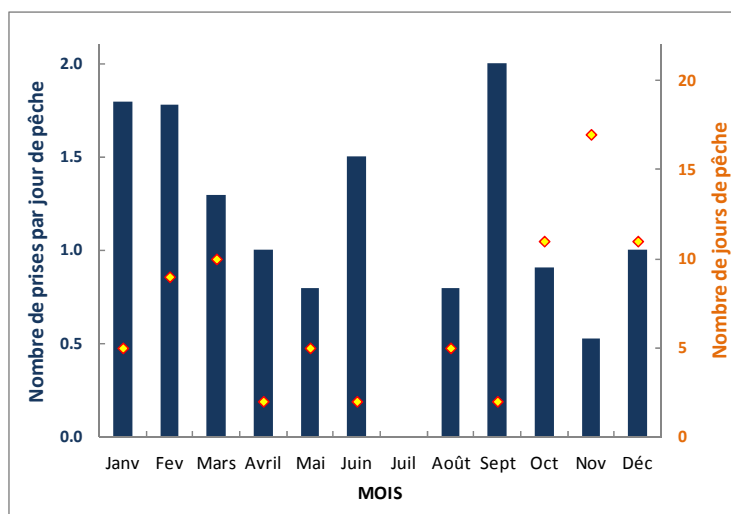


Figure 3. Nombre de prises de requins tigre et bouledogue par jour de pêche (histogramme) et nombre de jours de pêche (losange jaune) en fonction des mois.

Cet effort de pêche a permis la capture et le marquage avec des marques codées de 80 requins, 38 requins bouledogue et 42 requins tigre (cf. tableau 2 en annexe page 31). Les marques utilisées sont des marques V16 ou V16TP et pour celles utilisées au début de l'expérience, des marques V13TP. La plupart des marques sont munies de capteur de température et de pression permettant d'estimer la profondeur de détection (65 sur 80). Le taux d'émission et donc de détection est en moyenne d'une émission par minute.

A chaque capture, les caractéristiques morphologiques (taille à la fourche, taille totale, position et longueur des ptérygopodes (chez les mâles)) et biologiques (sexe, stade maturité) ont été relevées. Une prise de sang et un échantillon de nageoire ont été effectués en vue des analyses génétiques et du comportement alimentaire.

Entre octobre 2011 et juin 2012, les données enregistrées par les stations ont été récupérées à deux reprises, en janvier et en avril 2012. Par la suite, ce relevé a été effectué en novembre 2012 et avril et septembre 2013. Les premiers mois concernant très peu de requins, la base de données analysée dans ce rapport a été construite à partir de l'ensemble des informations recueillies et enregistrées de fin décembre 2011 à fin septembre 2013 soit pendant 21 mois. Quinze requins n'ont jamais été détectés (11 requins tigre et 4 requins bouledogue). Sur l'ensemble des stations, 137453 et 4535 détections ont été enregistrées au cours des 21 mois de suivi pour les requins bouledogue et tigre respectivement.

A partir du nombre de détections, il est possible de calculer des temps de présence par requin et par station. Le calcul n'est néanmoins possible que si le requin est détecté deux fois sur la même station et ce, dans un certain laps de temps qui est la durée maximale autorisée entre deux détections ; au-delà de celle-ci, les deux détections ne sont plus associées et sont considérées

alors comme indépendantes. Après analyse cette durée a été fixée à 1 heure. Nous considérons donc qu'un requin qui a été détecté deux fois à 1 heure (limite maximum) d'intervalle est resté 1 heure sur la station. Cet intervalle est relativement important et surestime les temps de présence mais permet de tenir compte des possibles pertes d'émissions ou des variations des distances de détection des stations sensibles au niveau de bruit ambiant (cf Rapports CHARC Soria et Blaison 2012 et 2013).

II. Résultats préliminaires sur le comportement des requins tigre et bouledogue

II.1. Le requins tigre (*Galeocerdo cuvier*)

Concernant les requins tigre, l'analyse succincte des données montre que :

Le nombre de détections et le temps de présence des requins tigre sont beaucoup plus faibles que ceux des requins bouledogue. Ils représentent 3.2% du nombre total de détections et 2.8% de la somme globale des temps de présence estimés. Ils sont quasiment absents des zones de détection pendant l'aube et le crépuscule. Quatre DCPs (Dispositif de Concentration de Poissons) du large, déployés entre 5 et 9km de la côte et ancrés sur des profondeurs comprises entre 600 et 1600m, ont été équipés de stations d'écoute (cf tableau 1 et figure 4)



Figure 4. Carte des positions des 4 DCPs équipés de station d'écoute avec la bathymétrie de la zone. Les données bathymétriques proviennent des MNT (modèles numériques de terrain) de la "plate-forme de modélisation hydrodynamique du littoral Réunionnais" (projet HYDRORUN coordonné par la Délégation Ifremer océan-Indien et le laboratoire Dyneco-Ifremer/Brest)¹.

Seize requins tigre ont été détectés sur trois de ces DCPs ce qui représente 26% du temps total de présence de ces requins dans le réseau de stations alors que seulement trois requins bouledogue l'ont été sur ces DCPs, à des profondeurs enregistrées comprises entre 50 et 150m et pendant 5% du temps total de présence de ces requins dans le réseau. Ces résultats montrent que le requin tigre se déplace à La Réunion dans un habitat plus au large que celui, très côtier, suivi par le réseau de stations et qu'il est moins assujéti à la côte que le requin

¹ *Les données bathymétriques proviennent des MNT (modèles numériques de terrain) de la "plate-forme de modélisation hydrodynamique du littoral Réunionnais" (projet HYDRORUN coordonné par la Délégation Ifremer océan-Indien et le laboratoire Dyneco-Ifremer/Brest). Elles regroupent des données issues des campagnes océanographiques (OEHLER (2005), ERODER (2006), FOREVER (2006), Litto3D(2009) et SHOM). Le Projet HYDRORUN a bénéficié, entre 2009 et 2012, du soutien financier de l'Union Européenne (Fonds FEDER Réunion), du Conseil Régional de la Réunion, de l'Office de l'Eau de La Réunion, de l'Etat-DEAL de La Réunion et de l'Ifremer.Hydrorun, Ifremer)

bouledogue. Ces résultats montrent également que le requin bouledogue n'est pas une espèce uniquement benthique, inféodée aux zones près du fond et très côtières.

Un requin tigre femelle sub-adulte de 3 mètres de longueur totale, marqué à La Réunion, le 6 décembre 2012 sur le tombant du sec de Saint-Paul à 3 km de la côte a été pêché, 9 mois plus tard, le 28 août 2013 à Morombé sur la côte ouest de Madagascar à une centaine de kilomètres au Nord de Tuléar (figure 5). Ce requin n'a pas été détecté dans le réseau et a donc pu quitter La Réunion peu après avoir été marqué. Il a ainsi pu parcourir au moins 1800 km, en 9 mois environ, en traversant la partie Sud-Ouest de l'Océan Indien entre les deux îles. Cette observation est corroborée par les données de pêches palangrières indiquant le requin tigre comme prise accidentelle de ces pêcheries hauturières très au large (P. Bach, comm. pers.). Ces résultats suggèrent que le requin tigre occupe une aire biogéographique très vaste. Si la population de cette espèce occupe l'Océan Indien ou partie de cet Océan, cela suppose que la taille de cette population pourrait être relativement importante et également difficile à estimer.

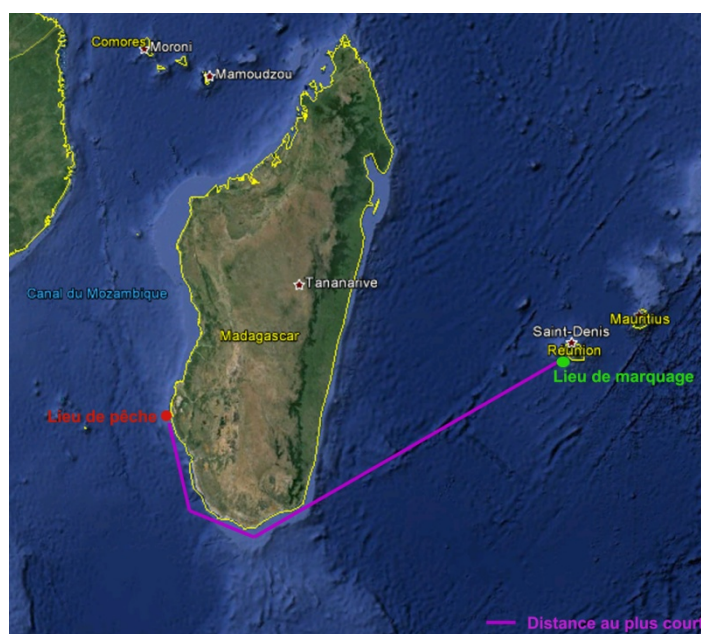


Figure 5. Carte de la région sud-ouest de l'Océan Indien avec les positions de départ et d'arrivée du requin tigre marqué à La Réunion et capturé à Morombé à Madagascar avec la distance au plus court entre les deux points (trait violet).

Ces résultats sont en accord avec les connaissances acquises sur le cycle biologique de cette espèce et les données de la littérature montrant que le requin tigre est capable d'effectuer des migrations de longues distances (Meyer *et al.*, 2009). Les requins de La Réunion feraient donc partie d'une population ouverte (communiquant avec les autres populations de requins de la même espèce). Il est néanmoins impossible avec une seule valeur d'estimer le taux de migration de cette espèce. Ce taux peut être très faible si la capture effectuée à Madagascar est un événement très exceptionnel. Il peut être, au contraire très élevé si la probabilité de recapter un requin tigre marqué sur 40 requins est

extrêmement faible. En première analyse, nous pensons que si cet événement a été observé c'est qu'il y a eu plusieurs centaines ou milliers de cas semblables de migration. Néanmoins, ces informations devront être précisées notamment grâce au déploiement de nouvelles stations dans le cadre du programme international OTN (<http://oceantrackingnetwork.org>) Il sera néanmoins nécessaire de déployer d'autres moyens et de développer d'autres programmes de Recherche à l'échelle régionale pour se pencher plus précisément sur la structure de la population et les taux d'échange entre les différentes zones où cette espèce a été observée (Afrique du Sud, Mozambique, Madagascar, Seychelles, etc.).

II.2. Le requin bouledogue (*Carcharhinus leucas*)

II.2.1. Analyse globale du nombre de détections et des temps de présence

Concernant le comportement du requin bouledogue, le taux global moyen de détection, qui est le nombre de jours au cours desquels au moins un requin a été détecté au moins une fois dans le réseau, sur le nombre total de jour d'observation, est de $33\% \pm 9\%$. Cela signifie que, en moyenne, si les requins bouledogues étaient distribués de façon homogène dans le temps et dans l'espace, au moins un requin marqué serait détecté dans le réseau tous les 3 jours. De plus, le jour où ces requins seraient détectés, leur nombre serait en moyenne de 5 ± 1 (écart-type) avec un maximum = 15 et un minimum de 1. Ils seraient détectés par une des stations une fois toutes les 81 minutes (nombre moyen de détections par requin = 32 détections/jour ± 10 (écart-type), à raison d'une détection par minute, minimum = 1 et maximum = 100).

Pour résumer, ces valeurs indiquent qu'en moyenne, 5 requins différents pourraient être détectés une fois tous les 3 jours et un requin pris au hasard parmi les cinq visiterait, ce jour, une des stations toutes les heures environ. L'analyse détaillée des temps de présence et des visites, sur toutes les stations pendant les 21 mois d'observation montre que ces valeurs moyennes sont peu représentatives du comportement réel des requins dans leur milieu. Ces valeurs cachent en effet de fortes variabilités tant entre individus que dans l'espace et au cours du temps.

