



le **cnam**
intechmer

Rapport de stage

présenté par

Noémie CHABRIER

Promotion BEUCHAT 2015-2018

Expérimentation du dispositif innovant de protection collective, « SharkSafe Barrier® » pour la sécurisation des usagers de la mer face au risque requin à la Réunion.



©F.Granette

Stage de fin d'études
pour l'obtention du diplôme de :

Cadre Technique

Génie de l'environnement marin

Maître de stage : M. Chateauminois Éric

Date de stage : du 28 janvier au 28 juin 2019

Entreprise ou Organisme :

Centre de Ressources et d'Appui sur le risque requin (CRA)

2 quai Gilbert

97460 Saint-Paul, Réunion

Tel : 02.62.57.85.22.



le **cnam**
intechmer



le cnam
intechmer

Remerciements :

Tout d'abord, je remercie chaleureusement Mr. Chateuminois pour avoir accepté de me prendre en stage au sein de l'Association pour le Centre de Ressources et d'Appui sur le risque requin et pour m'avoir encadré tout au long de cette formation professionnelle. Je remercie également Mr. Bielen pour son accueil au sein de l'association.

Je tiens à présenter mes remerciements les plus sincères à la brigade d'intervention : Mr. Gadenne pour son aide à identifier les organismes marins de l'océan Indien et Mr. Hoarau (E) pour sa patiente et ses conseils qui m'ont permis de me remettre en question et de m'améliorer tout au long du stage. Je les remercie tous les deux pour m'avoir montré ce qu'est le travail de terrain, pour m'avoir permis de réaliser des plongées scientifiques autonomes et pour m'avoir encouragé à donner le meilleur de moi-même au cours du stage.

J'adresse mes remerciements à Mr. Hoarau (M) pour son soutien et son suivi scientifique lors de la rédaction de mon rapport, pour le partage de son expérience fascinante et surtout pour avoir tout mis en œuvre pour valoriser mon travail de stagiaire auprès des acteurs extérieurs.

Je remercie Mr. Guyomard pour avoir pris le temps de m'expliquer objectivement les enjeux politiques autour du risque requin à la Réunion et pour m'avoir permis d'avoir une vision cartésienne du sujet malgré les préjugés et les avis non fondés établis par la population locale et nationale ...

Je salue Mme Remphan et Mme Flavigné pour leur gentillesse, pour leur soutien total au cours du stage, pour leurs solidarités et pour leurs écoutes. Mme Remphan, grâce à son tempérament rayonnant, est la « maman/ gardienne de phare » de l'association et permet une ambiance de travail agréable et chaleureux.

Je remercie Mr. Jaquemet, professeur à l'Université de la Réunion, qui m'a invité à assister à la dissection de requins tigre et bouledogue ; Mr. Lerceteau, pour m'avoir expliqué la procédure juridique à suivre afin de pouvoir faire voler des drones au-dessus de zones d'étude. J'aimerais exprimer ma gratitude envers Mr. Perry, pêcheur mandaté pour la pêche de prévention, pour m'avoir offert l'opportunité d'assister à la relâche de prises accessoires vivantes.

Je salue Mme. Chabanet et Mr. Vicente qui m'ont très gentiment donné les contacts nécessaires pour parvenir à réaliser mon objectif : un stage sur l'étude des requins.



le cnam
intechmer

Enfin, je souhaiterais humblement remercier les scientifiques internationaux que j'ai rencontré au cours de mon stage : D'abord, Mr. Taglioni, avec qui j'ai échangé lors d'un entretien au centre, et qui m'a offert un accès libre à ses publications pour mener à bien mon stage. J'aimerais saluer Mr. Surina pour m'avoir aussi permis d'utiliser gratuitement ses données et ses illustrations pour produire mon rapport.

Je remercie très chaleureusement Mme. Andreotti, docteur à l'université de Stellenbosch (Afrique du Sud) et conceptrice du projet « SharkSafe Barrier® », qui m'a directement inclus dans le projet expérimental à la Réunion, qui m'a considéré comme une véritable technicienne en biologie marine et qui m'a également recommandé auprès de ses confrères pour un poste futur.

Finalement, je souhaiterais remercier Mr. O'Connell, concepteur du dispositif et scientifique spécialisé dans l'étude des requins, reconnu dans le monde entier, pour m'avoir encouragé dans ma volonté à travailler sur la conservation du milieu marin et plus précisément sur les requins.

J'aimerais adresser mes condoléances les plus sincères aux familles et amis de Mr. Huet et de Mr. Mahbouli, victimes tragiques des attaques de requins du 29.01.19 à St Rose et du 09.05.19 à St-Leu ainsi qu'à toutes les personnes victimes d'une attaque de requin à la Réunion depuis 2011.



Table des Matières

REMERCIEMENTS :	- 3 -2-
TABLE DES MATIERES	- 5 -4-
LISTE DES FIGURES	- 8 -7-
LISTE DES ABREVIATIONS :	- 9 -8-
LISTE DES TABLEAUX :	- 9 -8-
PRESENTATION DU CENTRE DE RESSOURCES ET D'APPUI SUR LE RISQUE REQUIN :	- 10 -9-
INTRODUCTION :	- 11 -10-
ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE :	- 13 -12-
A. ÉTAT DES LIEUX DES ATTAQUES DE REQUIN A LA REUNION DEPUIS 2011 (TAGLIONI ET AL, 2018)	- 13 -12-
B. GENERALITES SUR LES APTITUDES SENSORIELLES DES REQUINS	- 13 -12-
1. LE SYSTEME ELECTRO-SENSORIEL	- 14 -13-
2. LA MECANO-RECEPTION	- 15 -14-
3. LE SYSTEME CHIMIO-SENSORIEL	- 16 -15-
C. LE SYSTEME « SHARKSAFE BARRIER » : UN DISPOSITIF INNOVANT ET ECOLOGIQUE	- 16 -15-
1. LE STIMULUS VISUEL	- 17 -16-
2. LE STIMULUS ELECTROMAGNETIQUE	- 17 -16-
3. LE STIMULUS MECANO-RECEPTIF	- 18 -17-
4. LE STIMULUS OLFACTIF	- 18 -17-
5. RESULTATS DES PRECEDENTES EXPERIMENTATIONS DE SSB®	- 18 -17-
MATERIEL ET METHODES :	- 20 -19-
A. LE SITE DE DEPLOIEMENT	- 20 -19-
B. STRUCTURE DU DISPOSITIF « SHARKSAFE BARRIER »	- 21 -20-
1. STRUCTURE GENERALE DU DISPOSITIF	- 21 -20-
2. ORGANISATION DES UNITES FONCTIONNELLES DU DISPOSITIF	- 22 -21-
3. SPECIFICITES ELECTROMAGNETIQUES DE LA RANGEE EXTERNE DE LA BARRIERE SSB®	- 23 -22-
C. PROTOCOLE DU STIMULI OLFACTIF DES REQUINS	- 24 -23-
D. PROCEDURE DE COLLECTE DE DONNEES SOUS-MARINE	- 25 -24-
1. INSTRUMENT D'ENREGISTREMENT VIDEO DES DONNEES SOUS-MARINES	- 25 -24-



le cnam
intechmer

2. DISPOSITIONS DES CAMERAS SOUS-MARINES - 26 -25-
3. RECOLTE ET ANALYSE DES DONNEES - 27 -26-

RESULTATS : - 29 -28-

- A. INTERACTION ENTRE LA « SHARKSAFE BARRIER » ET LES CHONDRYCHTHYENS** - 29 -28-
- B. IMPACT ECOLOGIQUE DE LA « SHARKSAFE BARRIER »** - 29 -28-
1. LE BIOFOULING COLONISANT LES UNITES FONCTIONNELLES - 29 -28-
2. PRESENCE DE L'ENSEMBLE DE LA CHAINE TROPHIQUE - 30 -29-
3. INVENTAIRE DES PREDATEURS RECENSES - 30 -29-
4. ANALYSE SPATIALE - 31 -30-
5. ANALYSE TEMPORELLE - 33 -31-

DISCUSSIONS : - 35 -33-

- A. ABSENCE D'INTERACTION ENTRE LA « SHARKSAFE BARRIER » ET LES REQUINS** - 35 -33-
1. PRESENCE DE PECHEURS - 35 -33-
2. POSITIONNEMENT DE LA ZONE D'ETUDE - 35 -33-
3. PERIODE DE FREQUENTATION DES REQUINS - 35 -33-
4. COMPARAISON AVEC LES CPUE DIURNES DES REQUINS BOULEDOGUE EN BAIE DE ST-PAUL - 36 -34-
5. PERIODE D'EXPERIMENTATION - 36 -34-
- B. IMPACT ECOLOGIQUE DE LA SHARKSAFE BARRIER** - 37 -35-
1. INTERACTION ENTRE LES ORGANISMES MARINS ET LA BARRIERE - 37 -35-
2. EFFET RECIF ARTIFICIEL - 37 -35-
3. EFFET DISPOSITIF DE CONCENTRATION DE POISSON (DCP) - 38 -36-
4. ANALYSE SPATIALE - 38 -36-
5. ANALYSE TEMPORELLE - 38 -36-

CONCLUSION : - 40 -38-

REFERENCES: - 42 -40-

LISTE DE REFERENCES INTERNET : - 43 -41-

LISTE DES ANNEXES : - 43 -41-

ANNEXES : - 44 -42-

RESUME : - 52 -50-



le **cnam**
intechmer



Liste des figures

Figure 1: PRINCIPALES MISSIONS DU CENTRE DE RESSOURCES ET D'APPUI (CRA) SUR LE RISQUE REQUIN.	- 10 -9-
Figure 2: SCHEMA GENERAL DES APTITUDES SENSORIELLES DU REQUIN.	- 14 -13-
Figure 3: REPARTITION DU SYSTEME ELECTRO-RECEPTIF DU REQUIN (REQUIN SOYEUX - CARCHARHINUS FALCIFORMIS – MULLER AND HENLE, 1839) EN VUE LATERALE, VENTRALE ET DORSALE (A GAUCHE) ET DESSIN DE L'ORGANISATION STRUCTURALE DE L'AMPOULE DE LORENZINI (A DROITE)..	- 15 -14-
Figure 4: PHOTOGRAPHIES DE FORET DE KELPS EN MILIEU NATUREL (A) ET DES RANGEES DE TUBES CONSTITUANTS LE SYSTEME REPULSIF « SHARKSAFE BARRIER »	- 17 -16-
Figure 5: PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU STIMULUS OLFACTIF POUR ENTRAINER LES INTERACTIONS ENTRE LES REQUINS ET LE SYSTEME « SHARKSAFE BARRIER® ».....	- 18 -
Figure 6: LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU DISPOSITIF « SHARKSAFE BARRIER ».....	Erreur ! Signet non défini. -19-
Figure 7: TEMPS DE PRESENCE DES REQUINS BOULEDOGUE MESURE SUR PLUSIEURS ANNEES AU COURS DU PROGRAMME CHARC SUR TROIS SITES (BAIE DE ST-PAUL, ST-GILLES ET DANS LE SUD).	- 21 -20-
Figure 8: ILLUSTRATION REPRESENTATIVE DE LA STRUCTURE DU SYSTEME SSB®, ORIENTATION DES ANGLES ET PHOTOGRAPHIE DES AIMANTS D'ANCRAGE.	- 22 -21-
Figure 9: DIFFERENTS COMPOSANTS D'UNE UNITE FONCTIONNELLE.....	- 23 -22-
Figure 10: STRUCTURES DE LA RANGEE EXTERNE DU DISPOSITIF SSB® (A) ET DES TROIS DIFFERENTS TYPES DE TUBES CONSTITUANT LES UNITES FONCTIONNELLES (TYPE 1, TYPE 2 ET TUBE NON MAGNETIQUE) (B).....	- 24 -23-
Figure 11: APPAREIL MANUFACTURE PERMETTANT L'ENREGISTREMENT DES DONNEES SOUS-MARINE AU NIVEAU DE LA BARRIERE SSB® (GAUCHE) ET PHOTOGRAPHIE D'UNE CAMERA IMMERGEE AU NIVEAU DU SYSTEME SSB® (DROITE).-26-	-24-
-	-
Figure 12: SCHEMA REPRESENTATIF DES DIFFERENTES DISPOSITIONS DES CAMERAS COLLECTANT LES DONNEES SOUS-MARINE AUTOUR DE SSB®.....	- 27 -25-
Figure 13: ILLUSTRATION DES FICHIERS CONTENANT LES ENREGISTREMENTS VIDEOS ET DE LA PROCEDURE A SUIVRE POUR ANALYSER EN ACCELERE LES VIDEOS ENREGISTREES.	- 28 -26-



le cnam
intechmer

Liste des abréviations :

- BSP : Baie de St-Paul
- CRA : Centre de Ressources et d'Appui face au risque requin
- ACRAR : Association pour le Centre de Ressources et d'Appui sur le risque Requin
- BRUV(s) : Baited Remote Underwater Video system or stations – Caméra sous marine appâtée
- SMART : Shark Management Alert in Real Time
- EPI : Équipement de Protection Individuelle
- SSB[®] : SharkSafe Barrier[®]
- PeHD : Polyethylene High Density – Polyéthylène à Haute Densité
- BSP : Baie de St-Paul
- CHARC : Connaissances de l'écologie et de l'Habitat de deux espèces de Requins Côtiers sur la côte ouest de la Réunion
- PMT : Palme, Masque, Tuba
- COH : Chef Opérateur Hyperbare
- CPUE : Catch Per Unit Effort (Capture Par Unité d'Effort)
- OPUE : Observation Par Unité d'Effort
- DCP : Dispositif de Concentration de Poissons

Liste des tableaux :

Tableau 1: COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES ANGLES ET DU CENTRE DU DISPOSITIF « SHARKSAFE BARRIER[®] » INSTALLE EN BAI DE ST-PAUL ~~20~~ ~~18~~

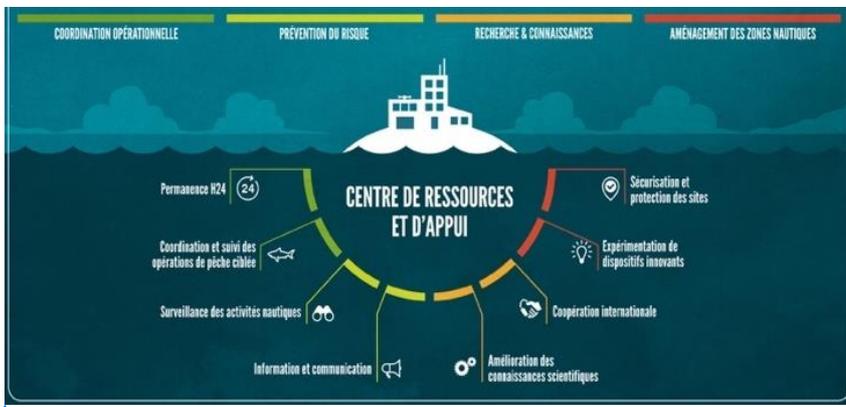
Tableau 2: LISTE DES TELEOSTEENS PREDATEURS RECENCES DANS LES ENREGISTREMENTS VIDEOS A L'EXTERIEUR ET A L'INTERIEUR DU DISPOSITIF SSB[®] ~~31~~ ~~27~~



le cnam
intechmer

Présentation du Centre de Ressources et d'Appui sur le risque requin :