II.2.2. Analyse de la variabilité spatiale et temporelle des temps de présence des requins bouledogue

A. Temps moyens d'absence et de présence

Les temps d'absence et de présence des requins bouledogue sont très variables d'un individu à un autre. En moyenne, les temps d'absence sont de 12 ± 2 heures et ils peuvent atteindre plusieurs mois (maximum enregistré de 7 mois). La durée moyenne d'une visite est de 30 minutes (28.8 ± 1.1 min) avec un maximum de 46 heures.

Globalement le temps de présence des requins bouledogue dans le réseau est faible. La durée moyenne de présence d'un requin bouledogue, sur toute la période (21 mois) et sur l'ensemble du réseau est de 157 ± 96 heures. Cette durée de présence rapportée à la durée d'observation pour chaque requin représente un taux moyen de présence sur l'ensemble des stations d'environ 2% (minimum = 0%; maximum = 19%). Sachant que le taux de couverture

des stations d'écoute est approximativement de 10% de l'aire côtière étudiée, ce taux signifie que la présence des requins est cinq fois moindre que ce qu'elle devrait être par rapport à la surface échantillonnée. Pour expliquer cette différence, deux hypothèses sont plausibles et non exclusives : (1) nos stations ne couvrent pas correctement la zone d'étude, ce qui a été certainement le cas au début de l'expérience lorsqu'il n'y avait que quelques stations dans l'eau au Nord de la zone, et/ou (2) les requins ne sont pas répartis de façon homogène dans le réseau. Nous verrons dans le chapitre suivant que c'est effectivement le cas.

B. Analyse de la variabilité spatiale et temporelle des temps de présence

Les temps de présence des requins bouledogue sont très variables d'un site à un autre. Les sites côtiers du large (entre 1 et 2 kilomètres de la côte) sont davantage occupés que ceux près du littoral (moins de 500 mètres de la côte) et le sont surtout, le jour, entre 6h et 17h (figure 6). L'analyse des temps de présence sur la zone d'étude montre que les requins de cette espèce occupent essentiellement trois zones principales au cours des 21 mois d'observation (figure 7) : la zone côtière au large du port de Saint-Gilles, la zone de la baie de Saint-Paul, décelée uniquement à partir de novembre 2012 et la zone proche du littoral de l'étang du Gol. La station de l'Etang du Gol est essentiellement occupée par une femelle sub-adulte qui passe la majeure partie de son temps dans cette zone et essentiellement la nuit.

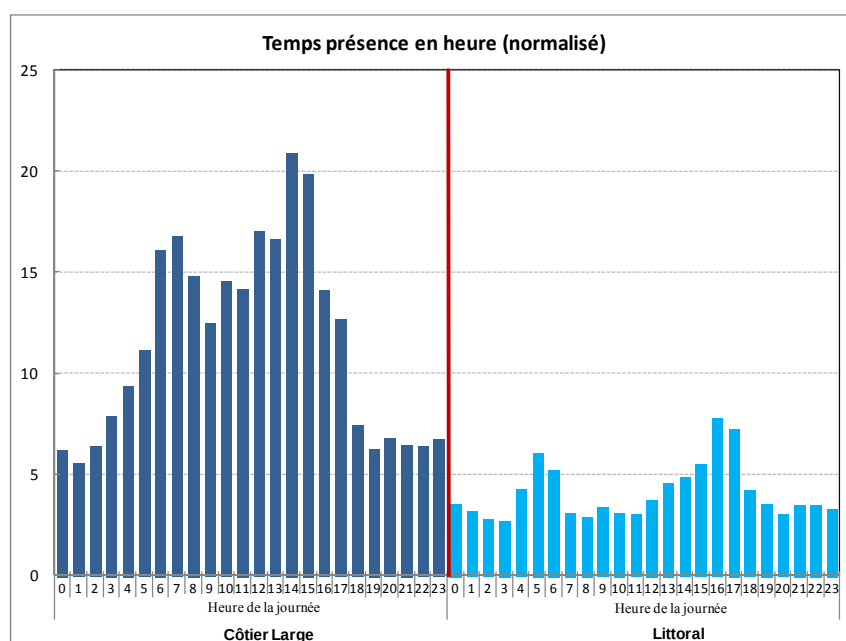


Figure 6. Somme des temps de présence estimés en fonction des heures de la journée pour l'ensemble des stations côtières à plus de 1 km de la côte et des stations du littoral (sauf Etang du Gol) à moins de 500 mètres de la côte, au cours des 21 mois d'observation. Les valeurs sont pondérées par le nombre de stations d'écoute dans le réseau par mois et pour chaque classe (côtier-large et littoral).

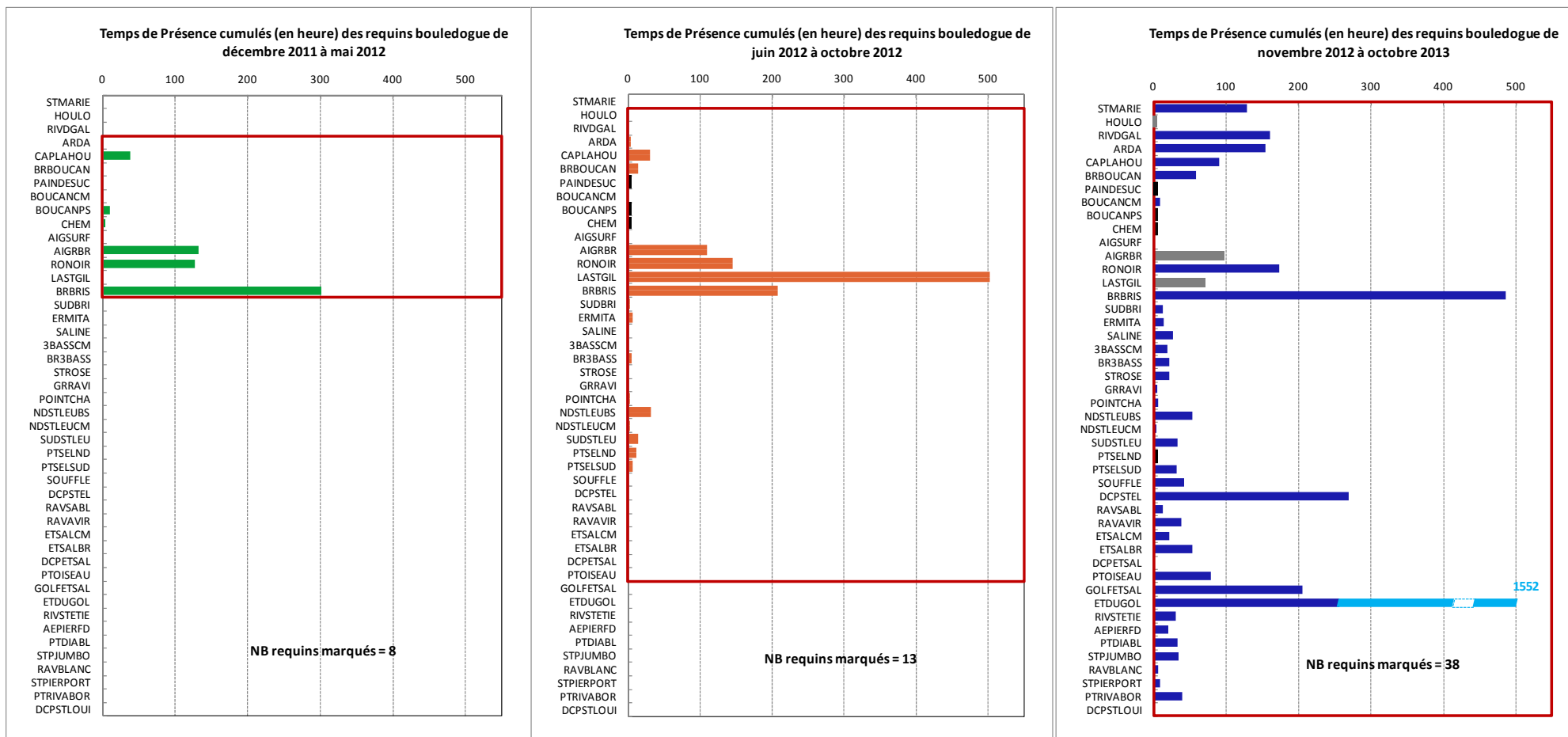


Figure 7. Somme des temps de présence cumulés enregistrés pour chaque station pour tous les requins bouledogue détectés, au cours de trois périodes distinctes selon la stabilité du réseau (nombre de stations) : pendant les six premiers mois (graphe de gauche), entre juin et octobre 2012 (graphe du centre) et entre novembre 2012 et octobre 2013 (graphe de droite). Le nombre total de requins marqués est indiqué pour chaque période. Le cadre rouge indique l'étendu du réseau de stations d'écoute au cours de chaque période. Les barres noires ou grisées indiquent les stations absentes ou perdues. La barre et le nombre en bleu clair indiqués sur le graphe de droite indique le temps de présence de la femelle sub-adulte qui a passé la majeure partie de son temps dans cette zone. Concernant cette dernière période d'observation, l'ensemble de la zone d'étude est couverte par le réseau de stations et le marquage des requins achevé (nombre de requins maximal et quasi stable). Les graphes montrent la persistance de la zone préférentielle autour du port de Saint-Gilles au cours des 21 mois d'observations. Les deux autres zones de forte présence apparaissent fin 2012 et correspondent à la zone de l'étang du Gol et à la baie de Saint-Paul.

Les principaux sites de présence de requins bouledogue sur les stations littorales (- de 500 mètres de la côte) sont par ordre décroissant : Etang du Gol, Roches-Noires, Golf Etang Salé, Sainte-Marie et Rivière des Galets. Sur l'ensemble des stations littorales (22 stations sur les 44 actuellement déployées) et sur les 34 requins bouledogue détectés dans l'ensemble de ce réseau : 8 requins sont souvent présents (plus de 100 heures sur le réseau littoral et sur toute la période des 21 mois), 11 requins sont détectés relativement souvent (plus de 10 heures et moins de 100 h, sur le réseau littoral et sur toute la période des 21 mois), 10 peu souvent (moins de 5 heures) et 5 ne sont jamais observés. Sur les 19 requins bouledogue significativement présents sur les sites littoraux (plus de 10 heures), 14 sont essentiellement présents soit la nuit ou l'après-midi et 10 d'entre eux présentent des pics de présence à l'aube (entre 5 et 7 h) et au crépuscule (entre 17h et 19h). Quatre requins font exception et sont présents essentiellement le matin entre 7h et 11h (figure 8).

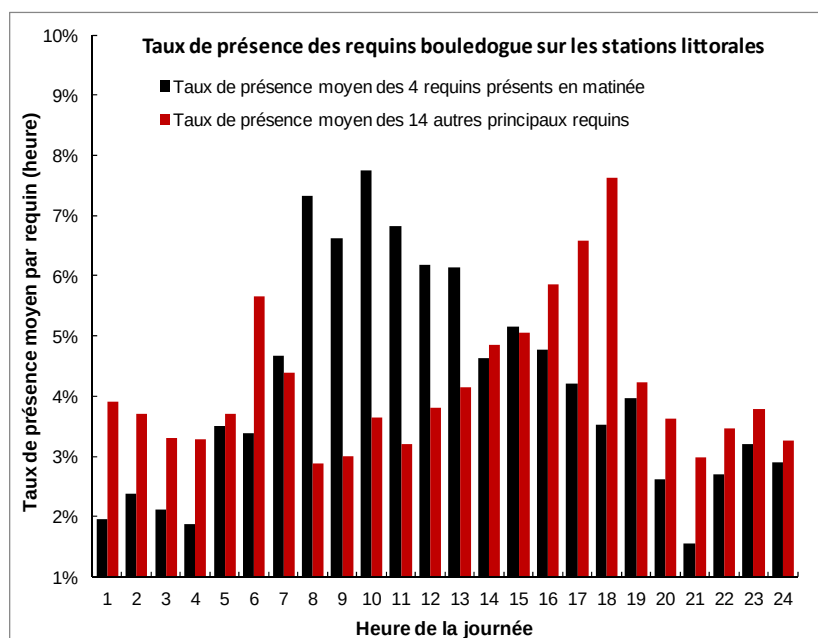


Figure 8. Variabilité individuelle des taux de présence moyen en fonction de l'heure de la journée des principaux requins bouledogue (sauf le requin femelle de la station de l'étang du Gol) visitant les stations littorales. Le graphe distingue les requins présents davantage le matin entre 8h et 12h (barre noire) des autres requins (barre rouge).

L'analyse du mode d'occupation spatiale dans l'ensemble du réseau de stations d'écoute permet de distinguer 3 catégories (figure 9) : les individus dit « nomades » qui ont des déplacements importants sur l'ensemble du réseau. Ils sont détectés sur tous le réseau du Nord au Sud y compris sur les sites de Sainte-Marie et de Sainte-Rose. Les quatre zones principales d'occupation de ces requins nomades sont la sortie du port de Sainte-Marie, l'étang Saint-Paul, les zones littorale et large côtière de Saint-Gilles et l'étang du Gol. Ils représentent 55% du nombre d'individus marqués.

Les individus qui ont des déplacements plus restreints, sont inféodés à deux zones celle au Nord autour des sites du large Saint-Gilles et au Sud autour du site de l'étang du Gol. Ils représentent 24% du nombre d'individus marqués. A l'exception de deux requins qui ont des temps de présence relativement élevés, dont un sur un DCP, ces requins sont peu détectés et peu présents sur la zone. Enfin, les individus jamais détectés ou très rarement qui représentent 21% du nombre d'individus marqués.

Ce résultat permet de distinguer deux groupes de requins utilisant différemment leur habitat, les nomades et les « fixés », sans que l'on puisse définir une catégorie de requins territoriaux. Il est à noter que les individus nomades le sont tout au long de la période d'observation ce qui correspondrait à un comportement établi chez ces individus. Il est également à noter que parmi les 10 individus qui se fixent le plus longtemps sur des sites spécifiques, la majorité (7) sont des requins qui explorent toute la zone d'étude. Ce sont donc les individus nomades qui sont, paradoxalement, ceux qui se fixent le plus longtemps sur des sites privilégiés. Mais, nous verrons dans le chapitre suivant que cette sédentarisation n'est qu'apparente. Elle ne dure pas.

Ce résultat montre également que notre échantillonnage prend relativement bien en compte la variabilité individuelle et laisse supposer que les comportements des requins marqués sont représentatifs des comportements de cette espèce à La Réunion.

C. Analyse de la variabilité annuelle et saisonnière des comportements

L'analyse de la variabilité annuelle des temps de présence montre qu'une grande partie des requins bouledogue disparaît de la zone de détection pendant l'été et réapparaît en hiver (figure 10 et 11). Cette saisonnalité est un résultat essentiel. Si ce résultat est confirmé par les observations de l'été 2013-2014 qui n'ont pas encore été recueillies, cela sera un point important pour orienter les modes de prévention et de gestion du risque à venir. En comparant les temps de présence de l'ensemble des requins sur l'ensemble de stations avec les temps de présence des 10 requins qui ont les plus forts temps de présence (« sédentaires » ou nomades) sur seulement 11 stations, ces 10 requins sont, comme les autres requins, présents davantage en hiver qu'en été mais avec globalement un effet plus prononcé de cette présence en 2012 qu'en 2013. Ils sont davantage présents l'été que les autres requins. Ils représentent une part prépondérante des temps de présence en mars et septembre 2012 ainsi qu'en avril, mai et août 2013 (figure 12).

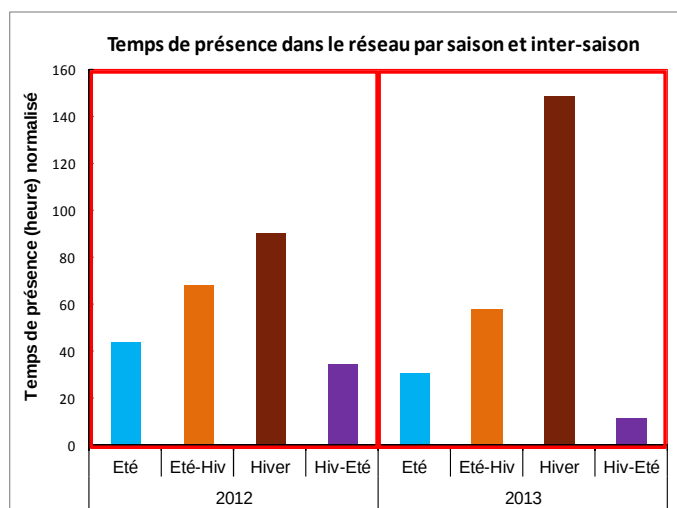


Figure 10. Temps de présence des requins bouledogue, cumulés sur la période de 21 mois d'observation par année et en fonction de la période de l'année : été : de novembre à février, hiver: de mai à août, transition été-hiver : mars et avril, transition hiver-été : septembre et octobre).

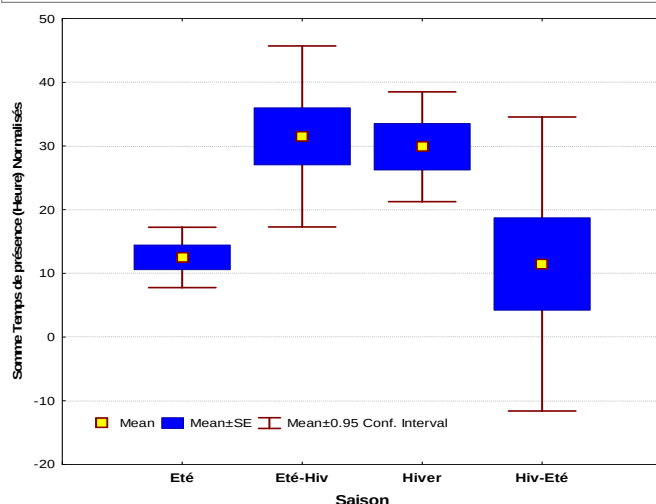


Figure 11. Temps moyens de présence (avec intervalles de confiance) des requins bouledogue, cumulés sur la période de 21 mois d'observation et selon la période de l'année.

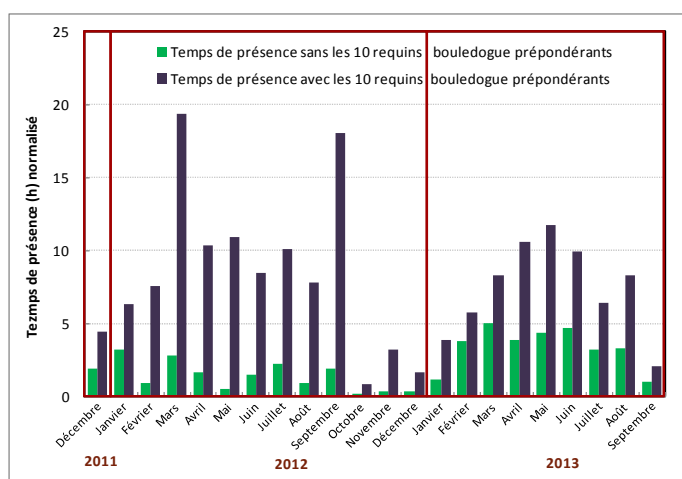


Figure 12. Temps de présence cumulée par mois des requins bouledogue, avec (histogramme noir) ou sans (histogramme vert) les 10 requins prépondérants dans le réseau. Les valeurs sont pondérées par le nombre de stations d'écoute dans le réseau par mois.

Les sites sur lesquels la présence des requins bouledogue pendant l'hiver ou aux intersaisons est la plus marquée sont, au large-côtier, ceux des Brisants, de Large Saint-Gilles et des cages d'aquaculture de la baie de Saint-Paul et ceux de Pointe des oiseaux, Roches-Noires et Golf Etang Salé pour les sites littoraux (figure 13 et 14).

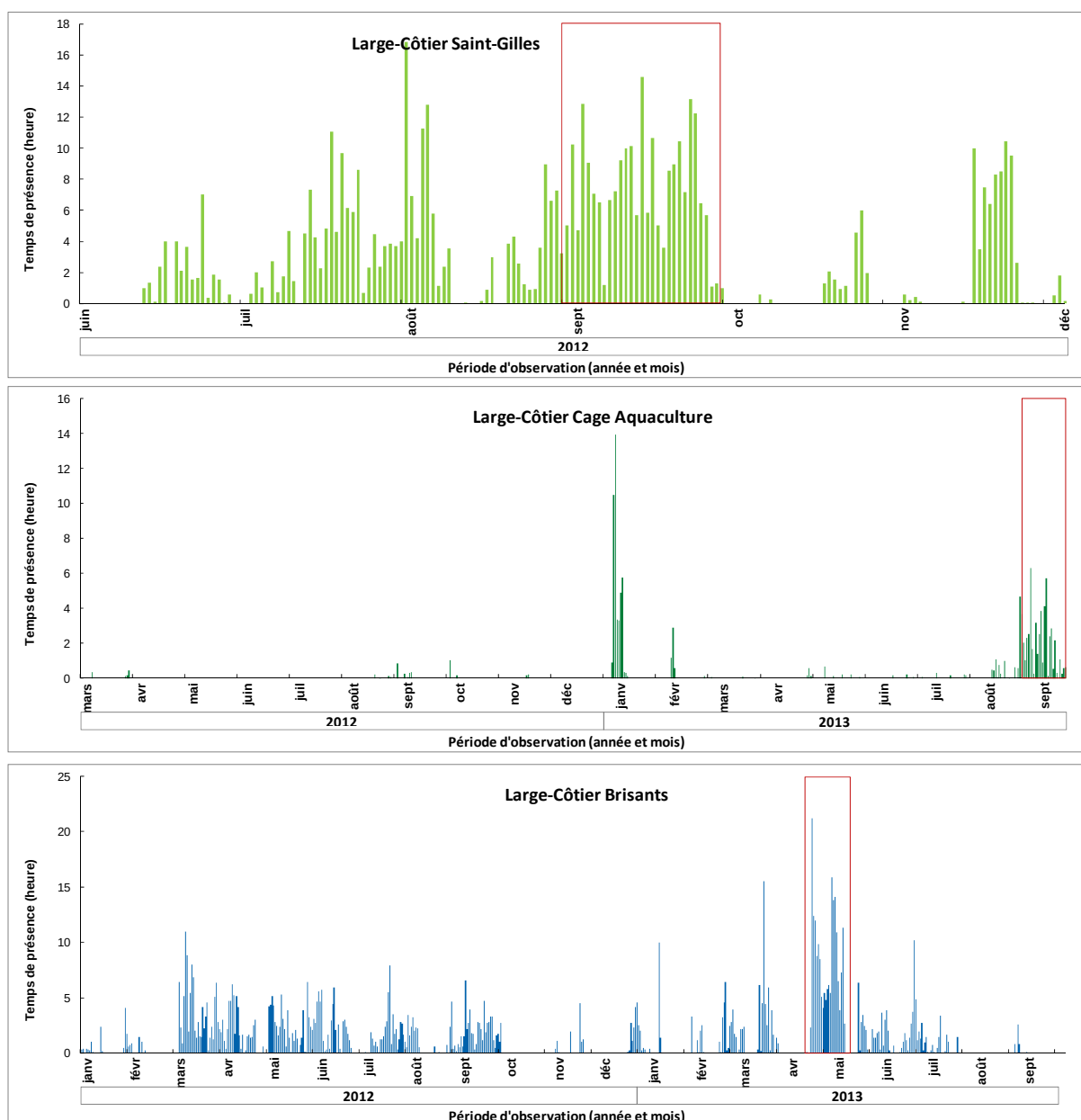


Figure 13. Graphes des temps de présence cumulés sur les trois sites large-côtières sur lesquels la présence hivernale ou aux intersaisons est la plus marquée pour les 9 principaux requins bouledogue qui occupent ces sites. Le requin femelle sub-adulte qui s'est maintenu presque en permanence sur le site de l'Etang du Gol n'a pas été pris en compte.