L'Association pour le Centre de Ressources et d'Appui sur le risque requin (ACRAR/CRA) est une structure partenariale sous la forme d'une association « Loi 1901 ». Elle est créée en 2016 par l'ensemble des pouvoirs publics (État, Région, Communes du littoral) en réaction aux multiples attaques de requin qui ont lieu sur l'île de la Réunion depuis 2011. Situé au 2 quai Gilbert (Saint-Paul) et régie sous la présidence du Sous-Préfet de St-Paul, l'association se compose de membres actifs, d'un conseil d'administration et d'une équipe professionnelle rassemblant des compétences pluridisciplinaires (brigade d'intervention, ingénierie marine, responsable scientifique ...)



a mis en forme : Référence légère, Vérifier l'orthographe et la grammaire

a mis en forme : Police :10 pt

FIGURE 1(Figure 1).

a mis en forme : Police :Non Gras

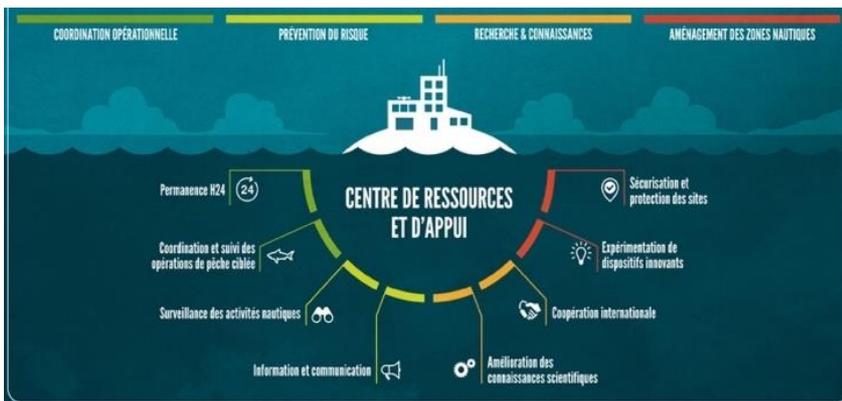


FIGURE 1: PRINCIPALES MISSIONS DU CENTRE DE RESSOURCES ET D'APPUI (CRA) SUR LE RISQUE REQUIN. EN VERT : LA COORDINATION OPERATIONNELLE; EN JAUNE : LA PREVENTION DU RISQUE; EN ORANGE : LA RECHERCHES ET CONNAISSANCES ET EN ROUGE : L'AMENAGEMENT DES ZONES NAUTIQUES (HTTP://WWW.INFO-REQUIN.RE/LES-MISSIONS-R71.HTML CONSULTE LE 20.05.19).



le cnam
intechmer

L'objectif de l'organisme est d'aider les décideurs publics à mettre en œuvre des plans ou des outils pour gérer et réduire le risque d'attaque de requin à la Réunion, tout en respectant les principes de développement durable.

Le CRA a pour mission de valider des techniques innovantes pour accompagner les collectivités locales dans leurs projets de sécurisation du littoral. En parallèle, il est mandaté pour la mise en place d'une pêche de prévention des requins bouledogue (*Carcharhinus leucas* – J.P.Müller & Henle, 1839) et des requins tigre (*Galeocerdo cuvier* – Péron & Lesueur, 1822), espèces incriminées dans les attaques récentes. Le centre intervient également à la suite d'un incident relatif à une interaction entre l'homme et un requin (attaque) en déployant le « plan post-attaque » : des BRUVs (Baited Remoted Underwater Vidéo system – caméra sous-marine appâtée) et des « SMART-Drumlines » (Shark Management Alert in Real Time – palangre de surface avec émetteur satellite) spécifiques aux squales, sont immédiatement déployées sur le site de l'accident.



le cnam
intechmer

Introduction :

Une attaque de requin se définit par un contact agressif et non provoqué d'un requin (ou de plusieurs requins) avec un être humain vivant ; entraînant des blessures, le décès de la victime ou des dommages matériels (planche de surf, bodyboard, kayak etc...) (Neff & Hueter, 2013).

La série d'attaques de requin qui a lieu à la Réunion depuis 2011 impacte la société locale dans son ensemble, avec une forte diminution du tourisme et des activités nautiques et entraîne une tension sociale conséquente ; la peur associée aux attaques de requin induit une diminution du tourisme d'une valeur estimée à plusieurs dizaines de millions d'euros par an depuis cette période.¹

L'arrêté préfectoral du 27 septembre 2013² instaurant une interdiction totale des sports nautiques en dehors de la lagune (eau très peu profonde, sans requin en principe) a été promulgué pour protéger les usagers de la mer contre les attaques de requin. Initialement temporaire, cette mesure est renouvelée chaque année dans le but de trouver des solutions pérennes pour garantir la sécurité des usagers de la mer.

Le CRA, apporte son appui technique et scientifique, ainsi que l'évaluation en continu de la faisabilité et l'efficacité des différentes mesures entreprises par les porteurs de projet, pour réduire le risque requin à la Réunion. Le centre expérimente également en interne diverses innovations individuelles (Équipements de Protection Individuelles (EPI)) ou collectives (filets anti-requin, vigie-requin, sonar) pour apporter les connaissances scientifiques nécessaires aux décideurs publics afin d'intervenir efficacement face au risque requin.

Depuis janvier 2019, en partenariat avec l'Université de Stellenbosch (Afrique du Sud), le CRA examine l'efficacité répulsive d'une barrière innovante et écologique : la « SharkSafe Barrier[®] » (SSB[®]). Ce dispositif est constitué de différents types de barrières repoussant exclusivement les chondrichthyens (poissons cartilagineux) et fait opposition aux filets non sélectifs traditionnellement utilisés. Le système SSB[®] a d'abord été testé en Afrique du Sud pour repousser le requin blanc (*Carcharodon carcharias* - Linnaeus, 1758), puis aux Bahamas pour repousser le requin bouledogue et a présenté 100% d'efficacité au cours des dernières expérimentations.

¹http://www.info-requin.re/IMG/pdf/Impact_economique_crise_requin_a_la_Reunion_-_Sagis_-_Rapport_final_novembre_2014.pdf consulté le 13.05.19).

² Arrêté préfectoral, n° 1821 du 27 septembre 2013 portant réglementation temporaire de la baignade et de certaines activités dans la bande des 300 mètres à partir du littoral du département de La Réunion, in: P.d.L. Réunion(Ed.), 2013.



le cnam
intechmer

L'objectif du projet actuel est de vérifier l'efficacité de la barrière pour repousser les requins tigre et bouledogue présents dans la zone d'expérimentation située dans la baie de Saint-Paul, à la Réunion. Le système doit garantir une solution efficace et écologique qui permet de repousser les squales tout en assurant la conservation de la biodiversité marine locale.

L'objectif du stage est de réaliser la collecte des données vidéo sous-marines du test d'exclusion de la « SharkSafe Barrier[®] » et d'analyser les interactions de la barrière avec l'écosystème marin pour vérifier son effet répulsif spécifiquement ciblé sur les requins, et plus largement son impact sur la faune locale.

Dans un premier temps, l'étude bibliographique permettra d'établir l'état des lieux des attaques de requin à la Réunion depuis 2011 ; le système sensoriel des requins sera analysé et les différents principes de fonctionnement des barrières du système SSB[®] seront expliqués. Le matériel et la méthode définiront d'abord la structure du dispositif installé à la Réunion. Ils présenteront ensuite le protocole de capture de données vidéo sous-marines permettant l'analyse des interactions entre les squales et la barrière, en vue d'en vérifier son efficacité répulsive. Les données obtenues seront analysées statistiquement avant d'être critiquées. Enfin, ce rapport présentera les résultats obtenus pendant la période des tests d'exclusion de la barrière SSB[®] afin d'apporter les réponses préliminaires sur son efficacité pour limiter l'accès aux littoraux des espèces ciblées ; et sur son impact écologique sur la biodiversité marine locale.



le cnam
intechmer

Étude bibliographique :

A. État des lieux des attaques de requin à la Réunion depuis 2011 (Taglioni *et al*, 2018)

Depuis 2011, 30 attaques dont 11 fatales se sont succédé à la Réunion. Proportionnellement au nombre total d'attaques ayant eu lieu sur l'île, c'est actuellement la région du monde la plus touchée par les attaques mortelles, avec plus d'un tiers qui sont létales (i.e. 36,7%).

On observe un contraste spatial net entre les incidents : avant 2011, ceux-ci avaient principalement lieu sur la côte Est; depuis, ils se sont majoritairement produits sur la côte Ouest (Annexe 1).

Les pratiquants de sport de glisse (surf, bodyboard et plus marginalement planche à voile) sont les principales victimes des requins et représentent 65% des attaques. Les baigneurs, avec 21% des attaques, sont les secondes victimes les plus touchées, suivis des chasseurs sous-marins (10,5%) puis des plongeurs bouteilles (3,5%).

Depuis 1980, les requins tigre et bouledogue sont respectivement responsables de 28% et 63% des attaques à la Réunion. Depuis 2011, les requins bouledogue sont incriminés à eux seuls, dans plus de 80 % des incidents.

Les caractères généraux des requins bouledogue et tigre et le comportement des populations de ces espèces à la Réunion n'étant pas directement liés à la problématique du stage, ils sont décrits en Annexe 2.

B. Généralités sur les aptitudes sensorielles des requins

Depuis 400 millions d'années, les chondrichthyens s'adaptent à leurs environnements grâce au développement d'une batterie de sens spécialisés, leur permettant de répondre à un panel de stimuli biotiques et abiotiques (FIGURE 2) (Collin *et al.*, 2016). Afin d'assurer une efficacité répulsive optimale, le système innovant SSB[®] se base sur différentes aptitudes sensorielles des requins tel que : l'électro-réception, la vision ou la mécano-réception. L'olfaction est le sens exploité au cours de l'expérimentation pour induire les interactions entre les requins et la barrière.



le cnam
intechmer

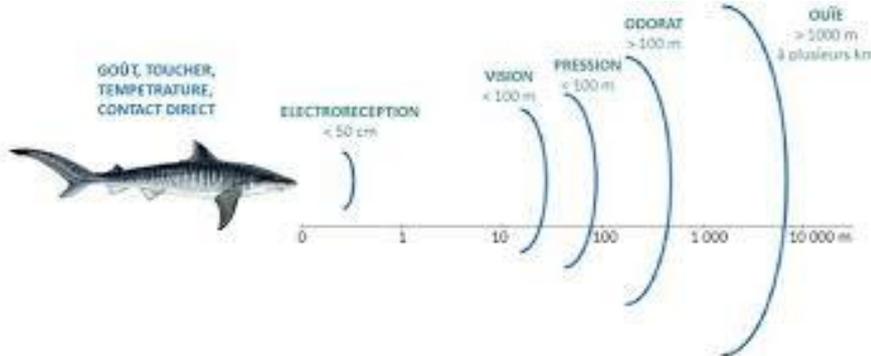


FIGURE 2: SCHEMA GENERAL DES APTITUDES SENSORIELLES DU REQUIN. L'ÉCHELLE DE DISTANCE (CROISSANTE) DE L'EFFICACITÉ OPTIMALE DE CHAQUE SENS EST LE SUIVANT : LA MECANO-RECEPTION CUTANÉE (STIMULI DIRECTE), L'ÉLECTRO-RECEPTION (<50CM), LA VISION (<100M), LA LIGNE LATÉRALE(<100M), L'ODORAT(>100M) ET L'OÛÏE (>1000M) ([HTTP://WWW.REQUINS.EU/HTML/7SENS.HTML](http://www.requins.eu/html/7sens.html) CONSULTÉ LE 20.05.19).

La vision des requins s'étend à plusieurs dizaines de mètres, elle est basée sur le contraste lumineux ; la plupart des espèces présentent une vision monochromatique. La photosensibilité des requins est améliorée par un mécanisme appelé « Tarpetum lucidum » qui réfléchit ou diffuse la lumière sur une membrane derrière les photorécepteurs présents dans la rétine (Hart and Collin, 2015).

En plus des yeux, les requins possèdent des tissus photo-réceptifs, appelés « opsines ». Ces pigments non visuels sont répartis sur la peau, autour des yeux et dans le système nerveux central des animaux et leur permettent de répondre aux variations environnementales (saison, marée, lune, température...) (Collin *et al.*,2016).

1. Le système électro-sensoriel

Extrêmement sensible, le système électro-sensoriel permet aux élasmobranches (sous-classe des chondrichthyens regroupant les raies et les requins) de détecter des champs électriques infimes (1-5 nV/cm) produits par des sources biologiques ou non (Kalmijn, 1974). Plus largement, il leur permet de détecter précisément, à distance très faible de la source (50 cm), les champs électriques produits par une proie, par des congénères ou d'autres prédateurs, par un gradient de température ; ou même de s'orienter via le champ électromagnétique terrestre (Collin *et al.*,2016).

Les ampoules de Lorenzini sont les organes électro-récepteurs des chondrichthyens. Visibles à la surface de la peau par des pores noirs distribués au niveau de la tête et du corps, les ampoules sont connectées par des canaux et baignent dans de l'hydrogel : les alvéoles sont liées à des cellules sensorielles qui détectent les gradients de champ électrique et transfèrent l'information au cerveau. Un pore contient une centaine d'ampoules et une ampoule contient une centaine de cellules sensorielles



(FIGURE 3). La sensibilité de chaque ampoule est fonction de la longueur et de l'orientation du canal. Le nombre de pores et leurs arrangements ainsi que la longueur des canaux sont les facteurs qui déterminent l'habilité d'une espèce à localiser la source d'un champ électrique dans l'environnement marin en trois dimensions (Collin *et al.*, 2016).

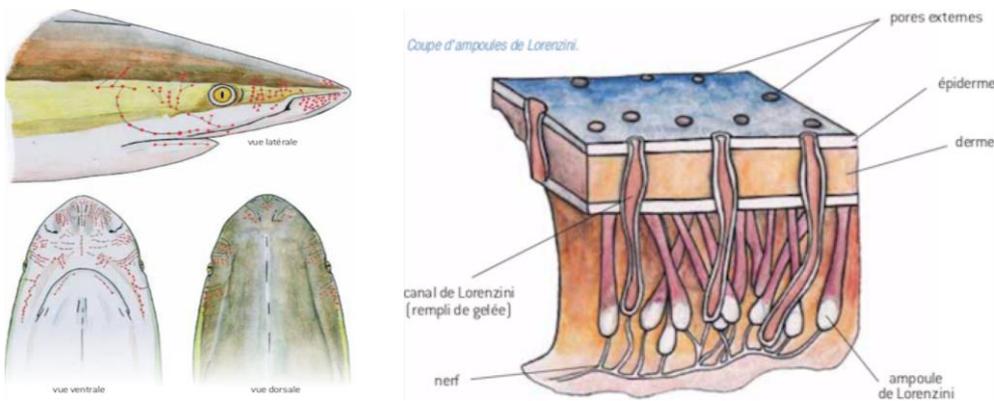


FIGURE 3 : REPARTITION DU SYSTEME ELECTRO-RECEPTIF DU REQUIN (REQUIN SOYEUX - CARCHARHINUS FALCIFORMIS – MULLER AND HENLE, 1839) EN VUE LATÉRALE, VENTRALE ET DORSALE (A GAUCHE) ET DESSIN DE L'ORGANISATION STRUCTURALE DE L'AMPOULE DE LORENZINI (A DROITE). LE RESEAU DE POINTS ROUGES SUR LE MUSEAU DU REQUIN CORRESPOND AU SYSTEME ELECTRO-RECEPTIF CONSTITUE D'AMPOULES DE LORENZINI. CHAQUE ORGANITE PRÉSENTE : UN PORE EXTERNE, UN CANAL REMPLI DE GÉLÉE, UNE ALVÉOLE ET DES CELLULES SENSORIELLES CONNECTÉES A UN NERF (SURINA ET LECOEUR, 2018).