En quelque sorte la présence de ces requins sur les sites qu'ils occupent préférentiellement est épisodique. Leur présence est marquée notamment au cours des périodes de transition été-hiver et hiver-été. Elle est ainsi peut-être liée aux changements rapides des conditions océanographiques générales qui caractérisent ces périodes. Les paramètres hydrologiques et météorologiques rendant compte de ces variations (température, salinité, turbidité, houle, courant et pluviométrie) ont été enregistrés ou collectés dans le cadre du programme CHARC et sont en cours de traitement et d'analyse. Cette saisonnalité pourrait également être liée au cycle de vie de cette espèce et en particulier au cycle de reproduction.

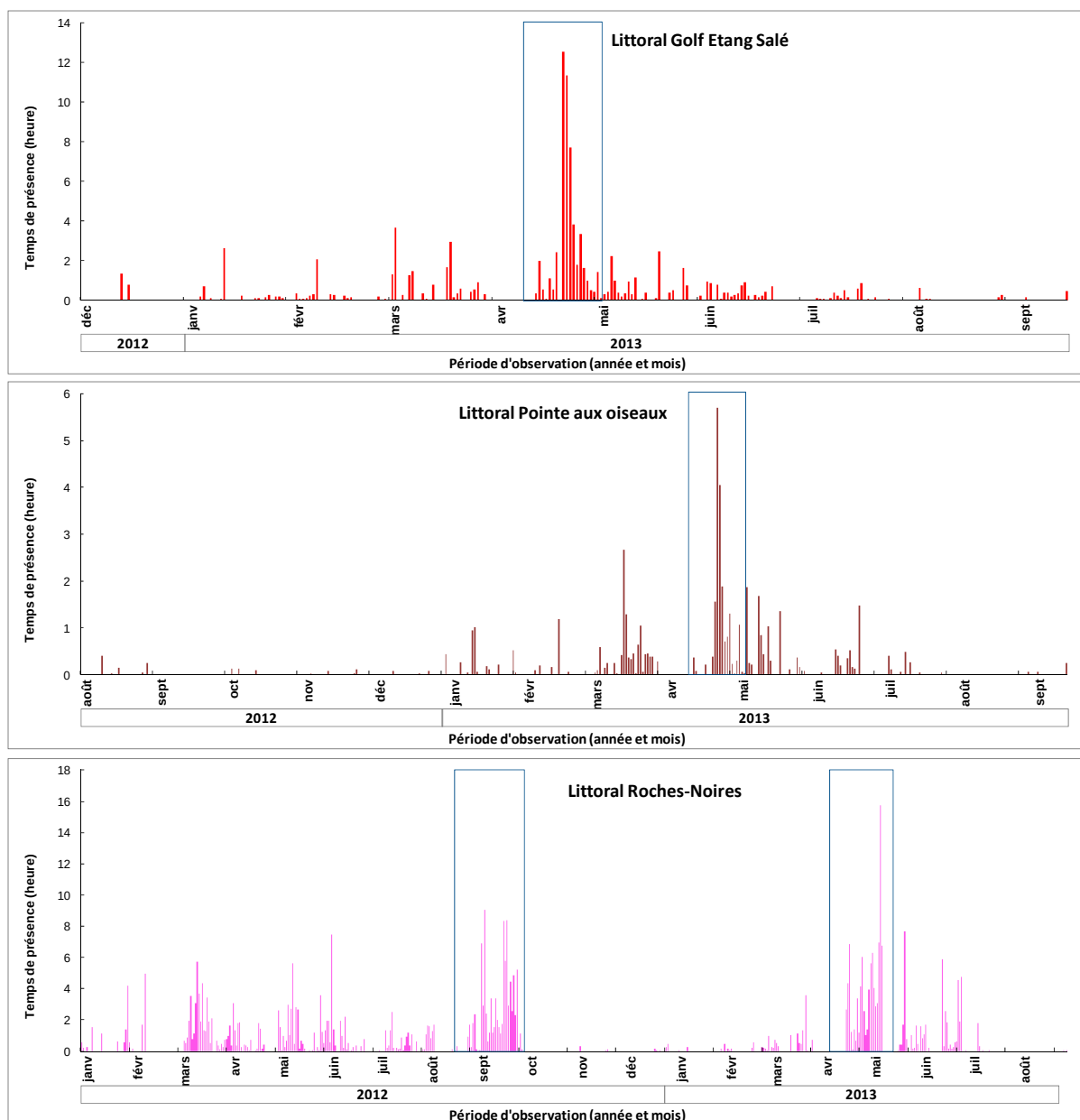


Figure 14. Graphes des temps de présence cumulés sur les trois sites littoraux sur lesquels la présence hivernale ou aux intersaisons est la plus marquée pour les 9 principaux requins bouledogue qui occupent ces sites. Le requin femelle sub-adulte qui s'est maintenu presque en permanence sur le site de l'Etang du Gol n'a pas été pris en compte.

D. Analyse des déplacements à moyenne et grande échelles

D. 1. Déplacements sur l'ensemble de la zone côtière de l'île de la Réunion

Concernant les déplacements des requins bouledogue à plus large échelle, nos résultats indiquent que les requins bouledogue sont capables d'occuper l'ensemble de la zone côtière de l'île de la Réunion et pour certains d'en faire tout le tour. Les sites de Sainte-Marie et de Sainte-Rose sur lesquelles des stations d'écoute ont été déployées respectivement en février et avril 2013 ont été rapidement « colonisés » (détections

enregistrées dès le lendemain du déploiement). Sur le site de Sainte-Marie, 218 visites de 11 requins bouledogue différents (9 femelles et 2 mâles) ont été observés en 7 mois. Ce nombre de visite représente 129 heures de présence pour un taux d'occupation de 2.6% ce qui place cette station dans les 10 stations les plus souvent visités. Sur le site de Sainte-Rose, 153 visites de 15 requins bouledogue différents (10 Femelles et 5 mâles) ont été observés en 5 mois. Ce nombre de visite représente 22 heures de présence pour un taux d'occupation de 0.6%.

Les échanges entre ces sites et la zone principale d'étude au sud-ouest se font préférentiellement avec les zones du Sud les plus proches : 60% des requins qui partent de Sainte-Marie sont détectés dans la baie de Saint-Paul et inversement 60% des requins qui arrivent sur le site de Sainte-Marie proviennent de cette même baie. De même, plus de 70% des requins détectés à Sainte-Rose partent ou proviennent des sites de Saint-Pierre et Etang-Salé au Sud. Six requins bouledogue (5 femelles et 1 mâle) fréquentent les deux sites. Ils ont été capables de faire la jonction entre les deux sites mais ont également fait le tour de l'île et pour certains à plusieurs reprises.

Le requin bouledogue est donc une espèce qui occupe toute la zone côtière de La Réunion. A partir de nos observations, il y aurait au moins 4 sites préférentiels à partir desquels les requins bouledogue pourraient se disperser et explorer l'ensemble de l'île : le site près du port de Sainte-Marie, la baie de Saint-Paul, la zone large Saint-Gilles et l'Etang du Gol (cf carte figure 15). Mais nous verrons dans le chapitre suivant que cette espèce ne côtoie pas uniquement la frange côtière.



Figure 15. Carte de l'île de La Réunion indiquant les principales aires d'occupation des requins bouledogue observés pendant 21 mois et les échanges entre ces aires.

D. 2. Déplacements à grande l'échelle par double marquage (marques Vemco et Wildlife Computer)

D.2.1. Méthodologie

Le double marquage consiste à fixer deux types différents de marque: - une marque acoustique Vemco placée en interne dans la cavité générale, qui permet de les suivre dans le réseau de stations d'écoute, - et une marque satellite externe (Wildlife Computer) fixée à la base arrière du premier aileron dorsal. Cette marque satellite permet de suivre les requins pendant plusieurs mois sur des longs déplacements (marque MiniPAT pour « Pop-up Archival Tag »). Cette marque possède trois capteurs ; un capteur de température, de pression (profondeur) et de lumière. C'est une marque archive : elle enregistre et stocke les informations issues des capteurs chaque minute. La donnée ainsi stockée n'est récupérée qu'à partir de la date programmée de fin de l'expérience (après 6 mois dans notre cas). En effet, à cette date, la marque se détache automatiquement, remonte en surface, flotte et transmet les informations stockées aux satellites Argos qui se déplacent au-dessus d'elle jusqu'à épuisement de la batterie (environ 10 jours). Ces données sont ensuite récupérées via le gestionnaire des données satellites (CLS) puis traitées. Le traitement consiste à extraire les données des capteurs et à estimer la trajectoire suivi par le requin à partir des données d'éclairement. La date et l'heure de plus fort éclaircissement à cette date permet d'estimer la longitude. Le rapport de la durée de jour et de nuit à une date donnée permet d'estimer la latitude. L'erreur sur ces mesures de positions est assez élevée, de l'ordre d'un degré (environ 110 km). Des corrections sont ensuite apportées en fonction des données de température permettant de réduire l'incertitude sur l'estimation de la position.

D.2.2. Résultats

A l'heure actuelle, 6 doubles marquages ont été effectués sur les 11 possibles (3 tigres et 3 bouledogues). Nous espérons compléter ce bilan par d'autres marquages de ce type au cours de l'année 2014. Les données des deux requins tigre ne sont pas exploitables car les marques se sont détachées prématurément. Le troisième a été marqué en octobre 2013 et les données ne seront transmises qu'en avril 2014. Concernant les requins bouledogue, deux MiniPATs sur les trois déployés ont pu transmettre une partie de l'histoire des deux requins associés pendant les 6 mois qui ont séparé le jour du marquage, du jour de libération de la marque (de mars à septembre 2013). Elles concernent deux requins bouledogue adulte, un mâle et une femelle de respectivement 2.9 mètres et 3.1 mètres de longueur totale. La troisième marque s'est libérée prématurément après seulement 5 jours, suite à une immobilité prolongée du requin, ce qui n'a pas permis d'obtenir de résultats probants. Le traitement des données est en cours et nous n'avons pour l'heure que les

données de trajectoire du requin bouledogue mâle. Ces résultats doivent être consolidés et sont donc à prendre avec précaution.

Concernant les données de profondeur enregistrées par les deux marques, les valeurs mesurées montrent que les deux requins ont effectués plusieurs migrations verticales au cours de la période d'observation (figure 16). La tranche d'eau ainsi visitée est globalement comprise entre 0 et 150 mètres mais ces deux requins sont capables de visiter des eaux plus profondes (maxima autour de 250 mètres).