Le système électro-sensoriel du requin bouledogue s'est optimisé au cours du temps et permet à l'espèce de s'adapter dans des milieux marins ou dulcicoles, ce qui lui garantit une plus grande efficacité de prédation et lui permet d'évoluer à proximité des côtes dans les eaux turbides.

2. La mécano-réception

Un mouvement d'eau créé une pression formant un champ acoustique. La ligne latérale des requins est sensible aux oscillations de basses fréquences et lui permet de détecter les mouvements d'eau pour assurer la navigation et pour détecter les proies via des micro-turbulences. Elle se présente sous forme d'un réseau d'organes récepteurs autour de la tête et le long du corps jusqu'à la queue. La distribution spatiale, la position et l'orientation des organes récepteurs définissent la taille du champ mécano-réceptif de la ligne latérale de chaque espèce (Collin *et al.*, 2016).

L'unité fonctionnelle, le « neuromaste », est un mécanorécepteur à sensibilité unidirectionnelle. Il en existe deux types différents : le canal neuromastique, canal sub-épidermique protégé de l'environnement et le neuromaste superficiel, inférieur en taille mais supérieur en sensibilité. Il existe une différence fonctionnelle entre ces deux organites : les neuromastes superficiels informent sur la



présence et la direction d'un courant et les canaux neuromastiques permettant la détection d'un mouvement d'eau localisé, comme une proie potentielle ou un congénère (Collin *et al.*, 2016).

La mécano-réception cutanée peut se traduire par une indentation, c'est-à-dire par des micro-vibrations sur la peau ou par des variations de température ; la réaction du requin à un stimulus de contact entraîne directement un réflexe de protection (Collin *et al.*, 2016).

3. Le système chimio-sensoriel

L'olfaction joue un rôle majeur dans plusieurs comportements des requins comme : la recherche de nourriture, la communication ou la reproduction. La sensibilité olfactive d'un requin lui permet de détecter une faible concentration de molécules dans une grande masse d'eau. Les requins localisent des sources d'odeurs par des analyses simultanées de paramètres chimiques et hydrodynamiques (Collin *et al.*, 2016).

La séparation entre les narines des requins influence leur efficacité d'olfaction : les espèces avec un espacement narinaire plus important sont capables de résoudre des angles d'attaque plus petits, à des vitesses supérieures que celles dont l'espacement est moindre. Les élamobranthes possèdent également des papilles gustatives de différentes tailles, en forte concentration dans leur orifice buccal, qui leur permettent d'évaluer la nourriture par contact direct pour ingérer ou rejeter l'objet (Collin *et al.*, 2016).

Finalement, afin d'optimiser leurs techniques de prédation, les requins alternent l'exploitation de leurs sens en utilisant d'abord l'olfaction à large échelle spatiale, puis l'électro-réception à faible échelle spatiale.

C. Le système « SharkSafe Barrier » : un dispositif innovant et écologique

Généralement, en réponse à une attaque de requin, les pouvoirs publics du pays concerné mettent en place des mesures d'abattage aveugle (drumline) et installent des filets maillants anti-requin sur certains littoraux pour garantir la sécurité des usagers de la mer. Bien qu'elles soient efficaces en termes de protection, ces réactions entraînent un impact néfaste sur la biodiversité marine locale : elles provoquent une mortalité des élamobranthes qui engendre un déséquilibre de l'écosystème marin (O'Connell *et al.*, 2017).

Le système « SharkSafe Barrier® » est une alternative écologique novatrice développée par les chercheurs de l'Université de Stellenbosch (Afrique du Sud) en 2010, qui garantit la sécurité des usagers

Commenté [MCILRP1]: Tristesse :(

Commenté [MH2]: Il est préférable de bien préciser les types de filets utilisés dans ces situations qui sont généralement des filets maillants au contraire des filets non-maillants tels que les filets exclusions



le cnam
intechmer

de la mer tout en réduisant la mortalité des élastomobranthes et des autres organismes marins, le système soutient ainsi la conservation de l'écosystème marin.

Le fonctionnement de cette barrière se base sur différents stimuli sensoriels pour garantir une efficacité répulsive optimale exclusivement ciblée sur les requins.

1. Le stimulus visuel

Le système SSB[®] repose sur un effet biomimétique : des rangées de longs tubes en PeHD (Polyethylene High Density – Polyéthylène à Haute Densité) sont fixées au substrat et oscillent avec la houle dans la colonne d'eau jusqu'à la surface. Les tubes imitent l'apparence visuelle du « bambou marin » (*Ecklonia maxima* - macroalgue brune de plusieurs mètres de haut) et entraînent un stimulus visuel repoussant les requins (FIGURE 4) (O'Connell *et al.*, 2017). En milieu naturel, il est exceptionnel d'observer des squalos naviguant dans ces denses forêts de kelps et les phoques les utilisent comme zones d'anti-prédation (Jewell *et al.*, 2019).



FIGURE 4: PHOTOGRAPHIES DE FORET DE KELPS EN MILIEU NATUREL (A) ET DES RANGEES DE TUBES CONSTITUANTS LE SYSTEME REPULSIF « SHARKSAFE BARRIER » (B). LA COMPARAISON DE CES DEUX IMAGES ILLUSTRE L'EFFET BIOMIMETIQUE VISUEL DE LA BARRIERE. ([HTTPS://WWW.PINTEREST.IT/PIN/518617713329861313/](https://www.pinterest.it/pin/518617713329861313/) CONSULTE LE 20.05.19 (A) ET N.CHABRIER (25.04.19) (B)).

2. Le stimulus électromagnétique

La barrière est constituée d'aimants en céramique de ferrite de barrium ($BaFe_{12}O_{19}$) qui émettent en permanence une induction électromagnétique hors normes dans le milieu marin et qui provoquent une réaction d'évitement chez les élastomobranthes (O'Connell *et al.*, 2014).

La différentielle de flux électromagnétique qui existe entre les aimants (3850 G - Gauss) et le champ magnétique terrestre (0,25-0,65 G) entraîne une sur-stimulation du système électro-réceptif et induit un effet répulsif non violent et non létal chez les elasmobranches. Les téléostéens (poissons osseux) ou les mammifères marins ne possèdent pas les organes électro-récepteurs des chondrichthyens et ne sont donc pas sensibles aux aimants (O'Connell *et al.*, 2014).



3. Le stimulus mécano-réceptif

Les tubes du système forment une barrière physique dans l'ensemble de la colonne d'eau qui augmente l'efficacité répulsive du dispositif. La distance entre chaque tube a été optimisée à 1m au cours des précédentes expérimentations pour maximiser l'effet répulsif du dispositif (O'Connell *et al*, 2012).

4. Le stimulus olfactif

Pour observer des interactions entre la barrière et les requins, des appâts olfactifs (poissons entiers, broyats de poissons) sont disposés derrière ou dans le système et provoquent un stimulus olfactif qui attire le requin (FIGURE 5). La plume olfactive d'un appât peut s'étendre à plusieurs centaines de mètres mais son efficacité décroît de façon exponentielle quelques heures après son installation (Laroche *et al.*, 2007).

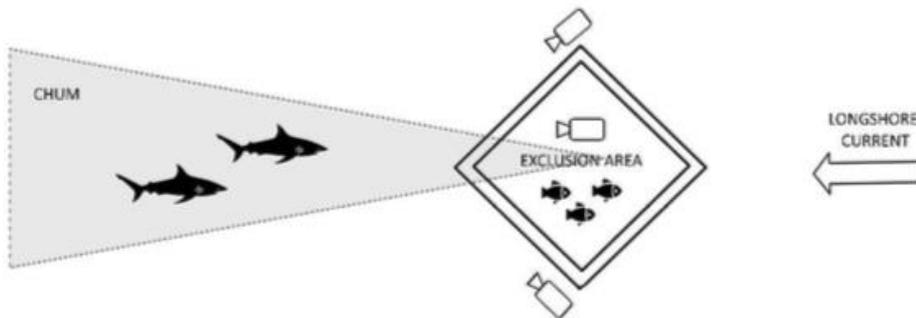


FIGURE 5: PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU STIMULUS OLFACTIF POUR ENTRAINER LES INTERACTIONS ENTRE LES REQUINS ET LE SYSTEME « SHARKSAFE BARRIER® ». LA PLUME OLFACTIVE CREEE PAR L'APPAT AU CENTRE DU SYSTEME ATTIRE LES SQUALES (RAPPORT TECHNIQUE « SHARKSAFE BARRIER® » EN BAIE DE ST-PAUL, REUNION).

5. Résultats des précédentes expérimentations de SSB®

Les précédentes études de SSB® se traduisent par deux expérimentations principales :

- L'expérience « d'appât » : un appât olfactif est placé derrière la barrière pour vérifier si les espèces ciblées sont sensibles aux champs électromagnétiques.
- L'expérience « barrière » : une barrière électromagnétique carrée est mise en place en permanence autour de l'appât pour vérifier si cette dernière peut contrôler le comportement de nage des requins bouledogue et tigre.

En milieu naturel, différents comportements ont été observés : lorsqu'une proie nage à travers la barrière, le squalo présente un comportement d'évitement quand il atteint la première rangée de tubes (virage à 45°, 90° ou 180° et accélération) et le prédateur ne passe jamais entre les unités structurales



le cnam
intechmer

du dispositif. Lorsque la proie nage parallèlement au système, le squalo la traque le long des tubes (O'Connell *et al.*, 2012).

La distance de nage du requin par rapport aux tubes aimantés est toujours supérieure à celle observée par rapport aux tubes contrôles (i.e. : 1m60 pour les tubes aimantés et 1m30 pour les tubes non aimantés), elle est même toujours supérieure à la distance du champ d'induction électromagnétique (30-50cm) des aimants, quelle que soit l'espèce. Occasionnellement, lorsqu'un requin se rapproche trop près d'un aimant, il présente une réaction d'évitement vive et brutale. Jusqu'à présent, les requins bouledogue n'ont jamais traversé les barrières testées, qu'elles soient aimantées ou non (O'Connell *et al.*, 2014).

Les résultats des dernières expérimentations confirment l'efficacité répulsive du système SSB® spécifiquement ciblée sur les requins.

Commenté [MH3]: Pour ton info la dernière publication a prouvé que le grand blanc a réussi à traverser une forêt de Kelp en mode chasse : <https://www.scimex.org/.../shark-cams-capture-great-whites-in...>
The research produced by Jewell et al. for this first time conclusively shows how a great white shark navigates through a kelp forest (see video below from Jewell et al.2019).
This result broadly supports our personal findings of independent research, that is currently in preparation for publication.
What is most enlightening is to see how a great white shark navigates through corridors in the kelp forest, where stalks of kelp are not present.
The shark is clearly avoiding as much as possible the more dense kelp forest patches, where the stalks are less than 1m apart.
This video, a first of its kind, shows why the kelp biomimicry of SharkSafe Barrier™ is an effective mechanism to alter the swimming behaviour of sharks and supports the importance of also including magnets in the SharkSafe Barrier™ technology.



Matériel et Méthodes :

Pour garantir la sécurité des usagers de la mer à la Réunion, le CRA expérimente le système « SharkSafe Barrier® », un dispositif de protection innovant, collectif et écologique, comme méthode d'exclusion des populations de requins tigre et bouledogue.

A. Le site de déploiement

La zone de recherche du système SSB® est localisée en Baie de St-Paul (BSP), dans la ville de St-Paul sur la côte Ouest de la Réunion, dans l'océan Indien ([ERREUR ! SOURCE DU RENVOI INTROUVABLE.FIGURE-6](#)).

Le système a été installé à 200m de la cote, à l'ouest de la baie, entre le 15 janvier et le 9 février 2019 et est positionné à 6,5m de profondeur sur un substrat constitué de sable noir détritique terrigène.

Les coordonnées géographiques de chaque angle et du centre du système ont été relevés à l'aide d'un GPS portatif en surface, sur le bateau de support plongeur (

TABLEAU 1: COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES ANGLES ET DU CENTRE DU DISPOSITIF SSB EN BAIE DE SAINT-PAUL.

REF	COORDONEES	
	LATITUDE	LONGITUDE
NNW	21°0.436'S	55°18.999'E
NNE	21°0.436'S	55°16.008'E
SSW	21°0.446'S	55°16.000'E
SSE	21°0.444'S	55°16.010'E
CENTRE	21°0.440'S	55°16.005'E

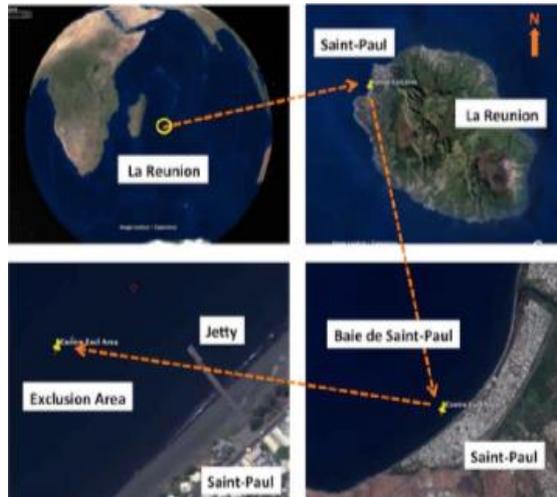


FIGURE 6: LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU DISPOSITIF « SHARKSAFE BARRIER ». LA REUNION EST UNE ILE LOCALISEE A L'OUEST DE L'OCEAN INDIEN (IMAGE EN HAUT A GAUCHE), LA VILLE DE ST-PAUL SE SITUE SUR LA COTE OUEST DE L'ILE (EN HAUT A DROITE). LE SYSTEME D'EXCLUSION EST SITUE A L'OUEST DE LA BAIE DE ST PAUL (EN BAS A DROITE) PLUS EXACTEMENT A GAUCHE DU DEBARCADERE (EN BAS A GAUCHE) (RAPPORT TECHNIQUE SHARKSAFE BARRIER EN BAIE DE ST-PAUL, REUNION).

[TABLEAU 1](#)).



le cnam
intechmer

TABLEAU 1: COORDONNEES GEOGRAPHIQUES
DES ANGLES ET DU CENTRE DU DISPOSITIF
SSB EN BAIE DE SAINT-PAUL.

REF	COORDONNEES	
	LATITUDE	LONGITUDE
NNW	21°0.436'S	55°18.999'E
NNE	21°0.436'S	55°16.008'E
SSW	21°0.446'S	55°16.000'E
SSE	21°0.444'S	55°16.010'E
CENTRE	21°0.440'S	55°16.005'E

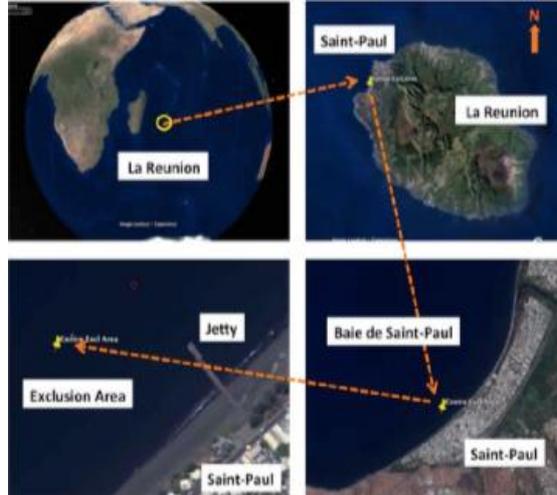


FIGURE 6: LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU DISPOSITIF « SHARKSAFE BARRIER ». LA REUNION EST UNE ILE LOCALISEE A L'OUEST DE L'OCEAN INDIEN (IMAGE EN HAUT A GAUCHE), LA VILLE DE ST-PAUL SE SITUE SUR LA COTE OUEST DE L'ILE (EN HAUT A DROITE). LE SYSTEME D'EXCLUSION EST SITUE A L'OUEST DE LA BAIE DE ST PAUL (EN BAS A DROITE) PLUS EXACTEMENT A GAUCHE DU DEBARCADERE (EN BAS A GAUCHE) (RAPPORT TECHNIQUE SHARKSAFE BARRIER EN BAIE DE ST-PAUL, REUNION).

La zone sélectionnée pour réaliser l'expérimentation de SSB® (la Baie de St-Paul) correspond à une zone de forte activité de pêche commerciale traditionnelle qui a confirmé dans le passé la présence des requins bouledogue et tigre (FIGURE 6 FIGURE-7) (Programme CHARC – Connaissance de l'écologie et de l'Habitat de deux espèces de Requins Côtiers sur la côte ouest de la Réunion - , Soria *et al.*, 2015).

Commenté [MH4]: Peut être mettre la référence du programme Charc pour cette partie qui confirme la présence des squales dans cette zone pendant le programme de marquage

Ecologie comportementale des requins bouledogue (*Carcharhinus leucas*) sur les côtes de La Réunion. Blaison 2017: Les requins bouledogue adultes

La représentation graphique des différentes variables selon le critère côte/large met en évidence la présence de valeurs extrêmes pour chaque variable (Figure 27). Plusieurs zones semblent avoir des caractéristiques particulières, indépendamment du critère côte/large (Annexe 2) : la zone côtière de Sainte-Marie (STMARIE), l'embouchure de la rivière des Galets dans la baie de Saint-Paul (RIVDGAL) et la zone au large de Saint-Pierre (CM-LSP) ont des indices de fréquentation très forts



le cnam
intechmer

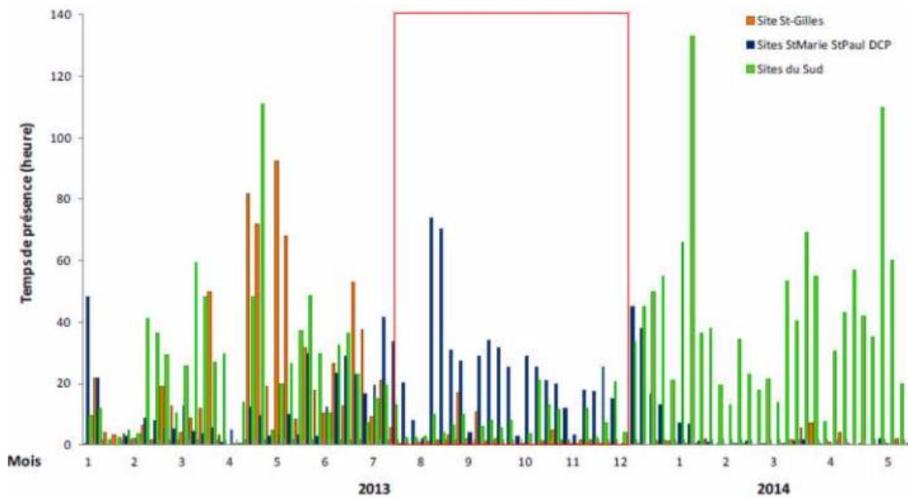


FIGURE 67: TEMPS DE PRESENCE DES REQUINS BOULEDOGUE MESURE SUR PLUSIEURS ANNEES AU COURS DU PROGRAMME CHARC SUR TROIS SITES (BAIE DE ST-PAUL, ST-GILLES ET DANS LE SUD). LES RESULTATS INDIQUENT UNE FORTE SAISONNALITE AU NIVEAU DU SITE DE ST-PAUL (BLEU) ENTRE AOUT ET JANVIER (PROGRAMME CHARC, SORIA ET AL., 2015)

B. STRUCTURE DU DISPOSITIF « SHARKSAFE BARRIER »

1. Structure générale du dispositif

La barrière se présente sous la forme d'un carré³ de dimension interne de 10m x 10m.

Elle est constituée de trois rangées parallèles et espacées les unes des autres de 75cm. Chaque barrière est constituée de tubes verticaux qui s'étendent dans la colonne d'eau, du substrat sableux jusqu'au-dessus de la surface de l'eau (1m au-dessus de la surface environ).

La rangée externe de la barrière est composée de 100 unités fonctionnelles électromagnétiques ou non ; les deux autres rangées représentent, à elles deux, 100 unités fonctionnelles non électromagnétiques (FIGURE 7 FIGURE 8).

Quatre bouées reliées entre elles par une corde et ancrées sur le fond ont été disposées autour du système SSB[®] afin de garantir l'intégrité du système dans le temps et d'éviter toutes perturbations extérieures (intrusion de bateau dans le système SSB[®], chasse ou plongée sous-marine).

³ Se conférer à l'image de couverture.

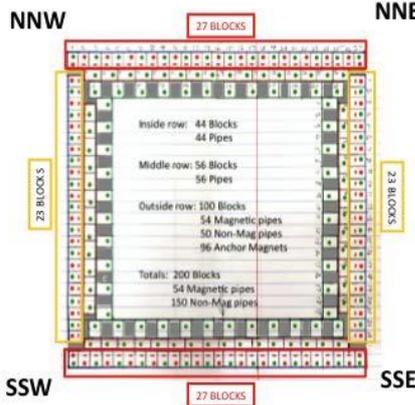


FIGURE 78: ILLUSTRATION REPRESENTATIVE DE LA STRUCTURE DU SYSTEME SSB[®], ORIENTATION DES ANGLES ET PHOTOGRAPHIE DES AIMANTS D'ANCRAGE. LA RANGEE EXTERNE EST COMPOSEE DE 100 UNITES FONCTIONNELLES (2 COTES DE 27 UNITES ET 2 COTES DE 23 UNITES) ; LA RANGEE INTERMEDIAIRE EST COMPOSEE DE 56 UNITES FONCTIONNELLES ET LA RANGEE INTERNE EST COMPOSEE DE 44 UNITES FONCTIONNELLES. CHAQUE UNITE FONCTIONNELLE EST COMPOSEE D'UN BLOC ET D'UN TUBE, ET AU NIVEAU DE LA RANGEE EXTERNE, DES AIMANTS ADDITIONNELS SONT DISPOSES SUR LES BLOCS. (RAPPORT TECHNIQUE SHARKSAFE BARRIER EN BAIE DE ST-PAUL, REUNION)

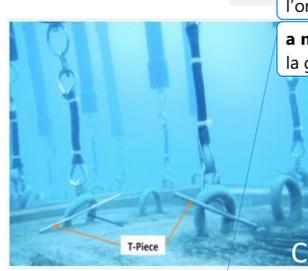
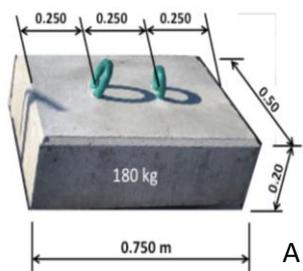
Commenté [MH5]: Insert le mois et l'année

2. Organisation des unités fonctionnelles du dispositif

Le dispositif installé à St-Paul est composé de 200 unités fonctionnelles formant les trois rangées du système. Chaque unité fonctionnelle est constituée de :

- Un bloc d'ancrage en béton qui présente une masse de 180 kg et une dimension de 0,5m x 0,75m x 0,20m. Cette partie des unités fonctionnelles a été manufacturée par la société SCPR (<http://scpr.re/>, consulté le 20.05.19) à la Réunion (

a mis en forme : Référence légère, Police :Gras, Vérifier l'orthographe et la grammaire



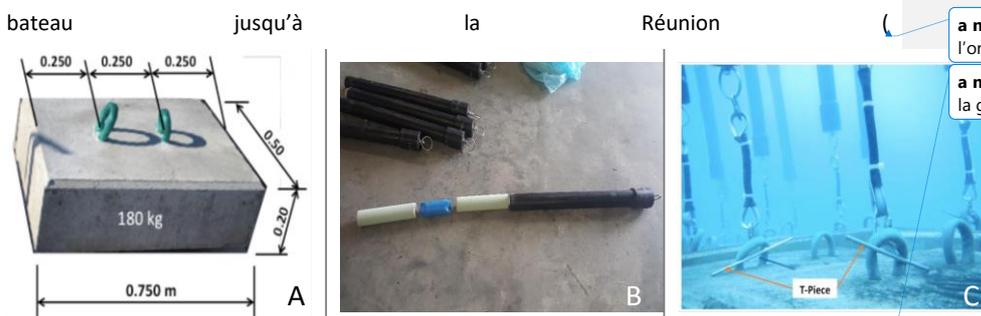
a mis en forme : Police :Gras, Vérifier l'orthographe et la grammaire



FIGURE 8 (A).

Un tube en PeHD constitué de deux parties plastiques rattachées par une corde en nylon, permettant les mouvements ondulatoires des unités soumises à la houle. Au total, le système présente 146 tubes non magnétiques et 54 tubes magnétiques de type 1 et de type 2. Les tubes magnétiques ont une masse de 15kg et les tubes non magnétiques de 8kg, pour une hauteur totale de 7m. Ils ont été manufacturés au Cap (Afrique du Sud) puis transportés en bateau jusqu'à la Réunion

a mis en forme : Paragraphe de liste, Gauche, Interligne : simple, Avec puces + Niveau : 1 + Alignement : 1,27 cm + Retrait : 1,9 cm, Pas de



a mis en forme : Référence légère, Police :Gras, Vérifier l'orthographe et la grammaire

a mis en forme : Police :Gras, Vérifier l'orthographe et la grammaire

FIGURE 8 (B).

Une « pièce en T » qui permet de rattacher le tube au corps mort et de former l'unité fonctionnelle du dispositif

a mis en forme : Référence légère, Police :Gras, Vérifier l'orthographe et la grammaire

a mis en forme : Police :Gras, Vérifier l'orthographe et la grammaire



FIGURE 8 (C).



FIGURE 89: DIFFERENTS COMPOSANTS D'UNE UNITE FONCTIONNELLE. (A) POIDS ET DIMENSION D'UN BLOC D'ENCRAGE ; (B) PHOTOGRAPHIE D'UN TUBE EN PEHD, COMPOSE DE MOUSSE ET D'UN AIMANT (EN BLEU) ; (C) PHOTOGRAPHIE D'UNE « PIECE EN T » RATTACHANT LES DEUX ELEMENTS PRECEDENTS (RAPPORT TECHNIQUE SHARKSAFE BARRIER EN BAIE DE ST-PAUL, REUNION).

Commenté [MH6]: Date i.e mois et année

3. Spécificités électromagnétiques de la rangée externe de la barrière SSB[®]

Le long de la rangée externe, des unités fonctionnelles magnétiques de type 1 et de type 2 sont successivement déployées avec un espacement de 1m, équivalant au rayon du champ d'induction électromagnétique de chaque aimant. Une unité non magnétique est insérée entre chaque unité magnétique pour optimiser la barrière visuelle ; la rangée externe du dispositif est donc constituée d'une alternance d'unités magnétiques (type 1 ou type 2) et d'unités non magnétiques avec un espacement de 50cm entre chaque tube (FIGURE 9FIGURE 10).

La différence structurale entre les tubes magnétiques de type 1 et ceux de type 2 garantit l'absence de lacune/vide électromagnétique dans l'ensemble de la barrière. Des aimants additionnels sont également disposés sur les blocs de la rangée externe pour éviter un manque d'induction électromagnétique à la base de l'édifice.

Les deux rangées internes qui composent le système SSB[®] sont constitués de tubes verticaux non magnétiques, qui garantissent un stimulus visuel optimal (bio-mimétisme : forêt de kelps) dans le but de créer des effets visuels et physiques, répulsifs contre les requins.

Soumis aux marées et aux variations de la houle, le système oscille dans le milieu marin et un phénomène semblable à une danse est observé.