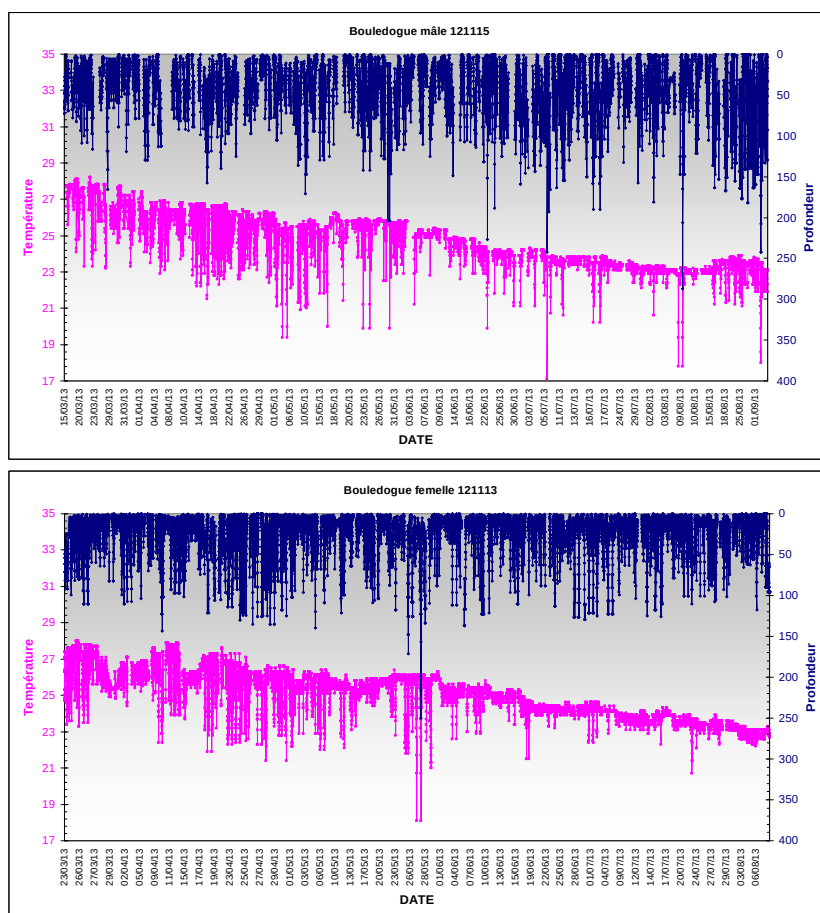


Figure 16. Profils des profondeurs enregistrées par la marque mini-PAT lors des déplacements des deux requins bouledogue marqués, respectivement du 15 mars au 6 septembre 2013 pour le requin mâle et du 2 mars au 9 août pour le requin femelle.

Ces résultats témoignent de la mobilité de ces requins et donc qu'ils étaient bien en vie au cours des périodes d'observation (du 15 mars au 6 septembre 2013 pour le requin mâle et du 2 mars au 9 août pour le requin femelle).

Concernant les mesures de trajectoire du requin bouledogue mâle, le traitement a été effectué par l'équipe de CLS. Il prend en compte les dates et positions où ce requin a été détecté dans le réseau de stations pendant la période d'observation ce qui a permis d'affiner l'estimation de la trajectoire. Les résultats indiquent que ce requin aurait quitté La Réunion peu après son marquage pour explorer une zone à environ 300 km au Sud

Sud-Ouest de La Réunion, non loin d'un haut-fond connu des pêcheurs hauturiers, puis serait revenu vers l'île dans une zone plus proche (à environ 100 km toujours au Sud Sud-Ouest de La Réunion) pour repartir plus au Nord à environ 300 kilomètres de l'île, non loin d'un autre haut-fond également connu des pêcheurs. Enfin il serait revenu sur les côtes de l'île en fin de période d'observation (figure 17). Cet individu semble donc capable d'effectuer de longs déplacements dans le milieu océanique et de séjourner loin des côtes. Ce résultat avait déjà été obtenu lors d'une expérience similaire à la nôtre sur les requins bouledogue des îles Fidji en 2004. Nos résultats confirment ces observations.

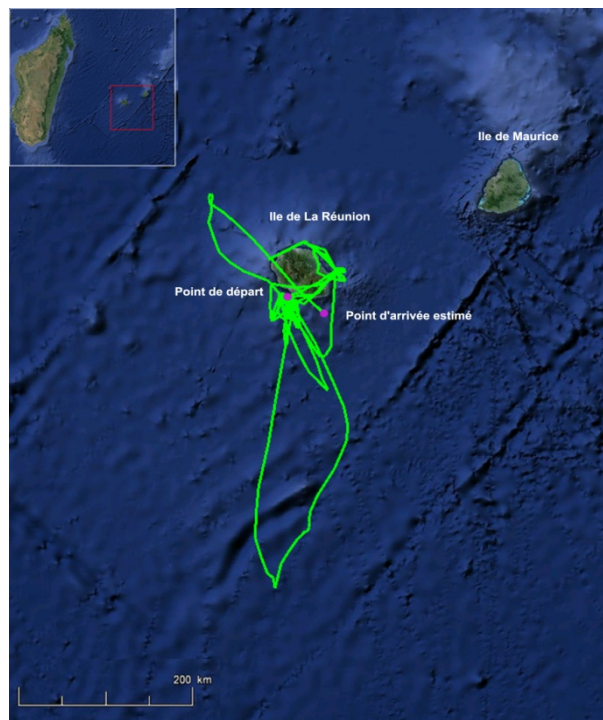


Figure 17. Trajectoire estimée du requin bouledogue mâle entre le 15 mars et le 6 septembre à partir des mesures d'éclairement obtenues par le capteur de la marque miniPAT fixée sur l'aile du requin. Les trajets sur terre sont évidemment impossibles et uniquement liés à l'imprécision de la mesure.

Ces résultats appellent plusieurs remarques. Tout d'abord, les mesures de profondeur sont fiables et celles des trajectoires valides car la marge d'erreur reste faible. Néanmoins, les distances sont indicatives car des erreurs sur les estimations sont encore possibles. Il est donc fort probable que le requin bouledogue ne soit pas un requin côtier strict inféodé uniquement aux zones littorales comme les scientifiques pouvaient le penser auparavant (Bullen and Mann, 2000; Brunnschweiler *et al.*, 2010). De plus, ces résultats confirment les observations précédentes indiquant la présence de requins bouledogue à plusieurs kilomètres des côtes (sur les DCPs). Cette espèce serait ainsi parfaitement capable de

visiter le milieu pélagique et de nager en pleine eau dans des zones très profondes. La profondeur des fonds marins ne serait pas une barrière à ses déplacements.

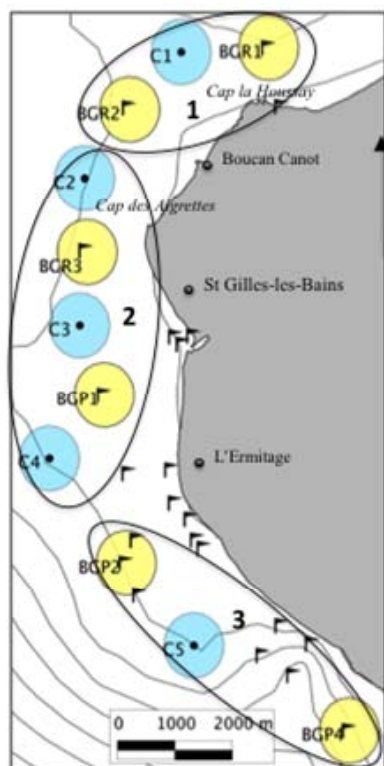
Le requin bouledogue serait ainsi capable de quitter l'île et d'y revenir. Les causes de ces migrations océaniques ne sont pas connues, pas plus que n'est connu le taux de migration de la population de requins bouledogue qui visite l'île de La Réunion. Ce taux peut être très faible si cet événement est l'élément rare que nous avons eu la chance d'observer. Néanmoins, si l'on considère que la probabilité de marquer le seul requin bouledogue capable de se déplacer hors de l'île est extrêmement faible, ce taux devrait être relativement élevé.

III. Analyse de deux facteurs plausibles favorisant la présence accrue de requin à la côte

Concernant l'hypothèse selon laquelle la réserve naturelle favoriserait la présence de requin.

L'analyse du dénombrement des poissons entre 2007, année de la mise en place de la Réserve naturelle marine de la Réunion (RNMR) et l'année 2013 montre que la biomasse en poisson en 2013, sur les pentes externes de l'ensemble de la réserve n'est pas statistiquement différente de celle estimée en 2007 (640 kg/hectare en 2007 et 450 kg/hectare en 2013). Un enrichissement significatif en poisson (410 kg/hectare en 2007 et 730 kg/hectare en 2013) est néanmoins constaté mais uniquement sur les pentes externes des zones de sanctuaire, zones qui ne représentent que 5% de l'aire protégée. A priori, l'effet réserve est donc très limité et son effet (s'il existe), sur la présence des requins, n'est pas probant.

Par contre, nous avons mené une expérience en début d'année 2013 pour tenter d'estimer



l'effet des bouées de la Réserve au large du port de Saint-Gilles. (Verlinden, 2013). Le but de cette étude était de déterminer si les bouées de délimitation de la Réserve avaient un effet agrégatif sur les poissons, et influenceraient ainsi le comportement des requins bouledogue et tigre. Six bouées situées entre le Cap la Houssaye et Trois Bassins ont été prospectées et comparées à 5 zones de contrôle entre janvier et avril 2013. À l'aide d'un sondeur scientifique, la densité de poissons et le nombre de bancs ont été déterminés.

Figure 18. . Carte de la zone d'étude sur la côte ouest de la Réunion. Les cercles représentent le rayon de 500m prospecté autour des sites : en jaune les bouées de la Réserve et en bleu les zones de contrôle.

La présence de requins marqués a été mesurée à l'aide d'une station d'écoute portative. Le bruit aux bouées a été enregistré et comparé au bruit du milieu ambiant afin de déterminer si les bouées émettaient un bruit audible pour les poissons/ requins, susceptibles de les attirer.

Les résultats montrent que les densités acoustiques de poissons démersaux (poissons de fond) étaient similaires autour des bouées que dans les zones de contrôle. Les densités acoustiques des poissons pélagiques étaient significativement plus élevées autour des bouées uniquement dans la zone centrale (bouées C2 et C3 des Aigrettes et des Brisants) globalement plus pauvre en poisson que la zone plus au Nord (Cap la Houssaye) et au Sud (Ermitage, Trois bassins). Cependant, nous n'avons pas observé de relation entre la densité acoustique de poissons et la distance par rapport à la bouée. Ces résultats suggèrent que certaines bouées peuvent avoir un effet attractif sur les poissons, mais que ces bouées ne les agrègent pas durablement.

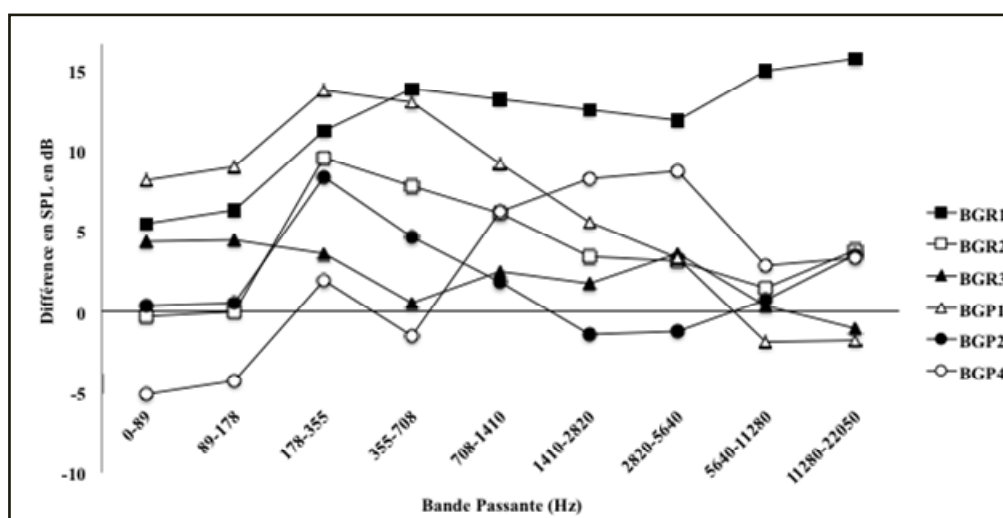


Figure 19. Différences en niveau de pression acoustique (SPL) entre les enregistrements effectués à chaque bouée (cf. codes des bouées de la figure 18) et à 500m de celle-ci, pour chaque bande sonore (bandes passantes entre 0 et 22kHz).