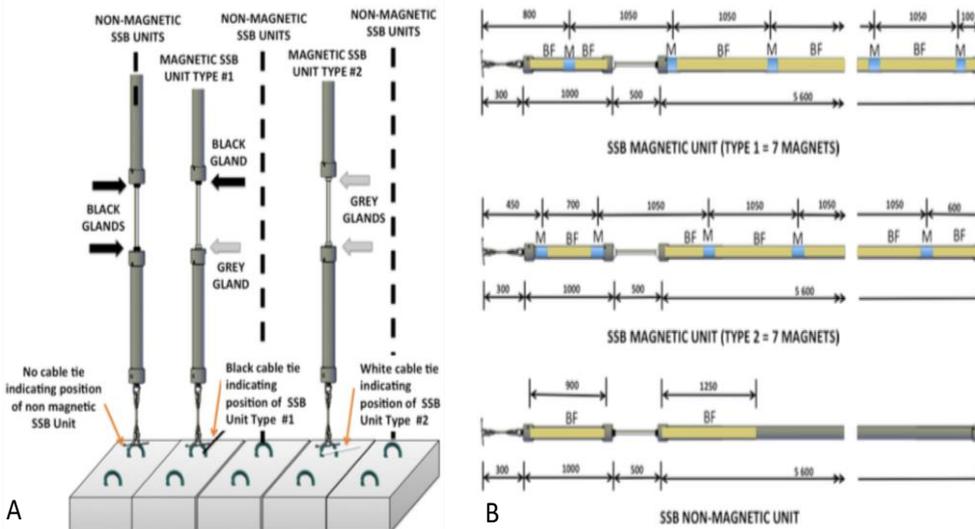


FIGURE 940: STRUCTURES DE LA RANGEE EXTERNE DU DISPOSITIF SSB® (A) ET DES TROIS DIFFERENTS TYPES DE TUBES CONSTITUANT LES UNITES FONCTIONNELLES (TYPE 1, TYPE 2 ET TUBE NON MAGNETIQUE) (B). (A) POUR RECONNAITRE CHAQUE TUBE QUI COMPOSE LA BARRIERE EXTERNE, UN CODE COULEUR EST UTILISE SUR LE TUBE ET SUR LA « PIECE EN T » : _DEUX MARQUES NOIRS AINSI QUE L'ABSENCE DE CABLE SUR LA PIECE EN T CORRESPONDENT AUX UNITES NON ELECTROMAGNETIQUES ; _UNE MARQUE NOIR ET UNE MARQUE BLANCHE SUR LE TUBE ASSOCIEES A UN CABLE NOIR AU NIVEAU DE LA PIECE EN T CORRESPONDENT A UNE UNITE ELECTROMAGNETIQUE DE TYPE 1 ; _DEUX MARQUES BLANCHES ASSOCIEES A UN CABLE BLANC CORRESPONDENT A UNE UNITE ELECTROMAGNETIQUE DE TYPE 2. (B) LES UNITES DE TYPE 1 ET DE TYPE 2 SONT CONSTITUEES DE 7 AIMANTS EN CERAMIQUE DE FERRITE DE BARRIUM (BAFe12O19) QUI SONT DISPOSES DE FAÇON A CE QUE LES UNITES 1 ET 2 SOIENT COMPLEMENTAIRES L'UNE DE L'AUTRES ET GARANTISSENT UNE INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE TOTALE, DANS UN RAYON DE 50 CM, SUR TOUTE LA SURFACE DE LA BARRIERE EXTERNE (M = MAGNET - AIMANT ; BF = BUOYANCY FOAM – MOUSSE) (RAPPORT TECHNIQUE SHARKSAFE BARRIER EN BAIE DE ST-PAUL, REUNION).

C. Protocole du stimulus olfactif des requins

Dans le but d'entraîner des interactions entre la barrière et les requins, un stimulus olfactif est mis en place pour chaque expérimentation : un appât est préparé puis placé dans une cage (un tambour de machine à laver) au centre du système SSB®. La cage est maintenue au milieu de la colonne d'eau entre un corps mort et une bouée de surface ; elle est en permanence en mouvement grâce à l'effet ondulatoire de la houle (Annexe 3).

Les requins sont attirés par la plume olfactive qui se dégage de l'appât, mais ils ne peuvent pas le consommer car la matière organique est enfermée⁴ dans la cage.

Le poisson utilisé comme appât est la Bonite à ventre rayé (*Euthynnus affinis* – Cantor 1849), les thonidés exploités pour les expérimentations sont fournis par la société RéuniPêche (<http://www.reunimer.com>, consulté le 20.05.19) et sont conservés au congélateur du CRA.

⁴ Contrairement au shark feeding qui potentiellement modifie le comportement des squales.



le cnam
intechmer

Différentes sortes d'appâts sont testés au cours des expérimentations :

- Des bonites entières et congelées qui sont coupées en morceaux et lacérées juste avant d'être introduites dans la cage.
- Environ 500g de « broyat de poisson » constitué de bonite broyée au mixeur et d'huile de sardine (0,5L pour 2 kg de chair de poisson), congelé dans une demi-bouteille en plastique.
- Des bonites entières congelées et une demi-bouteille du broyat de poisson.

La congélation des appâts garantit une diffusion de la plume olfactive plus longue dans le temps et optimise l'efficacité du stimulus pour permettre des interactions entre les requins et la barrière.

Le CRA possède les autorisations environnementales et juridiques pour réaliser les expérimentations d'attraction olfactive des requins en BSP le lundi et le mardi uniquement, en début de semaine où la fréquentation de cette zone par les usagers de la mer est minime.

D. Procédure de collecte de données sous-marine

Un système d'enregistrement vidéo des données sous-marines a été mis en place pour observer les interactions de la barrière SSB[®] avec l'environnement marin et de vérifier son efficacité répulsive ciblée sur les requins.

1. Instrument d'enregistrement vidéo des données sous-marines

Pour réaliser l'enregistrement des données vidéo sous-marines, des « GoPro5 » associées à des batteries externes additionnelles (Modèle : FLW501, Capacité : 2300 mAh) dans des caissons étanches (40 m) sont utilisées ([FIGURE 10](#)~~FIGURE 11~~).

Les supports des caméras sont en forme de « T inversé » : ils sont constitués d'une structure en plastique sur laquelle est attachée la fixation de la caméra. Ils reposent sur un plomb rectangulaire fixé à la base du support pour assurer la stabilité du système dans le sédiment.

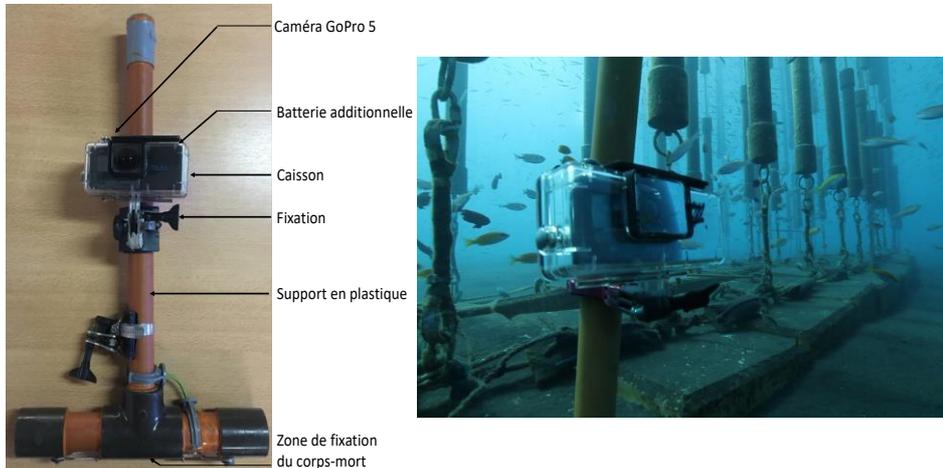


FIGURE 1011: APPAREIL MANUFACTURE PERMETTANT L'ENREGISTREMENT DES DONNEES SOUS-MARINE AU NIVEAU DE LA BARRIERE SSB® (GAUCHE) ET PHOTOGRAPHIE D'UNE CAMERA IMMERGEE AU NIVEAU DU SYSTEME SSB® (DROITE). LA CAMERA GOPRO ET SA BATTERIE ADDITIONNELLE SONT FIXEES SUR UN SUPPORT EN PLASTIQUE LUI-MEME RATTACHE A UN PLOMB (NON PRESENT SUR LA PHOTOGRAPHIE) (N.CHABRIER 25.04.19).

Chaque caméra est réglée en mode « Vidéo ». Le champ de vision est en « Superview » (grand angle) pour observer l'ensemble de la colonne d'eau (du substrat à la surface) et l'angle de vue de la caméra est de 173° (non représentatif sur la [figure 11](#) [Figure 12](#)). La résolution d'image est au minimum (720 p ou 1080 p), le but étant de garantir une durée d'enregistrement maximale, les cartes utilisées comprennent 16 gB, 32 gB ou 164 gB de mémoire.

a mis en forme : Police par défaut, Police :Non Gras

2. Dispositions des caméras sous-marines

Deux dispositions de caméras ont été expérimentées afin d'optimiser l'enregistrement des interactions des requins avec le système SSB® ([FIGURE 11](#) [FIGURE 12](#)) :

a mis en forme : Police :Non Gras

- La disposition n°1 qui consiste à placer deux caméras au niveau de deux angles opposés, à l'extérieur du système. Les caméras sont chacune orientée parallèlement à un coté de chaque angle. Elles sont orientées de façon à filmer la rangée externe de la barrière ainsi que l'écosystème environnant direct (environ 5 m) autour du dispositif SSB®.
- La disposition n°2 consiste à placer une caméra au milieu de chaque côté, orientée vers l'extérieur du dispositif, dos à la rangée externe, pour optimiser la profondeur de champ des enregistrements et pour pouvoir ainsi observer des requins naviguant à proximité moins direct (>10 m) du système.



le cnam
intechmer

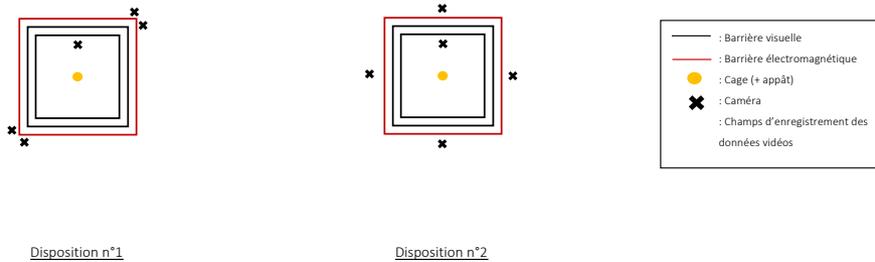


FIGURE 1112: SCHEMA REPRESENTATIF DES DIFFERENTES DISPOSITIONS DES CAMERAS COLLECTANT LES DONNEES SOUS-MARINE AUTOUR DE SSB[®]. L'ANGLE DU CHAMP D'ENREGISTREMENT SUR LE SCHEMA (90°) N'EST PAS REPRESENTATIF DE LA REALITE (173°), LES ANGLES MORTS (EN BLANC SUR LE SCHEMA) SONT INFÉRIEURS DANS LA REALITE.

Une caméra est systématiquement installée au centre du système pour enregistrer les organismes marins qui évoluent autour de la cage à appâts.

3. Récolte et analyse des données

Pour deux jours d'observation, 20 caméras sont nécessaires à raison de 5 caméras par session d'enregistrement, d'environ 4h chacune, deux fois par jour. Une journée de manipulation correspond à 8h consécutive d'archivage de données sous-marines par zone d'enregistrement (sans compter le changement des caméras).

La session du lundi a lieu de 6h30 à 14h30 environ pour enregistrer l'aube et la session du mardi a lieu de 14h à 22h environ pour enregistrer le crépuscule. Les caméras sont paramétrées sur le bateau de recherche puis elles sont installées manuellement sur SSB[®] en plongée bouteille ou en Palmes Masque Tuba (PMT). Un Chef d'Opération Hyperbare (COH) est systématiquement présent en surface pour assurer la surveillance des opérations. À chaque enregistrement réalisé, les paramètres physiques (marée, houle, turbidité) sont relevés, la turbidité est mesurée en utilisant les tubes de la rangée interne (via la caméra centrale) comme point de référence (Annexe 4).

Les enregistrements obtenus sont ensuite sauvegardés par date, dans le réseau numérique commun du centre, puis ils sont analysés en accéléré (x5) via un logiciel de traitement vidéo, « VLC Média Player »

(FIGURE 12FIGURE 13).



le cnam
intechmer

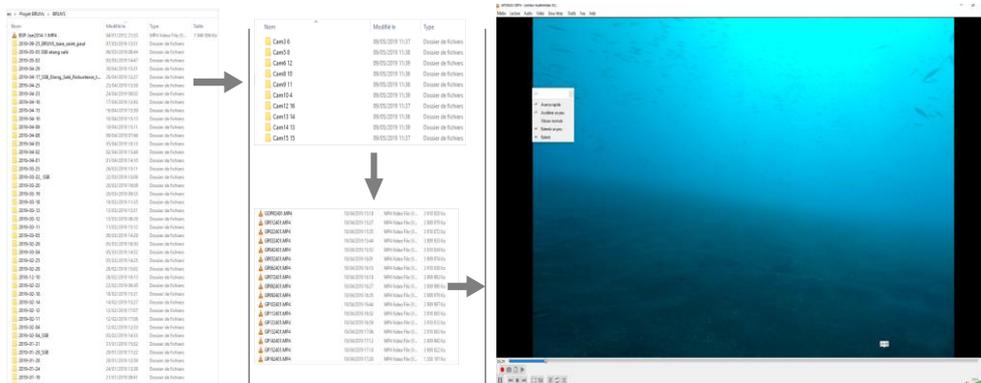


FIGURE 1243: ILLUSTRATION DES FICHIERS CONTENANT LES ENREGISTREMENTS VIDEO ET DE LA PROCEDURE A SUIVRE POUR ANALYSER EN ACCELERE LES VIDEOS ENREGISTREES. A GAUCHE, LES FICHIERS TRIES PAR DATE ET PAR NUMERO DE CAMERA ET A DROITE, ANALYSE VIDEO AVEC L'ENCADRE BLANC POUR CONTROLER LA VITESSE DE VISIONNAGE.

En vue de vérifier l'impact écologique de la barrière dans l'environnement marin, les téléostéens prédateurs observés autour ou dans le système SSB® sont recensés lors des analyses des enregistrements vidéo.

Afin de mesurer l'abondance de ces espèces, les analyses statistiques se basent sur un indice relatif comparable à la Capture Par Unité d'Effort (CPUE – Catch Per Unit Effort, exprimée en kg/h), appelée « Observation par Unité d'Effort » (OPUE). L'OPUE se définit par le nombre maximal d'individus d'une même espèce observée simultanément par unité d'effort ; ici, une unité d'effort correspond à une heure. Cette unité s'exprime en nombre d'individu/heure. Une OPUE stable se traduit par la présence constante d'une espèce dans un milieu ; mais une variation de l'OPUE exprime une variation de l'abondance de celle-ci, et donc une modification comportementale pouvant être potentiellement induite par la présence du dispositif SSB®.

Étant donné qu'il est très difficile de distinguer deux individus d'une même espèce entre eux, c'est le nombre d'individu maximal observé simultanément pour chaque espèce qui est le paramètre pris en compte pour les analyses statistiques. Par exemple, il est possible de constater plusieurs passages d'une carangue grosse tête (*Caranx ignobilis* – Forsskål, 1775) sans pour autant savoir s'il s'agit du même individu ou non ; l'observation simultanée de deux carangues grosse-tête est le seul moyen de certifier de la présence de deux individus distincts de la même espèce, et donc d'estimer l'abondance de cette espèce.



le cnam
intechmer

Résultats :

Entre février et mai 2019, 29 sorties en mer ont été réalisées, dont 18 le matin (lundi) et 11 le soir (mardi). Au total, 135 caméras ont été déployées et 527 heures de vidéo sous-marines ont été enregistrées et analysées (Annexe 5).

A. Interaction entre la « SharkSafe Barrier » et les chondrychthyens

Au cours des enregistrements réalisés à l'extérieur et à l'intérieur du système SSB[®] pendant 4 mois, aucun requin n'a encore été observé au niveau de SSB[®], quelle que soit l'espèce.

Commenté [MCILRP7]: C'est con ça :P

Le 18 mars 2019, une interaction entre la barrière et une raie pastenague violette (*Pteroplatytrygon violacea* – Bonaparte, 1832) a été enregistrée dans l'après-midi : la raie attirée par la plume olfactive de l'appât, s'est dirigée directement vers le dispositif puis a réalisé un virage à 180° lorsqu'elle a atteint la barrière (la rangée externe, électromagnétique) (Annexe 6). Le lundi 29 avril 2019, le passage d'une raie aigle (*Myliobatis aquila* – Linnaeus, 1758) a été enregistré à proximité du système SSB[®]. Jusqu'à présent, ce sont les seuls chondrichthyens observés autour du dispositif « SharkSafe Barrier » installé en BSP.