Le niveau de pression sonore (noté SPL dans la figure 19) était plus élevé au niveau des bouées que dans le milieu ambiant mais cette augmentation est faible (seulement 6.79 dB re 1μPa en moyenne). D'après les données de la littérature, ce niveau de pression sonore serait insuffisant pour être perçu par les requins, à longue distance (seuil minimum = 45 dB re 1μPa). Seuls six requins furent détectés au cours des 32 observations. Ces détéctions ont été enregistrées autour de trois bouées (deux fois deux requins à la bouée des Brisants (BGP1), un à la bouée de Trois bassins (BGP4) et un à celle de l'Ermitage (BGP2). Pour 80% des détéctions, les requins ne se trouvaient pas dans les zones à plus forte densité de poissons.

Il est ainsi possible que certaines bouées puissent attirer les requins mais uniquement à très courtes distances (moins de 25 mètres). De plus, ni le bruit ni la densité de poissons fourrage s'y trouvant ne semblent les y attirer. Les résultats actuels ne permettent donc pas de valider

l'hypothèse d'un effet des bouées de délimitation de la Réserve sur la présence de requins mais, cette étude doit être étendue pour que ces premiers résultats puissent être confirmés.

Concernant l'hypothèse selon laquelle l'élevage marin dans la baie de Saint-Paul favoriserait la présence de requins à la côte.

Nos résultats sur les requins marqués (cf. figure 13) montrent que les requins sont quasiment absents sous les cages d'aquaculture de la baie de Saint-Paul sauf au cours de deux périodes en janvier 2012 après le passage d'un cyclone et en septembre 2013. Néanmoins, les observations vidéo sous-marines effectuées par notre équipe au cours du mois de mars 2012 (Loiseau et Chabanet, 2012) indiquent la présence de requins (5 à 6 différents au total), dans la journée, le plus souvent seul et parfois en groupe (quatre maximum). Sur toute la durée de l'expérimentation, les individus ont été vus régulièrement mais avec des périodes d'absence de plusieurs jours. En nombre de jours d'observation, cela représente environ 50% du temps pendant lequel au moins un requin a été observé. Les premières conclusions de ce travail indiquent que les cages aquacoles seraient davantage une zone de passage pour les requins bouledogue qu'une zone de prédation ou de repos. Cependant, deux points importants sont à noter : premièrement, la cessation de l'activité aquacole en début d'année (janvier 2013) et l'abandon définitif de l'élevage mi avril (suppression de tous les poissons dans les cages le 16 avril) n'ont malheureusement pas diminué le nombre d'attaques dans la zone. Deuxièmement, la figure 20 indique que les temps de présence moyens de l'ensemble des requins dans la baie et la fréquentation mensuelle (taux de visites mensuels = nombre de visites dans la baie sur le nombre total de visites enregistrées par toutes les stations) sont prépondérants au mois de mars en 2012 (au moment des observations vidéo) mais davantage en 2013 et notamment aux mois de janvier et août (après la cessation d'activité).

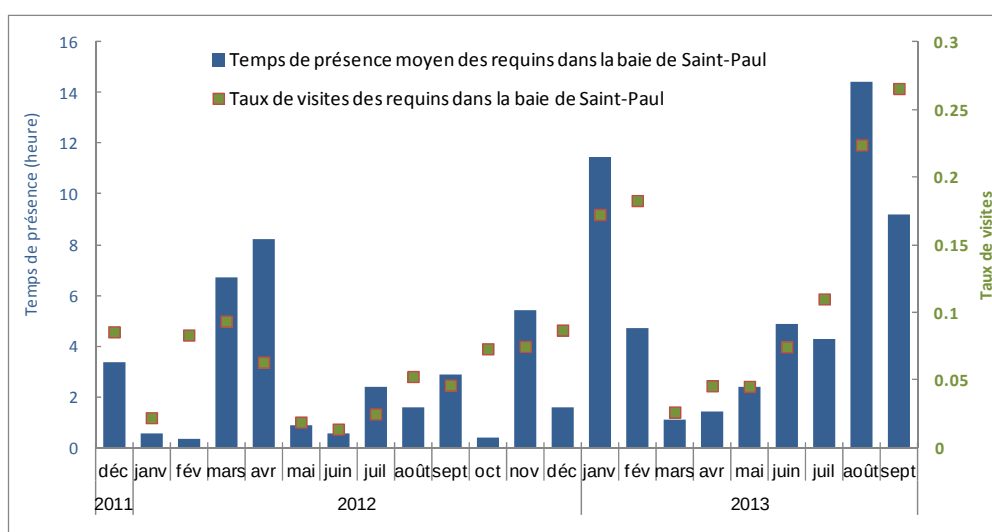


Figure 20. Temps de présence moyen par mois et taux de visites mensuels des requins tigre et bouledogue marqués au cours de la période d'observation dans la baie de Saint-Paul, estimés à partir de 4 stations d'écoute.

En conclusion, la présence des requins bouledogue dans la baie de Saint-Paul est irrégulière et ne semble pas dépendre de la présence des cages. L'hypothèse selon laquelle l'élevage marin dans la baie de Saint-Paul favoriserait la présence de requins à la côte n'est donc pas confirmée.

Reste l'effet lié à la seule présence des cages qui peuvent avoir un effet DCP et attirées du poisson fourrage (petits poissons). Cette hypothèse n'a pas été validée par l'étude que nous avons menée pendant 5 ans, entre 2003 et 2008, dans la baie de Saint-Paul et qui a montré que les cages aquacoles agrégeaient beaucoup moins les petits poissons pélagiques (pêche-cavale et bancloche) que les nombreux dispositifs de concentration de poissons (DCP-Récifs artificiels) déployés par les pêcheurs artisanaux de la baie à cet effet dans l'ensemble de la baie (Potin, 2009). Cette question sera analysée en détail en fin d'année en comparant les données de marquage obtenues avant et après la cessation totale d'activité.

IV. Discussion

Les résultats rapportés dans cette étude confirment que les requins tigre occupent une zone côtière plus au large que les requins bouledogue et sont capables de migrations océaniques comme cela a déjà été noté dans d'autres océans (Meyer *et al.*, 2009). Leurs détections autour des DCPs ancrés à La Réunion et sur les sites au Nord de l'île confirment respectivement leur présence plus au large et leur capacité à explorer l'ensemble de la zone côtière de l'île. Néanmoins, leur zone de répartition et leur mode d'occupation sont encore mal connus.

L'étude du déplacement des requins tigre au large des côtes réunionnaises n'a pas eu le succès escompté. Un seul requin tigre a pu être suivi à la trace pendant une quinzaine d'heure. Ce requin marqué près du sec de Saint-Paul s'est maintenu sur le tombant de ce plateau en explorant essentiellement les profondeurs comprises entre 70 et 120 mètres au cours de la nuit. Ce résultat indique que ce requin est inféodé à cette zone où, selon plusieurs avis concordants, il trouverait sa nourriture. Mais cela reste un résultat partiel, difficile à extrapoler. Pour préciser et expliquer cette répartition et ces déplacements, des analyses complémentaires doivent encore être menées. Les relations entre les deux espèces sera également étudiée plus précisément afin notamment de rechercher si les individus de chaque espèce s'excluent mutuellement.

Il sera également nécessaire d'étayer les connaissances acquises concernant les préférences de cette espèce en fonction de ses limites physiologiques et de sa plasticité comportementale. Cela concerne tout autant les facteurs liés aux conditions environnementales (température, salinité, turbidité, profondeur,...) que ceux biotiques (répartition des proies préférentielles) ou biologiques afférents aux traits de vie de cette espèce (conditions favorables aux besoins élémentaires de l'espèce pour croître et se reproduire, Simpfendorfer *et al.*, 2001). Il est également important d'approfondir les résultats

obtenus sur la capacité de migration du requin tigre et les causes de ces migrations. Le requin tigre pêché à Madagascar l'a été dans une zone d'estuaire assez importante, zone de nurserie connue pour cette espèce. Est-il parti mettre bas dans cette zone ou trouver des conditions d'alimentation favorables ? Cette question reste en suspens. D'autres marques archives devront être déployées pour étudier plus précisément ce caractère migratoire et les données OTN permettront d'en savoir également davantage. Les causes de ces migrations et leur importance dans le turn-over des populations locales à La Réunion et sur les autres zones où sa présence a été notée (Madagascar, Afrique du Sud et Seychelles notamment), devront être étudiées plus précisément pour comprendre les variations spatiales et temporelles observées.

Une partie de ces analyses pourront être conduites à partir des données recueillies dans le cadre du programme CHARC, mais des programmes scientifiques régionaux en collaboration avec les scientifiques des autres pays de la région devront être menés. L'IRD devrait répondre cette année à plusieurs appels d'offre pour permettre ce développement.

Concernant le requin bouledogue, leur présence sur les côtes réunionnaises appelle plusieurs commentaires.

Les résultats issus des données de marquage, intégrant l'ensemble des données sur 2012 et 2013, montrent que les requins bouledogue ne sont pas présents de façon permanente sur la zone d'étude ni sur un site en particulier. Ils peuvent, pour certains, explorer les 80 kilomètres de côtes où le réseau de stations d'écoute est déployé et explorer toute l'île. Leur présence très près de la côte est généralement éphémère, sporadique et le plus souvent nocturne. Cette frange très côtière serait davantage une zone d'exploration et de chasse la nuit, à l'aube et au crépuscule. Ils sont davantage présents en hiver sur toute la zone d'étude (du Port à Saint-Pierre), et présents sur quelques sites du littoral essentiellement au cours des périodes de transition (hiver-été ou été-hiver). Les temps de présence plus longs au large sur certaines stations et pendant le jour pourraient indiquer l'existence de zones de repos dans cette partie de la côte. Par contre l'absence presque exclusive de certains requins bouledogue pendant l'été et leur retour en début d'hiver, désignerait davantage ces sites préférentiels comme des sites liés à l'activité de reproduction.

Ces tendances sont celles déjà relevées lors de l'analyse effectuée sur les données de l'année 2012 ce qui permet de les confirmer. Les observations complémentaires qui seront obtenues au cours de l'été 2013-2014 permettront de mieux intégrer la variabilité interannuelle et, nous l'espérons, de certifier cette occupation saisonnière.

Les requins marqués ont des comportements différents d'un individu à un autre. Cette variabilité individuelle était attendue. Elle rend l'analyse plus compliquée mais elle permet de supposer que ces requins marqués rendent compte du comportement de l'espèce. Nous ne

prétendons pas être exhaustifs. Nous ne cernons pas l'ensemble des comportements et des modes d'occupation de ces requins. Ainsi, une partie importante des comportements de reproduction ou de parturition (mise bas) ainsi que les conditions ou les zones favorables à ces comportements n'ont pas pu être observées et sont encore inconnues et peu décrites dans la littérature. Mais nous pensons que les comportements observés à partir de notre échantillon de requins marqués sont représentatifs de l'espèce.