Une autre raie (*Dasyatis thetidis* – Ogilby 1899) a été enregistrée de nuit le 8 avril 2019, à proximité moins directe de la barrière, par une BRUV connectée à un éclairage, disposée à quelques mètres du système ; ce passage ne correspond pas à une interaction avec le système SSB[®] car l'animal était attiré par l'appât introduit dans la BRUV et non par celui dans le système.

Le 21 mai 2019 au matin, des grands dauphins commun de l'Océan Indien (*Tursiops aduncus* – Ehrenberg, 1833) ont été enregistrés en train de nager à proximité du système, ce sont les premiers mammifères marins observés au niveau du dispositif SSB[®] installé en BSP. Ceux-ci ont régulièrement été observés tôt le matin lors des sorties terrain, aux alentours du dispositif, nageant à proximité des pêcheurs locaux.

B. Impact écologique de la « SharkSafe Barrier »

1. Le biofouling colonisant les unités fonctionnelles

Au cours du temps, les unités fonctionnelles de SSB[®] sont recouvertes par des organismes tels que des algues filamenteuses, des anatifes (crustacés cirripèdes pédonculés) ou des hydrozoaires (Annexe 7). Le biofouling formé au cours des quatre mois d'analyse n'influence visiblement pas la flottabilité des tubes ni l'électromagnétisme de la barrière.



2. Présence de l'ensemble de la chaîne trophique

Lors des immersions dans le système SSB® pour la mise en place ou le relevage des caméras, l'ensemble de la chaîne trophique a été observé : des producteurs primaires (les algues sur les unités fonctionnelles), des consommateurs primaires (herbivores) et des consommateurs secondaires (carnivores) sont présents au niveau du système SSB® (Annexe 8).

D'importants bancs de petits poissons demersaux tels que des « pêche-cavales » (*Selar crumenophthalmus* – Bloch 1793), des « capucins » (*Upeneus vittatus* – Forsskål 1775) ou encore des « bancloche » (*Decapterus macarellus* – Cuvier 1833) sont quasi-systématiquement observés à l'intérieur ou à l'extérieur des barrières (Annexe 9), ainsi que de nombreux juvéniles de poisson comme des carangues (Carangidae) ou des balistes (Balistidae).

3. Inventaire des prédateurs recensés

Au cours des analyses vidéo, un inventaire des téléostéens prédateurs observés au niveau de SSB® a été réalisé : le nombre de passages et le nombre maximal d'individus de la même espèce sont relevés pour les 4 mois d'expérimentation (527 heures) pour chaque espèce recensée (

a mis en forme : Police :Non Gras

[TABLEAU 1](#)[TABLEAU 2](#)). Seules les espèces dont plus de 20 individus ont été distingués au cours des 4 mois d'expérimentation sont pris en compte (en jaune dans le tableau) pour réaliser des analyses statistiques fiables. Par exemple, 32 individus de bonite ont été dénombrés au cours de l'étude bien qu'ils soient passés seulement 25 fois devant les caméras.



TABLEAU 12: LISTE DES TELEOSTEENS PREDATEURS RECENCES DANS LES ENREGISTREMENTS VIDEOS A L'EXTERIEUR ET A L'INTERIEUR DU DISPOSITIF SSB®

Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèce	Nom vernaculaire	Nombre de passage total	Fréquentation max totale	
Actinopterygii	Aulopiforme	Synodontidae	Synodus	<i>Synodus sp.</i>	Poisson lézard	6	6	
		Perciforme	Carangidae	Caranx	<i>Caranx sp.</i>	Carangue	1328	329
				<i>Caranx ignobilis</i>	Carangue grosse tête	54	9	
	Scomberoides			<i>Scomberoides lysan</i>	Sabre sauteur	392	115	
		Ephippidae	Platax	<i>Platax orbicularis</i>	Platax orbiculaire	13	22	
	<i>Platax teira</i>			Platax à longues nageoires	2	18		
		Scombridae	Euthynnus	<i>Euthynnus affinis</i>	Bonite à ventre rayé	25	32	
		Serranidae	Epinephelus	<i>Epinephelus sp.</i>	Mérou gateau de cire	6	6	
	<i>Epinephelus flavocaeruleus</i>			Mérou faraud	231	23		
		Pleuronectiforme	Bothidae	Bothus	<i>Bothus mancus</i>	Turbot tropical	3	3
		Scorpaeniforme	Dactylopteridae	Dactyloptena	<i>Dactyloptena orientalis</i>	Grondin volant oriental	6	2
		Tetraodontiforme	Scorpaenidae	Pterois	<i>Pterois miles</i>	Rascasse volante	127	34
			Balistidae	Balistoidea	<i>Balistoidea viridescens</i>	Baliste titan	101	38
			Diodontidae	Chilomycterus	<i>Chilomycterus reticulatus</i>	Diodon tacheté	201	62
				Diodon	<i>Diodon holocanthus</i>	Porc-épic ballon	26	12
			Tetraodontidae	Arothron	<i>Arothron mappa</i>	Poisson ballon griffonné	1	1
Elasmobranchii	Myliobatiforme	Dasyatidae	Pteroplatytrigon	<i>Pteroplatytrigon violacea</i>	Raie pastenague violette	1	1	
Mammalia	Cetacea	Myliobatidae	Myliobatis	<i>Myliobatis aquila</i>	Aigle de mer	1	1	
		Delphinidae	Tursiops	<i>Tursiops aduncus</i>	Grand dauphin de l'Océan Indien	3	7	

Des questions statistiques sont posées pour vérifier si le dispositif SSB® impact l'écosystème marin côtier au cours du temps :

- Existe-il une différence de fréquentation et de diversité ichthyologique à l'intérieur et à l'extérieur de la barrière ? (Analyse spatiale)



- Existe-il une variation de fréquentation des espèces observées au cours du temps ? (Analyse temporelle)

4. Analyse spatiale

Les OPUE des espèces sélectionnées pour réaliser les tests statistiques sont calculées pour chaque côté de la partie externe de la barrière ainsi que pour l'intérieur, à partir de la durée totale d'enregistrement respectifs de chaque zone d'enregistrement (tableau 3).

TABLEAU 3 : DUREE TOTALE CUMULEE DES ENREGISTREMENT PAR COTE

	C1 (SSE)	C2 (SSW)	C3 (NNW)	C4 (NNE)	Centre
Temps d'enregistrement cumulé (hh:mm')	100:19'	110:19'	100:08'	113:39'	103:08'

Pour vérifier si la barrière influence l'abondance et la diversité des espèces de prédateurs observés, les OPUE mesurées par les enregistrements internes (caméra centrale) sont comparés avec ceux des enregistrements externes (caméras des côtés). Ainsi, il est possible de savoir statistiquement s'il existe une différence de fréquentation des espèces analysées à l'intérieur et à l'extérieur du dispositif (Figure 14).

Pour chaque espèce, la moyenne (et les écarts-types) des OPUE externes (C1, C2, C3 et C4) est calculée pour réaliser une comparaison globale entre les données internes et l'ensemble des données externes.

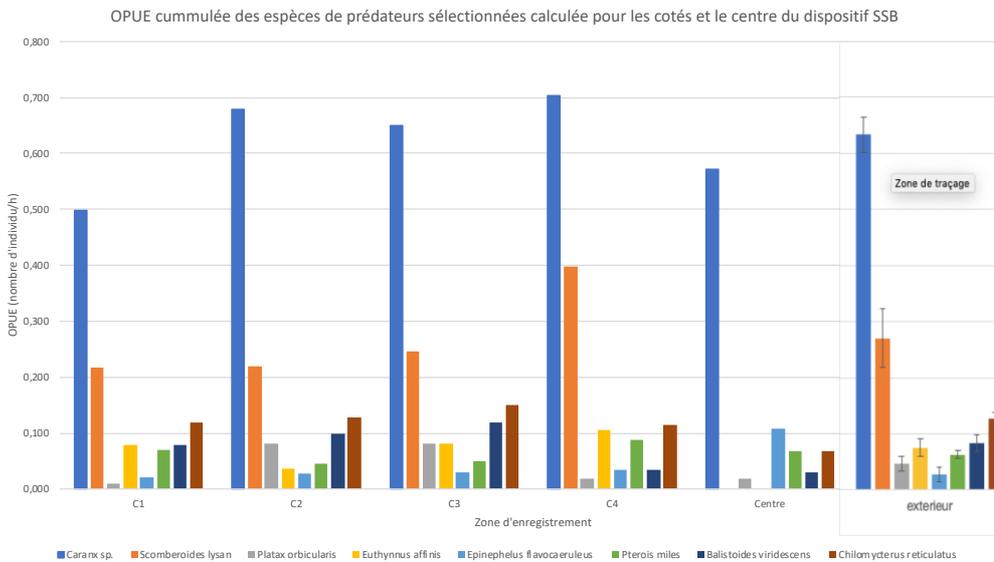




FIGURE 14 : ANALYSE SPATIALE DE LA DIVERSITE ET DE L'ABONDANCE DE TELEOSTEENS PREDATEURS OBSERVEE AU NIVEAU DU DISPOSITIF SSB[®]. REPRESENTATION GRAPHIQUE DES OPUE CUMULEES (AU COURS DES 4 MOIS D'EXPERIMENTATION) POUR CHAQUE ESPECE DE PREDATEUR ANALYSE EN FONCTION DE LA ZONE D'ENREGISTREMENT. A L'EXTREME DROITE DU GRAPHIQUE, LA MOYENNE DES OPUE DE CHAQUE ESPECES MESUREE POUR LES COTES EXTERNES (C1 A C4) DU DISPOSITIF EST REPRESENTEE POUR COMPARER PLUS FACILEMENT LES DONNEES ACQUISES A L'INTERIEUR ET A L'EXTERIEUR DU DISPOSITIF.

Les espèces dont le plus grand nombre d'individus a été dénombré au niveau du dispositif sont les carangues et les sabres sauteur (*Scomberoides lysan* - Forsskål, 1775).

D'après les analyses statistiques réalisées, certaines espèces sont observées exclusivement à l'extérieur du dispositif : *Scomberoides lysan* ; *Euthynnus affinis*. D'autres prédateurs sont observés à l'extérieur et à l'intérieur du dispositif, avec une plus forte fréquentation au niveau de la partie externe : *Caranx sp.* ; *Chilomycterus reticulatus* – Linnaeus, 1758 ; *Platax orbicularis* - Forsskål, 1775 ; *Balistoides viridescens* – Bloch and Schneider, 1801. Enfin, certaines espèces privilégient l'intérieur du dispositif : *Pterois miles* – J.W. Bennett, 1828 ; *Epinephelus flavoceruleus* – Lacépède, 1802.

5. Analyse temporelle

Pour cette analyse, les OPUE sont fonction du temps d'enregistrement par mois (tableau 4), tous côtés confondus. Afin de suivre l'évolution temporelle de l'abondance et de la diversité des prédateurs recensés au niveau de SSB[®], les OPUE des espèces analysées sont comparées entre chaque mois de l'expérimentation. Une hausse de l'OPUE d'une espèce au cours du temps signifie une augmentation du nombre d'individus observés et donc une abondance croissante. Une baisse de l'OPUE signifie une diminution de la fréquentation d'une espèce et une OPUE stable indique l'absence de variation de la fréquence de celle-ci dans un milieu (Figure 15).

TABEAU 4 : DUREE TOTALE CUMULEE DES ENREGISTREMENT PAR MOIS, TOUTES CAMERAS CONFONDUES

	Février	Mars	Avril	Mai
Temps d'enregistrement cumulé (hh:mm')	124:58'	148:35'	200:31'	53:23'



le cnam
intechmer

OPUE cumulée pour chaque espèce analysée en fonction du mois, tous cotés confondus

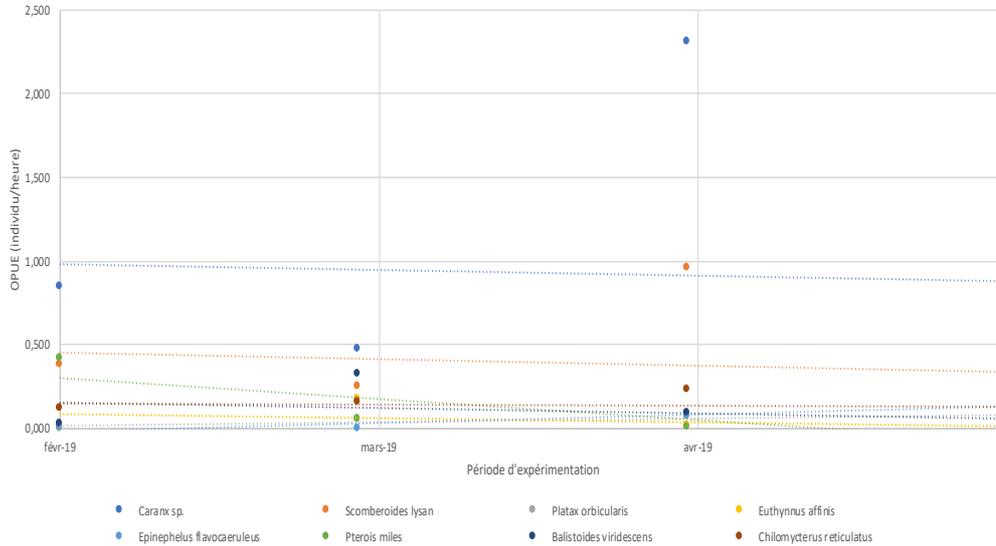


FIGURE 15 : ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA FREQUENTATION DES ESPECES DE PREDATEURS CIBLEES AU NIVEAU DU DISPOSITIF SSB®. REPRESENTATION GRAPHIQUE DES OPUE CUMULEES TOUS COTES CONFONDUS POUR CHAQUE ESPECE DE PREDATEUR ANALYSE ET LEURS COURBES DE TENDANCE RESPECTIVES EN FONCTION DE LA PERIODE D'EXPERIMENTATION (FEVRIER-MAI).

Graphiquement, les espèces pour lesquelles la fréquentation est légèrement décroissante avec le temps sont : *Caranx sp.* ; *Scomberoides lysan* ; *Euthynnus affinis* ; *Pterois miles*. D'autres espèces sont présentes de façon constante au niveau du dispositif, comme *Balistoides viridescens* ou *Chilomycterus reticulatus*. Enfin, les analyses réalisées semblent montrer une fréquentation légèrement croissante au cours du temps pour *Epinephelus flavocaeruleus* ou *Platax orbicularis*.

Quelle que soit l'espèce, il n'y a pas de différence majeure de fréquentation en fonction du temps, la faiblesse de la pente de la courbe de tendance relative à chaque espèce traduit une variation infime de la fréquentation de celles-ci au niveau de SSB®.



le cnam
intechmer

Discussions :

A. Absence d'interaction entre la « SharkSafe Barrier » et les requins

Entre février et avril 2019, aucune interaction n'a eu lieu entre le dispositif SSB® et les espèces ciblées : les requins bouledogue et les requins tigre. Ce résultat peut se justifier par différentes conditions détaillées ci-dessous.

1. Présence de pêcheurs

La Baie de St-Paul est une zone fortement fréquentée par les pêcheurs traditionnels, qui y exploitent les ressources de pêche-cavales ou de capucins. La concentration de ces espèces au niveau du dispositif SSB® entraîne la présence quasi-quotidienne des pêcheurs locaux autour du système malgré les balises de sécurité installées. L'importante activité des pêcheurs autour du dispositif entraîne une forte nuisance sonore qui peut avoir comme conséquence de repousser les squales loin de la zone d'étude.

2. Positionnement de la zone d'étude

Le dispositif « SharkSafe Barrier » est installé à 200m du rivage en Baie de St-Paul, à une profondeur de 6,5 m. Bien que les requins bouledogue fréquentent les milieux côtiers à proximité directs du bord dans une très faible masse d'eau, la zone d'étude reste potentiellement trop proche du littoral pour garantir des interactions régulières entre la barrière et les squales. Les requins tigre quant à eux privilégient les zones plus profondes et plus au large comme milieu de vie ; la profondeur de la zone d'étude ne semble pas suffisante pour garantir des interactions avec cette espèce (programme CHARC – Soria *et al.*, 2015).

De plus, le site d'expérimentation se situe dans la zone où l'effort de pêche de prévention des espèces ciblées est le plus important sur la côte Ouest de la Réunion, avec deux à trois déploiements par semaine. L'absence d'interaction avec la barrière peut éventuellement être corrélée avec le fait que les requins présents sur la zone soient plus attirés par les drumlins positionnées aux alentours.

3. Période de fréquentation des requins

D'après les résultats du programme CHARC, la période de fréquentation des requins bouledogue en Baie de St-Paul est maximale à partir d'août et jusqu'en janvier (Figure 7), or, la période d'expérimentation de SSB® a commencé en février 2019. Au cours du stage, seules les données de février à fin mai ont été analysées. Cette période est très courte par rapport aux nombres d'interactions nécessaires (20 interactions) pour établir une analyse statistique fiable en vue de garantir une efficacité vérifiée du dispositif SSB® pour repousser les espèces ciblées.



le cnam
intechmer

Il est nécessaire de continuer les expérimentations pendant une année entière au minimum afin d'obtenir un nombre suffisant d'interactions avec les espèces ciblées ; également pour vérifier si la période d'août à janvier correspond à une hausse de la fréquentation des requins bouledogue en Baie de St-Paul comme l'est annoncé dans les résultats du programme CHARC.

La pêche de prévention des requins bouledogue et tigre en Baie de St-Paul a lieu X jours par semaine, depuis 201X. Depuis le début de ces opérations X requins bouledogue et X requins tigre ont été prélevés dans la zone ; depuis janvier 2019, ce sont respectivement X requins bouledogue et X requins tigre qui ont été prélevés en Baie de St-Paul. La fréquentation des requins bouledogue au niveau de la Baie de St-Paul peut être impactée par ces actions de pêche de prévention qui se situent dans la même zone que le dispositif SSB®.

4. Comparaison avec les CPUE diurnes des requins bouledogue en Baie de St-Paul

En Baie de St-Paul, la journée, il faut statistiquement Xheures pour prélever un requin bouledogue par les équipes de pêche de prévention. Les analyses effectuées au niveau de SSB® pour obtenir une interaction avec un requin bouledogue correspondent aujourd'hui à 527 heures d'enregistrement. Lorsque l'on compare l'effort de pêche et l'effort d'observation sur SSB® par rapport aux requins tigre et bouledogue, il semble statistiquement logique qu'il n'y est pas encore eu d'interaction enregistrée entre le dispositif et les espèces ciblées. De plus, la pêche de prévention a lieu tous les jours en BSP, or, les enregistrements n'ont lieu que 2 fois par semaine.

5. Période d'expérimentation

Les expérimentations pour vérifier l'efficacité du dispositif SSB® ont lieu seulement le lundi et mardi, soit 2 jours par semaine. Le reste de la semaine, il n'y a pas d'enregistrement vidéo ni de stimuli olfactifs au niveau de la barrière, il n'est donc pas possible de vérifier si des interactions ont lieu entre les espèces ciblées et le dispositif. Il serait intéressant de prolonger la période d'enregistrement vidéo et de demander les autorisations juridiques et environnementales nécessaires pour augmenter le nombre de stimuli olfactifs à plus de deux jours par semaine.

Les enregistrements vidéo analysés ont lieu soit à partir de l'aube, soit jusqu'au crépuscule mais aucun enregistrement n'a été effectué la nuit par manque de moyen technique. Un système d'allumage connecté aux caméras est en cours de fabrication au CRA pour permettre la capture des enregistrements nocturnes de la barrière ; mais compte tenu de la durée des vidéos, il est nécessaire d'optimiser le dispositif pour qu'il soit opérationnel pendant plusieurs heures (au moins 8 heures) et pour qu'il soit programmable de façon à s'allumer à partir d'une heure prédéfinie.

Commenté [MH8]: Si 2 expérimentations sonar ont été réalisées mais pas toute la nuit a



le cnam
intechmer

La pose des caméras ne s'est pas effectuée lorsque les conditions météorologiques étaient mauvaises. D'abord, une houle importante entraîne une turbidité trop élevée pour permettre d'assurer les enregistrements vidéo. De plus, la présence de requins à proximité directe des côtes est avérée lorsque la pluviométrie et la turbidité de la mer sont importantes. Pour garantir la sécurité des opérateurs, les sorties terrains étaient annulées lorsque ces conditions se présentaient.

B. Impact écologique de la SharkSafe Barrier

1. Interaction entre les organismes marins et la barrière

Lors des plongées réalisées pour poser/enlever les caméras sous-marines, une prospection du biote présent au niveau de la barrière SSB[®] est fréquemment réalisée : les poissons sont observés aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur du dispositif et traversent les rangées de tubes électromagnétiques (ou non) sans présenter de variation comportementale apparente. Ils évoluent dans l'ensemble de la zone d'étude et ne semblent pas être impactés par le dispositif.

2. Effet récif artificiel

D'une façon générale, la baie de St-Paul est une large zone sableuse pauvre en récif corallien ou rocheux au niveau de la zone littorale, comparable à un milieu désertique. Le dispositif SSB[®] installé dans cette zone représente un objet physique massif qui se développe au cours du temps en une oasis de vie.

Bien qu'elles soient solidement ancrées sur le sable, les unités fonctionnelles sont légèrement réarrangées au cours du temps par le mouvement de la houle. De petits espacements se créent entre les corps-morts, ces cachettes sont propices pour la faune présente. De nombreux organismes marins exploitent les rangées de tubes comme milieu de vie, certains se nourrissent avec les particules organiques dégagées par la cage et d'autres se nourrissent à partir des algues qui colonisent les unités fonctionnelles du dispositif. Quasiment systématiquement, d'importants bancs de petits poissons demersaux sont présents autour de la barrière. Lorsque des plus gros poissons présentent des comportements de prédation autour de la barrière, les bancs se réfugient à l'intérieur du carré pour tenter de les esquiver. Cependant, la présence régulière des pêcheurs au niveau de SSB[®] a entraîné une réduction importante de l'abondance des bancs de petits poissons au niveau du système.

Le dispositif SSB[®] apporte les ressources et la sécurité nécessaires pour garantir un environnement optimal pour de nombreuses espèces côtières. La présence de l'ensemble de la chaîne trophique au niveau du dispositif en fait un mini-écosystème, un récif artificiel comprenant une diversité ichthyologique relativement riche par rapport au milieu dans lequel est installé le dispositif SSB[®].



le cnam
intechmer

3. Effet Dispositif de Concentration de Poisson (DCP)

La biomasse présente au niveau de SSB[®] attire des prédateurs qui voient le dispositif comme une véritable source de nourriture. Diverses espèces de prédateurs sont régulièrement observées au niveau du système, les poissons présentent des comportements de prédation envers les bancs de poissons demersaux ou envers les autres espèces présentes dans le dispositif. Les pêcheurs exploitent également les ressources concentrées au niveau de SSB[®].

L'effet DCP produit par SSB[®] peut être une conséquence positive pour les pêcheurs traditionnels qui profitent alors de stocks de poissons importants (pêche-cavale, bancloche, capucins). Cependant, cette concentration de poissons peut aussi être considérée comme une conséquence écologique négative car les ressources de poissons qui sont normalement réparties dans l'ensemble de la baie se concentrent au niveau du système ; l'effort de pêche (nombre d'individus pêchés en une heure) accroît alors drastiquement sur cette zone et peut entraîner une forte réduction de la richesse ichthyologique en Baie de St-Paul.

4. Analyse spatiale

D'abord, il est important de souligner que la majorité des prédateurs analysés au cours des expérimentations a été observés à l'extérieur et à l'intérieur du dispositif ; le système ne semble donc pas entraîner d'effet répulsif prédominant sur les différents téléostéens répertoriés.

Les prédateurs observés à l'extérieur du dispositif et non à l'intérieur correspondent à des téléostéens pélagiques (Bonite, Sabre) ; ces espèces ont éventuellement été attirées par la présence des bancs de petits poissons demersaux au niveau de SSB[®]. D'autres espèces (mérrou farraud, rascasse volante), dont le milieu de vie est plus côtier, fréquentent plus régulièrement l'intérieur de la barrière et ne semblent pas impacter par le système, ils exploitent le dispositif comme un milieu de vie à part entière.

D'après les analyses statistiques réalisées, la fréquentation des espèces étudiées est généralement supérieure à l'extérieur du dispositif qu'à l'intérieur : les stimuli visuels et physiques des unités fonctionnelles de la barrière pourraient influencer le comportement des prédateurs au profit des petits poissons demersaux qui se réfugient à l'intérieur du système lors de comportements de prédation.

5. Analyse temporelle

Les espèces pour lesquelles une baisse de la fréquentation a été observée au cours du temps correspondent aux poissons pélagiques qui présentent des comportements de prédation au niveau de



le cnam
intechmer

SSB[®]. L'augmentation du nombre de pêcheurs locaux qui exploitent les ressources de pêche cavales ou de capucins peut être une hypothèse quant à cette baisse de fréquentation : les ressources de poissons demersaux diminuent avec le temps, la présence des prédateurs pélagiques semble être affectée par cette activité de pêche.

Les espèces dont la présence est constante ou en augmentation au cours du temps correspondent à des espèces côtières qui exploitent le dispositif SSB[®] comme milieu de vie. Certaines espèces observées sont peu communes en BSP, qui est un milieu sableux, or, SSB[®] est un substrat dur totalement différent du milieu sur lequel il est installé, il offre un nouvel écosystème pour les espèces côtières en Baie de St-Paul.



le cnam
intechmer

Conclusion :

Le système « SharkSafe Barrier[®] » est un dispositif innovant et écologique développé et testé en Afrique du Sud et aux Bahamas pour repousser le requin blanc et le requin bouledogue. Un dispositif expérimental est installé depuis janvier 2019 en Baie de St-Paul, Réunion, pour repousser spécifiquement les requins tigre et bouledogue, responsables des attaques mortelles récentes sur les côtes réunionnaises depuis 2011.

Après quatre mois d'expérimentation, il n'est pas possible de conclure sur l'efficacité répulsive de la barrière installée en Baie de St-Paul spécifiquement contre les espèces ciblées par manque d'interactions avec celles-ci. Il est nécessaire de prolonger les analyses sur une plus grande période pour mesurer statistiquement l'efficacité répulsive du système, ciblée sur les requins tigre et bouledogue.

Le dispositif « SharkSafe Barrier[®] » contrairement aux filets non sélectifs, ne cause pas la mortalité des squales et ne perturbent pas les organismes marins tels que les poissons osseux (téléostéens) ou les mammifères marins. Immersée pendant une longue période, la barrière se transforme en un véritable récif artificiel comprenant l'ensemble de la chaîne trophique, avec une diversité et une abondance ichtyologique importantes. Ce phénomène induit la présence de prédateurs (carangue, bonite, poisson-lion) qui exploitent alors les ressources présentes, et dont jouissent aussi les pêcheurs traditionnels locaux.

D'un point de vue personnel, le projet « SharkSafe Barrier » est une innovation écologique prometteuse qui pourrait remplacer les méthodes de prévention non sélectives comme les filets anti-requin ou les drumlines. Bien qu'aucune interaction n'ait encore eu lieu avec les espèces ciblées, les interactions observées avec les raies (également des chondrichthyens présentant des ampoules de Lorenzini, donc capable de percevoir les champs électromagnétiques) ont montré un effet répulsif sur ces espèces. Les résultats de l'expérimentation en Baie de St-Paul sont donc positifs mais pas encore avérés pour les requins tigre ou les requins bouledogue.

Au cours de ce stage, j'ai découvert la plongée scientifique et autonome, j'ai perfectionné mes aptitudes de navigation en conduisant régulièrement le bateau de la brigade d'intervention. J'ai participé à la réalisation du projet SSB[®] de A à Z, de la récolte des données, en passant par l'analyse des enregistrements, jusqu'au traitement des résultats. J'ai été en contact avec la majeure partie des auteurs cités dans ce rapport ainsi qu'avec les inventeurs du dispositif. Cette expérience m'a permis d'échanger avec des scientifiques internationaux et spécialisés dans l'étude des requins. J'ai également eu



le cnam
intechmer

l'opportunité de participer à diverses missions comme la pose de BRUVs sur le littoral réunionnais, la relâche d'espèces accessoires capturées par les SMART-drumlines lors de pêches de prévention, et j'ai assisté à la dissection de requins tigre et de requin bouledogue. Bien que je ne sois que stagiaire, l'équipe du Centre de Ressource et d'Appui me considère comme une technicienne et me permet de travailler en autonomie tout en restant disponible à chaque fois que j'en éprouve le besoin.

Le CRA est une association comparable à un bureau d'études, créée pour répondre à un problème complexe : le risque requin à la Réunion. Ce problème implique la biologie marine d'une part, mais également un sujet politique d'autre part. De nombreux acteurs sont impliqués dans ce sujet et présentent des avis divergents voire contradictoires. Étant donné que la vie de personnes est en jeu, la notion de politique était très présente au cours du stage et allait au-delà de ce que j'avais imaginé.

Par ses actions de pêche, le travail du CRA n'est pas justement reconnu par le public local et national : le centre est soumis à des pressions massives de la part d'écologistes qui condamnent vigoureusement ces pratiques financées en partie par les pouvoirs publics ; mais d'autres individus reprochent à l'association un effort de pêche trop minime et un protocole trop pointilleux alors que la vie de réunionnais est en jeu et que le littoral n'est pas accessible (en majeure partie) depuis plusieurs années. Bien que la pêche de prévention soit une mesure controversée, les techniques développées par le CRA (les SMART-drumlines) permettent de garantir généralement la survie des prises accessoires grâce à la réactivité du pêcheur qui se rend sur site en moins de 2h après la réception du signal satellite indiquant l'activation de la palangre. Ce fonctionnement a été salué par les scientifiques d'Australie et d'Afrique du Sud qui utilisent des drumlines classiques pour repousser les squales de leurs littoraux. Il ne faut pas oublier que la pêche de prévention n'est pas une opération décidée exclusivement par le CRA mais par les pouvoirs publics qui constituent les membres actifs de l'association.