Les requins sont très difficiles à observer et donc à dénombrer parce qu'ils occupent le plus souvent des zones éloignées des côtes et qu'ils sont méfiants. Puisqu'il n'y a jamais eu d'estimation du nombre de ces requins, il est donc impossible de connaître la tendance actuelle de la population de requins (augmentation ou diminution). C'est vrai pour la population de requins bouledogue et d'autant plus vrai pour la population de requins tigre qui potentiellement occupe tout l'Océan Indien.

Le nombre de détections enregistrées et les temps de présence estimés sont relativement faibles. D'un point de vue méthodologique, l'analyse statistique de ces données est donc délicate et toute interprétation devra être soigneusement limitée. D'un point de vue biologique, cela indique que ces requins ont des capacités exploratoires très importantes. Ce constat est étayé par les autres résultats indiquant que les requins bouledogue ont un mode d'occupation hétérogène de leur habitat avec des zones et des périodes de plus fortes densités ou de plus fort temps de présence, une saisonnalité relativement bien marquée avec des périodes d'absence prolongée au cours desquelles il semble qu'ils puissent explorer les eaux océaniques bien au-delà des côtes réunionnaises. Il est encore trop tôt pour savoir si ces comportements sont naturels ou modifiés par les activités anthropiques, à l'échelle de La Réunion (dégradation du milieu côtier par les activités humaines) ou de la planète (réchauffement climatique), mais ils témoignent d'une parfaite capacité d'adaptation des ces animaux à leur milieu et aux fluctuations des conditions de ce milieu.

Nos résultats laissent supposer que les comportements d'exploration de ces animaux les conduiraient à occuper la frange du littoral où la probabilité de rencontre avec un baigneur ou un surfeur est plus élevée, et où le risque d'attaque serait plus élevé. Statistiquement, les mois de plus forte présence des requins bouledogue marqués ne correspondent pas aux mois où les attaques recensées depuis 1980 sont significativement plus nombreuses. Seul le taux global des attaques (morsures sur personne ou équipement), calculé, à partir des 34 dernières années, au cours des périodes d'hiver et de transition, de mars à octobre (qui sont aussi les périodes au cours desquelles nous avons notés un nombre de requins marqués et des temps de présence plus élevés), est significativement supérieur (de 17%) à celui théorique (taux si ces attaques été réparties de façon homogène au cours de l'année). L'hypothèse selon laquelle la présence d'un plus grand nombre de requins bouledogue induirait un plus fort risque d'attaque est donc globalement vraie mais pas généralisable. C'est-à-dire que le temps de

présence ou le nombre accru de requins au cours d'un mois particulier n'est pas systématiquement synonyme d'un plus fort risque d'accident. Cela sous entend que la seule présence des squales ne suffit pas à expliquer ces attaques. Leur comportement ou/et les conditions environnementales particulières joueraient également un rôle.

Les conditions environnementales favorables à la présence du requin bouledogue sont en partie connues: la forte turbidité, la présence d'eaux saumâtres et des eaux chargées en matières organiques. D'autres facteurs, tels que la température ou la quantité de proies par exemple, sont examinés dans le cadre du programme CHARC. Les données concernant ces facteurs ont été recueillies et leur analyse est en cours. Concernant le comportement des requins, deux hypothèses, qui peuvent coexister, peuvent expliquer les changements comportementaux et peut-être l'agressivité des requins à certaine période : une détresse alimentaire liée à un appauvrissement en proies qui peut engendrer des modifications de la répartition spatiale des espèces (Heithaus *et al.*, 2002) ou les conséquences des comportements liés à la reproduction. En effet, leur présence en hiver, pourrait être liée à cette période du cycle de vie. A La Réunion, le pic de présence saisonnier est inversé par rapport aux autres pays et dans ces pays les requins bouledogue partent pour se reproduire (Carlson *et al.*, 2010). Des plus des observations de juvéniles de requins sont observés dans les ports et à l'entrée des ravines. C'est pourquoi nous émettons l'hypothèse d'une ou plusieurs zones de reproduction proches des eaux côtières de La Réunion.

Comme pour le requin tigre, cette hypothèse pour être confirmée demandera d'autres résultats. Le programme CHARC pourra en apporter mais d'autres actions de Recherche seront nécessaires. Par exemple, les taux de reproduction des adultes et le taux de survie des juvéniles et nouveau nés des deux espèces de requins étudiées sont inconnus et difficiles à estimer (Blaison, 2012). Si le nombre de nouveaux nés par portée peut être élevé (20 observé à La Réunion), il est important de le modérer par le fait que la femelle bouledogue n'est mature qu'au bout de huit à dix ans, qu'elle ne se reproduit pas chaque année mais le plus souvent tous les deux ans et que le temps de gestation est relativement long de 10 à 11 mois (Branstetter and Stiles, 1987). Les nouveaux nés, les jeunes de l'année et les juvéniles ont le plus souvent des taux de survie élevés. En Australie, ils se maintiennent, pendant les 6 premières années de leur cycle de vie dans les vastes étendues d'eaux saumâtres des estuaires et des mangroves où ils trouvent nourriture et protection (Werry, 2010). Ces immenses étendues protectrices n'existant pas à La Réunion, le taux de survie des jeunes serait moins élevé que près des continents (Australie et Afrique du sud) mais encore une fois cela demande à être confirmée par des études ciblées sur cette question.

De plus, il ressort des échanges que nous avons pu avoir avec les différents chercheurs qui travaillent depuis de nombreuses années sur les requins, que supprimer les femelles adultes réduit le taux de renouvellement de la population, mais augmente également le taux de survie

des juvéniles. En effet, les adultes joueraient un rôle de régulateur sur le nombre de jeunes requins qui peuvent atteindre l'âge adulte (Heupel and Simpfendorfer, 2011). Cette régulation s'explique en grande partie par la prédation des grands individus sur les plus jeunes de la même espèce (Driggers *et al.*, 2008). Ainsi, la suppression d'individus adultes pourrait avoir l'effet contraire à celui recherché en empêchant l'autorégulation de l'accroissement de la population et pourrait avoir pour effet une augmentation de la taille de population à long terme. A l'heure actuelle personne n'est capable de donner un bilan de ces deux effets contraires, mais ils témoignent de la complexité des interactions dans un écosystème marin et des équilibres qui en découlent (Myers *et al.*, 2007).

V. Conclusion

Les résultats des opérations de pêche et de marquage sont satisfaisants à plusieurs points de vue : outre le fait que les techniques de pêche et de marquage sont efficaces, ils montrent également que la méthode de marquage acoustique est appropriée pour suivre le comportement de ces animaux. Certains résultats étaient attendus et notamment le faible nombre de détections de requin tigre et leur absence près de la côte. Ce résultat conforte l'hypothèse d'un habitat plus au large de cette espèce (tout au moins dans cette zone d'étude). Concernant, les requins bouledogue, il apparaît qu'ils ne font que des incursions sur le littoral, très près de la côte, et passent la majeure partie de leur temps soit à l'extérieur de la zone d'étude soit sur les stations côtières du large.

Les premiers résultats de l'analyse effectuée sur les requins bouledogue livrent quelques informations sur la façon dont cette espèce occupe le milieu. Les causes des différences comportementales entre les individus, leurs longues périodes d'absence et leur modalité d'occupation de l'habitat restent toujours difficiles à expliquer et à corréliser aux attaques qui ont eu lieu à La Réunion. Néanmoins, aux vues de nos premiers résultats, la présence des requins bouledogue à la côte semble fonction du mode d'utilisation de l'habitat, des conditions environnementales variables et de la période du cycle de vie de cette espèce. Certains sites autour de l'île de La Réunion pourraient être soit des zones de repos soit des zones de reproduction. Pour tenter de résoudre cette question, l'objectif du programme CHARC est de coupler les mesures comportementales avec celles des conditions du milieu (environnementales et biotiques) et avec les informations concernant l'écologie trophique et la génétique des populations de ces espèces. L'acquisition, le traitement et l'analyse des données de comportement doivent se poursuivre. Ce travail devra permettre, nous l'espérons, d'extraire les facteurs expliquant les variabilités des comportements observés.

VI. Citations

- Blaison A., 2012. Rapport bibliographique : Biologie et Ecologie du requin tigre (*Galeocerdo cuvier*) et du requin bouledogue (*Carcharhinus leucas*). *Rapport intermédiaire programme CHARC*. 12p. 50pp.
- Bullen, E. and Mann, B.Q., 2000. Sedgewick's/ORI/WWF Tagging Programme: Zambezi shark (*Carcharhinus leucas*). *Data Report, Oceanographic Research Institute* 2000(11). 6 pp.
- Brunnschweiler J. M., Queiroz N., and Sims D. W., 2010. Oceans apart? Short-term movements and behaviour of adult bull sharks *Carcharhinus leucas* in Atlantic and Pacific Oceans determined from pop-off satellite archival tagging. *Journal of fish biology*, 77, 1343-58. doi:10.1111/j.1095-8649.2010.02757.x.
- Branstetter S., and Stiles R., 1987. Age and growth estimates of the bull shark , *Carcharhinus leucas* , from the northern Gulf of Mexico. *Environmental Biology of Fishes*, 20(3), 169-181.
- Carlson J. K., Ribera M. M., Conrath C. L., Heupel M. R., and Burgess G. H., 2010. Habitat use and movement patterns of bull sharks *Carcharhinus leucas* determined using pop-up satellite archival tags. *Journal of fish biology*, 77, 661-75. doi:10.1111/j.1095- 8649.2010.02707.x.
- Driggers, W., Ingram, G., Grace, M., Gledhill, C., Henwood, T., Horton, C., and Jones, C., 2008. Popping areas and mortality rates of young tiger sharks *Galeocerdo cuvier* in the western North Atlantic Ocean. *Aquatic Biology*, 2, 161-170. doi:10.3354/ab00045.
- Heithaus M.R., Dill L.M., Marshall G.J. and Buhleier B., 2002. Habitat use and foraging behaviour of tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*) in a seagrass ecosystem. *Marine Biology*. 140, 237–248.
- Heupel M.R., Simpfendorfer C.A., 2011. Estuarine nursery areas provide a low-mortality environment for young bull sharks *Carcharhinus leucas*. *Marine Ecology Progress Series*, 433: 237-244. doi:10.3354/meps09191.
- Loiseau N. et Chabanet P., 2011. Mise en place d'un protocole pour l'observation visuelle des requins. *Rapport intermédiaire programme CHARC*. 11pp.
- Meyer C.G., Clark T.B., Papastamatiou Y.P., Whitney N.M and Holland K.N., 2009. Long-term movement patterns of tiger sharks *Galeocerdo cuvier* in Hawaii. *Marine Ecology Progress Series*, 381:223-235. doi:10.3354/meps07951.
- Myers R.A., Baum J.K., Shepherd T.D., Powers S.P., Peterson C.H., 2007. Cascading Effects of the Loss of Apex Predatory Sharks from a Coastal Ocean. *Science*. Vol. 315 no. 5820 pp. 1846-1850. doi: 10.1126/science.1138657.
- Potin G., 2009. Distribution spatiale de poissons grégaires dans un réseau de structures artificielles: le cas de la baie de Saint-Paul à l'île de La Réunion". *Thèse de doctorat*. Université de la Réunion. Soutenu le 2 octobre 2009. 188 pp.
- Simpfendorfer C.A, Goodreid A.B and McAuley R.B., 2001. Size, sex, and geographic variation in the diet of the tiger shark (*Galeocerdo cuvier*) in Western Australian waters. *Environ Biol Fish*, 61:37–46.
- Soria M. et Blaison A., 2012. Bilan des opérations de marquage effectuées du 21 octobre 2011 au 18 avril 2012 dans le cadre du programme CHARC. *Rapport intermédiaire programme CHARC*. 12pp.
- Soria M. et Blaison A., 2013. Bilan des opérations de marquage effectuées du 21 octobre 2011 au 12 mai 2013 dans le cadre du programme CHARC. *Rapport intermédiaire programme CHARC*. 11pp.
- Verlinden N., 2012. Mesure de l'effet agrégatif des balises flottantes de délimitation de la Réserve Naturelle Marine de la Réunion. Impact sur la présence des requins côtiers. *Rapport Master 2. Université de la Réunion*. 27 pp.
- Werry J.M., 2010. Habitat ecology of the bull shark, *Carcharhinus leucas*, on urban coast in eastern Queensland, Australia. *PhD*. Australian Rivers Institute and School of environment. Griffith University Gold Coast Campus. 210 pp.

ANNEXE

Numéro	Lieu	Milieu	Date de mise à l'eau	Date fin ou du dernier relevé	Durée de vie (Jour)	Prof. Fond (m)	Prof. Station (m)
1	Cap La Houssaye	Large-Côtier	30/10/2011	06/09/2013	677	48	19
2	Bouée Boucan (PS)	Littoral	08/11/2011	23/10/2012	350	17	16
3	Cap des Aigrettes	Large-Côtier	08/11/2011	06/09/2013	516	52	17
4	Brisant BR	Large-Côtier	08/11/2011	04/09/2013	666	39	19
5	Pain de sucre	Littoral	21/12/2011	23/10/2012	307	10	10
6	Cheminée	Littoral	21/12/2011	23/10/2012	307	12	12
7	Aigrettes Surf	Littoral	21/12/2011	06/09/2013	625	10	10
8	Roches Noires	Littoral	21/12/2011	04/09/2013	623	17	16
9	Cage Arda	Littoral	25/01/2012	17/09/2013	601	25	30
10	Houlographe	Large-Côtier	13/06/2012	22/04/2013	313	28	11
11	Boucan BR	Large-Côtier	13/06/2012	06/09/2013	450	55	18
12	Large Saint Gilles	Large-Côtier	13/06/2012	03/12/2012	173	50	49
13	Ermitage	Large-Côtier	13/06/2012	04/09/2013	448	41	17
14	Sud Brisant	Large-Côtier	10/07/2012	04/09/2013	421	30	16
15	Saline	Large-Côtier	10/07/2012	04/09/2013	421	17	14
16	Trois Bassins BR	Large-Côtier	10/07/2012	04/09/2013	421	43	16
17	Pointe des Chateaux	Large-Côtier	10/07/2012	03/09/2013	420	22	15
18	Nord Saint Leu CM	Large-Côtier	10/07/2012	03/09/2013	420	21	18
19	Sud Saint Leu	Large-Côtier	10/07/2012	02/09/2013	419	50	17
20	Point au sel Nord	Large-Côtier	10/07/2012	26/11/2012	139	60	17
21	Point au sel Sud	Large-Côtier	10/07/2012	03/09/2013	420	97	32
22	Trois Bassin CM	Littoral	25/07/2012	17/09/2013	419	21	21
23	Nord Saint Leu BR	Littoral	25/07/2012	03/09/2013	405	19	18
24	Ravine des Avirons	Littoral	25/07/2012	02/09/2013	404	33	30
25	Etang Salé CM	Littoral	25/07/2012	02/10/2013	434	8	7
26	Etang Salé BR	Large-Côtier	25/07/2012	02/10/2013	434	44	17
27	Point aux oiseaux	Large-Côtier	25/07/2012	02/10/2013	434	41	18
28	Rivière des Galets	Littoral	23/10/2012	10/09/2013	322	20	20
29	Boucan CM	Littoral	23/10/2012	06/09/2013	318	21	21
30	Grande Ravine	Littoral	25/10/2012	15/10/2013	355	20	20
31	Saint Pierre Jumbo	Littoral	19/11/2012	03/10/2013	318	21	21
32	Ravine Blanche	Littoral	19/11/2012	10/10/2013	325	25	25
33	Saint Pierre Port	Littoral	19/11/2012	10/10/2013	325	19	19
34	Pointe Rivière d'Abord	Littoral	19/11/2012	10/10/2013	325	20	20
35	Etang du Gol	Littoral	20/11/2012	03/10/2013	317	19	19
36	Rivière Saint Etienne	Littoral	20/11/2012	03/10/2013	317	24	24
37	Aéroport Pierrefond	Littoral	20/11/2012	10/10/2013	324	21	21
38	Pointe du Diable	Littoral	20/11/2012	10/10/2013	324	20	20
39	Souffleur	Littoral	13/12/2012	02/09/2013	263	20	19
40	Ravine des Sables	Littoral	13/12/2012	03/09/2013	264	20	19
41	Golf Etang Salé	Littoral	13/12/2012	03/10/2013	294	21	20
42	DCP Gd Ravine	Pélagique	17/01/2013	15/10/2013	271	?	23
43	DCP Stella	Pélagique	17/01/2013	15/10/2013	271	?	21
44	DCP Et. Salé	Pélagique	17/01/2013	15/10/2013	271	?	27
45	DCP St Louis	Pélagique	22/01/2013	15/10/2013	266	?	33
46	Saint Marie	Littoral	26/02/2013	19/09/2013	205	17	16
47	Sainte Rose	Littoral	21/04/2013	19/09/2013	151	20	20

Tableau 1. Sites, milieu (Littoral : moins de 500m de la côte, Large-Côtier : plus de 500 m jusqu'à 1 mille nautique, Pélagique : plus de 5 km de la côte), dates de mise à l'eau, durée de vie et profondeurs des stations d'écoute déployées dans la zone d'étude au cours de la période d'observation. Les stations sont classées selon leur date de mise à l'eau. Les encadrés colorés correspondent aux périodes principales distinguées selon les dates et le nombre de déploiements (cf. figure 5).

Numéro	Date Marquage	Espèce	Longueur totale (cm)	Sexe	Maturité	Type Marque	Numéro	Date Marquage	Espèce	Longueur totale (cm)	Sexe	Maturité	Type Marque
1	21/10/11	Tigre	272	F	Adlt	V13T	1	13/12/11	Bouledogue	205	F	Sub	V13TP
2	27/10/11	Tigre	240	M	Sub	V13TP	2	18/12/11	Bouledogue	300	F	Adlt	V16
3	27/10/11	Tigre	300	M	Adlt	V13TP	3	02/01/12	Bouledogue	250	M	Adlt	V13TP
4	07/12/11	Tigre	310	F	Adlt	V13TP	4	06/01/12	Bouledogue	312	F	Adlt	V13TP
5	15/12/11	Tigre	311	M	Adlt	V13TP	5	13/01/12	Bouledogue	290	F	Adlt	V13TP
6	23/12/11	Tigre	262	F	Sub	V13TP	6	10/02/12	Bouledogue	314	F	Adlt	V16
7	23/12/11	Tigre	330	F	Adlt	V13TP	7	10/02/12	Bouledogue	308	F	Adlt	V16
8	02/01/12	Tigre	260	M	Sub	V13TP	8	29/02/12	Bouledogue	240	M	Adlt	V16
9	17/02/12	Tigre	340	M	Adlt	V16	9	24/06/12	Bouledogue	250	M	Adlt	V16TP
10	17/02/12	Tigre	280	F	Sub	V16	10	27/09/12	Bouledogue	310	F	Adlt	V16TP
11	17/02/12	Tigre	220	F	Sub	V13	11	28/09/12	Bouledogue	250	F	Adlt	V16TP
12	24/02/12	Tigre	240	F	Sub	V16	12	28/09/12	Bouledogue	329	F	Adlt	V16TP
13	23/06/12	Tigre	330	F	Adlt	V16TP	13	28/09/12	Bouledogue	274	F	Adlt	V16TP
14	23/06/12	Tigre	362	F	Adlt	V16TP	14	01/11/12	Bouledogue	290	M	Adlt	V16TP
15	14/08/12	Tigre	287	M	Adlt	V16TP	15	05/11/12	Bouledogue	314	F	Adlt	V16TP
16	17/08/12	Tigre	248	F	Sub	V16TP	16	05/11/12	Bouledogue	305	M	Adlt	V16TP
17	22/08/12	Tigre	332	M	Adlt	V16TP	17	22/11/12	Bouledogue	300	F	Adlt	V16TP
18	22/08/12	Tigre	310	M	Adlt	V16TP	18	29/11/12	Bouledogue	183	F	Sub	V16TP
19	05/10/12	Tigre	300	M	Adlt	V16TP	19	29/12/12	Bouledogue	NA	F	Adlt	V16
20	05/10/12	Tigre	340	F	Adlt	V16TP	20	06/01/13	Bouledogue	NA	M	Adlt	V16
21	08/10/12	Tigre	364	M	Adlt	V16TP	21	06/01/13	Bouledogue	NA	F	Sub	V16
22	19/10/12	Tigre	195	M	Sub	V16TP	22	06/01/13	Bouledogue	NA	F	Adlt	V16
23	19/10/12	Tigre	346	M	Adlt	V16TP	23	10/01/13	Bouledogue	NA	F	Adlt	V16
24	19/10/12	Tigre	344	M	Adlt	V16TP	24	10/01/13	Bouledogue	NA	F	Adlt	V16
25	19/10/12	Tigre	268	M	Sub	V16TP	25	06/02/13	Bouledogue	300	F	Adlt	V16TP
26	09/11/12	Tigre	272	F	Sub	V16TP	26	20/02/13	Bouledogue	90	M	Juv	V16TP
27	23/11/12	Tigre	330	M	Adlt	V16TP	27	20/02/13	Bouledogue	260	F	Adlt	V16TP
28	23/11/12	Tigre	310	F	Adlt	V16TP	28	20/02/13	Bouledogue	260	M	Adlt	V16TP
29	30/11/12	Tigre	332	M	Adlt	V16TP	29	21/02/13	Bouledogue	100	F	Juv	V16TP
30	06/12/12	Tigre	350	M	Adlt	V16TP	30	27/02/13	Bouledogue	300	F	Adlt	V16TP
31	06/12/12	Tigre	307	F	Sub	V16TP	31	01/03/13	Bouledogue	269	M	Adlt	V16TP
32	06/12/12	Tigre	366	M	Adlt	V16TP	32	05/03/13	Bouledogue	290	F	Adlt	V16TP
33	08/02/13	Tigre	111	F	Juv	V16TP	33	15/03/13	Bouledogue	290	M	Adlt	V16TP
34	27/02/13	Tigre	320	F	Adlt	V16TP	34	19/03/13	Bouledogue	260	M	Adlt	V16TP
35	01/03/13	Tigre	291	F	Sub	V16TP	35	24/03/13	Bouledogue	307	F	Adlt	V16TP
36	05/03/13	Tigre	289	F	Sub	V16TP	36	24/03/13	Bouledogue	276	M	Adlt	V16TP
37	05/03/13	Tigre	320	M	Adlt	V16TP	37	26/03/13	Bouledogue	325	F	Adlt	V16TP
38	15/03/13	Tigre	200	M	Sub	V16TP	38	26/03/13	Bouledogue	294	M	Adlt	V16TP
39	19/03/13	Tigre	320	F	Adlt	V16TP							
40	08/04/13	Tigre	127	F	Juv	V16TP							
41	08/04/13	Tigre	111	M	Juv	V16TP							
42	12/05/13	Tigre	387	F	Adlt	V16TP							

Table 2. Tableau récapitulatif des caractéristiques des requins marqués. Les longueurs totales sont données en centimètre. F = Femelle, M = Male, Adlt = Adulte (~10 ans), Sub = Sub-adulte (entre 2 et 10 ans), Juv = Juvénile (< 2ans). Les lettres TP indiquent les marques munies de capteurs de Température et de Pression (profondeur).