En parallèle, le CRA expérimente divers dispositifs comme les EPI, les sonars ou le système SSB[®] pour assurer la sécurité des usagers de la mer, ces dispositifs sont des solutions pour réduire le risque requin sans entrainer leur mort et sans impacter l'équilibre de l'écosystème marin.



le cnam
intechmer

Références:

- Cliff G. and Dudley S.F.J. (1991). Sharks caught in the protective gill net off Natal South Africa. 4. The bull shark *Carcharinus leucas* Valenciennes. South Africa Journal of Marine Science, Taylor and Francis Group, volume 10:1 ; pp : 253-270
- Collin S.P., Kempster R.M and Yopak K.E. (2016). How elasmobranchs sense their environment. Fish Physiology, Physiology of elasmobranch Fishes: Structure and Interaction with Environment, Volume 34A ; pp : 22-54.
- Hart N.S. and Collin S.P. (2015). Shark senses and shark repellents. Integ Zool. Volume 10 ; pp : 38-64.
- Heithaus M.R., Delius B.K., Wirsing A. J., Dunphy-Daly M.M. (2009) . Physical factors influencing the distribution of a top predator in a subtropical oligotrophic estuary. Association for the science of Limnology and Oceanography, Inc., volume 54 ; pp: 472-482.
- Jewell J.D.O., Adrian C.G., Jorgensen S.J., Andrzejczek S., Moxley J.H., Beatty S.J., Wikelski M., Block B.A. and Chapple T.K. (2019). Cryptic habitat use of white shark in kelp forest revealed by animal-borne video. Biol Lett. The Royal Society, volume 15.
- Kalmijn A.J. (1974). The detection of electric fields from inanimate and animate sources other than electric organs. Handbook of Sensory Physiology. Berlin : Springer-Verlag ; pp : 147-200.
- Laroche R., Kock A., Dill L., Herman Oosthuizen W. (2007). Effects of provisioning ecotourism activity on the behaviour of with shark *Carcharodon carcharias* . Marine Ecology-Progress Series, volume 338.
- Neff C. and Hueter R. (2013). Science, policy, and the public discourse of shark "attack": a proposal for reclassifying human-shark interactions. J. Environ. Stud.Sci 3 ; pp : 65-73.
- O'Connell C., Andreotti S., Rutzen M., Meÿer M., He P. (2012). The use of permanent magnets to reduce elasmobranch encounter with a simulated beach net. 2. The great white shark (*Carcharodon carcharias*). Elsevier Ltd. Ocean and Coastal Management 97 (2014) ; pp : 20-18.
- O'Connell C., Andreotti S., Rutzen M., Meÿer M., Matthee C.A., He P. (2014). Effect of the SharkSafe Barrier on the white shark (*Carcharodon carcharias*) behavior and its implications for future conservation technologies. Elsevier B.V. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 460 (2014) ; pp : 37-46.
- O'Connell C., Andreotti S., Rutzen M., Meÿer M., Matthee C.A. (2017). Testing the exclusion capabilities and durability of the SharkSafe Barrier to determine its variability as an eco-friendly alternative to current shark culling methodologies. John Wiley and Sons Ltd. Aquatic consev : Mar Freshw Ecosyst. 2017 ; pp 1-7.
- Simpfendorfer C.A., Goodreid A., McAuley R.B. (2001). Diet of three commercially important shark species from Western Australian waters. Marine and Freshwater Research, volume 52:7 ; pp: 975-985.
- Soria M., Jaquemet S., Trystram C. Chabanet P., Bourjea J., Jean C., Ciccione S., Dalleau M., Bigot L., Hemery A., Blaison A., Lemahieu A., Dulau V., Estrade V., Magalon H., Révillion C., Pennober G. Goutorbe S., Cambert H., Turquet J., Cotel P., Pirog A., Verlinden N. (2015). Rapport scientifique final du programme CHARC (Connaissance de l'écologie et de l'HABitat de deux espèces de Requins Côtiers sur la côte ouest de la Réunion) : Étude du comportement des requins bouledogues (*Charcharinus leucas*) et des requins tigres (*Galeocerdo cuvier*) à la Réunion. FEDER ; pp : 7-123.
- Surina S. et Lecoeur G. (2018). Requin, guide de l'interaction. GAP Édition, France.
- Taglioni F., Guiltat S., Teurlai M., Delsaut M., Payet D. (2018). A spacial and environmental analysis of shark attacks in Reunion Island (1980-2017). Elsevier Ltd. Marine Policy ; pp xx.



le cnam
intechmer

Liste de références internet :

- <https://www.infinity2diving.com/diving/reef-diving/bull-sharks-2-tanks/> CONSULTE LE 20.05.19
- <http://www.info-requin.re> CONSULTE LE 20.05.19
- http://www.info-requin.re/IMG/pdf/Impact_economique_crise_requin_a_la_Reunion_-_Sagis_-_Rapport_final_novembre_2014.pdf CONSULTE LE 20.05.19
- <http://www.info-requin.re/les-missions-r71.html> CONSULTE LE 20.05.19
- <https://www.pinterest.it/pin/518617713329861313/> CONSULTE LE 20.05.19
- <http://www.requins.eu/html/7sens.html> CONSULTE LE 20.05.19
- <http://www.reunimer.com> CONSULTE LE 20.05.19
- <http://scpr.re/> CONSULTE LE 20.05.19
- <https://subocrea.com/espece/le-requin-tigre> CONSULTE LE 20.05.19

Liste des Annexes :

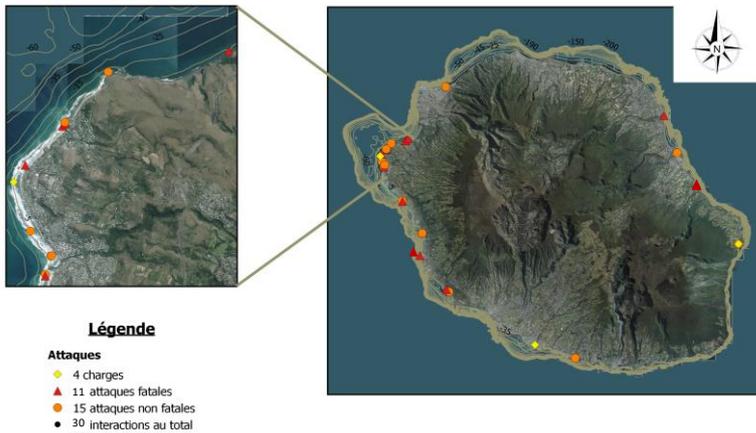
1. Carte et graphique des attaques de requin à la Réunion depuis 2011
2. Caractéristiques des espèces incriminées dans les attaques de requin à la Réunion
3. Photographie de la cage assurant le stimuli olfactif des requins au centre du système « SharkSafe Barrier® » et les rangées de tube en arrière-plan
4. Paramètres physique enregistré au cours des sorties terrain en Baie de St-Paul
5. Liste des enregistrements vidéos sous-marins enregistrés au cours du stage
6. Photographie de la raie observée à proximité direct du dispositif SSB®
7. Photographie du biofouling formé sur la barrière après 3 mois d'immersion
8. Photographies de l'ensemble de la chaîne trophique enregistrée au niveau du dispositif
9. Photographie des bancs de poisson observés au niveau du dispositif SSB®



le cnam
intechmer

Annexes :

1. Carte et graphique des attaques de requin à la Réunion depuis 2011



Source : IGN (orthophotographie 2012) ; Centre de Ressources et d'Appui 2018.

FIGURE A : REPRESENTATION GEOGRAPHIQUE DES ATTAQUES DE REQUIN SUR L'ILE DE LA REUNION DEPUIS 2011. LES POINTS JAUNE CORRESPONDENT A DES CHARGES, LES TRIANGLES ROUGES REPRESENTENT LES ATTAQUES FATALES ET LES POINTS ORANGES REPRESENTENT LES ATTAQUES NON FATALES (<http://www.info-requin.re>, CONSULTE LE 20.05.19) ON CONSTATE UN IMPORTANT NOMBRE D'INTERACTIONS A L'OUEST DE L'ILE.

*Human Shark Interactions in Reunion Island :
temporal evolution of the number of events per year and geographical area*

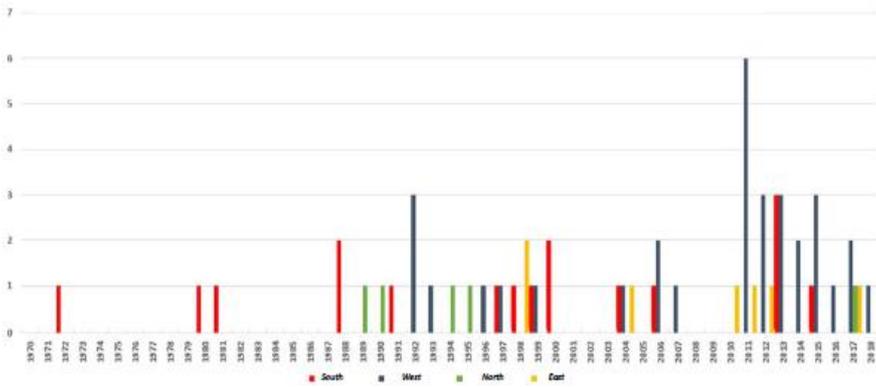


FIGURE B : ÉVOLUTION TEMPORELLE DU NOMBRE D'ATTAQUE DE REQUINS SUR LES COTES EST (JAUNE), OUEST (BLEU), NORD (VERT) ET SUD (ROUGE) DE LA REUNION. GRAPHIQUEMENT, ON CONSTATE UN CONTRASTE SPATIAL NET DES ATTAQUES DEPUIS LES ANNEES 1990 ENVIRON : AVANT, ELLES AVAIENT EXCLUSIVEMENT LIEU DANS LE SUD ALORS QUE DEPUIS, CELLES-CI SONT RECENSEES TOUT AUTOUR DE L'ILE (<http://www.info-requin.re>, CONSULTE LE 20.05.19).



2. Caractéristique des espèces incriminées dans les attaques de requin à la Réunion

A. Caractères généraux du requin tigre (*Galeocerdo cuvier*)

Massif et profilé, le requin tigre (*Galeocerdo cuvier*) est caractérisé par un corps brun-gris strié de rayures verticales sombres se dégradant vers l'abdomen, par un museau court, plat et arrondi et par une nageoire caudale fine, pointue et hétérocerque (Figure C) (Surina et Lecoer, 2018).

Cette espèce est le deuxième plus grand poisson prédateur au monde après le requin blanc et son régime alimentaire est le plus diversifié parmi les requins (Simpfendorfer *et al.* 2001). Charognard et opportuniste, ce squalo peut se nourrir d'objets inanimés (organiques ou non), à la dérive ou déposés sur le fond des mers.

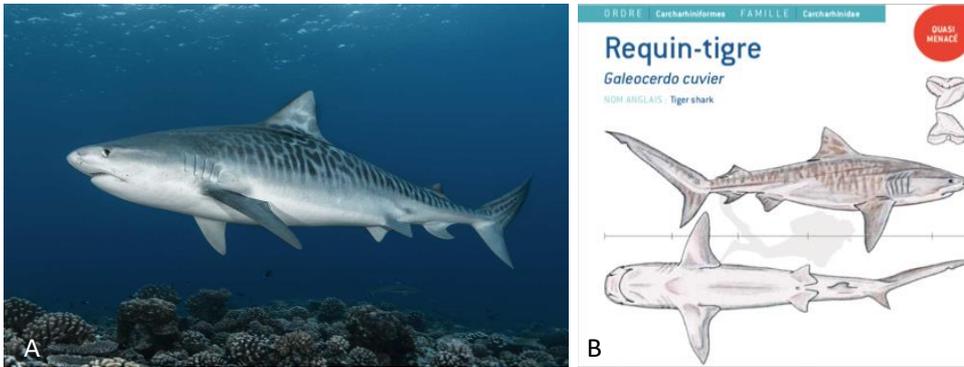


FIGURE C : (A) PHOTOGRAPHIE D'UN REQUIN TIGRE (*GALEOCERDO CUVIER*) ; (B) TAXINOMIE, NOMS VERNACULAIRES ET LATIN, DIMENSION, CLASSEMENT IUCN , MORPHOLOGIE DENTAIRE ET SCHEMA DE L'ESPECE (<https://subocea.com/espece/le-requin-tigre> , consulté le 20.05.19 (A) ET SURINA ET LECOEUR, 2018 (B))

B. Caractères généraux du requin bouledogue (*Carcharhinus leucas*)

Trapu massif et tassé, le requin bouledogue (*Carcharhinus leucas*) est caractérisé par un museau large, court et arrondi, une nageoire dorsale haute et large, et des nageoires pectorales falciformes. Ce requin est de couleur brun à olivâtre avec un ventre blanc (Figure D-(A)) (Surina et Lecoer, 2018).

Omnivore opportuniste, le requin bouledogue présente un régime alimentaire diversifié (Cliff and Dudley, 1991). Des différences dans le développement biologique et comportemental d'une région à une autre sont observées et pourraient s'expliquer par les caractéristiques de l'habitat dans lequel évoluent les populations (Heithaus et Delius, 2009).

Espèce euryhaline (résistant à de fortes variations de salinité) ; le requin bouledogue navigue dans les eaux saumâtres à forte turbidité comme les embouchures de fleuves (Tigre, Mississipi, Amazone), les estuaires, les ports et au niveau des ravines à la Réunion.



le cnam
intechmer



FIGURE D : A) PHOTOGRAPHIE D'UN REQUIN BOULEDOGUE (*CARCHARHINUS LEUCAS*) ; B) TAXINOMIE, NOMS VERNACULAIRES ET LATIN, DIMENSION, CLASSEMENT IUCN, MORPHOLOGIE DENTAIRE ET SCHEMA DE L'ESPECE (<https://www.infinity2diving.com/diving/reef-diving/bull-sharks-2-tanks/>) CONSULTÉ LE 20.05.19 (A) ET SURINA ET LECOEUR, 2018 (B))

C. Comportement exploratoire et écologie trophique des espèces ciblées à la Réunion

D'après le programme CHARC, les requins tigre semblent privilégier, à la Réunion, un milieu de vie plus au large (>5km des côtes) que les requins bouledogue qui explorent l'ensemble du littoral.

Ces derniers sont rythmés par un cycle nyctémérale: ils nagent dans la colonne d'eau au large le jour ; puis migrent vers les côtes (<5km) et la surface en fin de journée où ils réalisent des déplacements exploratoires en quête de nourriture. Le requin bouledogue ne présente pas de micro-habitat dédié à son alimentation mais exploite l'ensemble des ressources disponibles le long des côtes ; cependant, des occupations sélectives de site correspondant à des comportements d'accouplement ont été observées autour de l'île (Figure E).

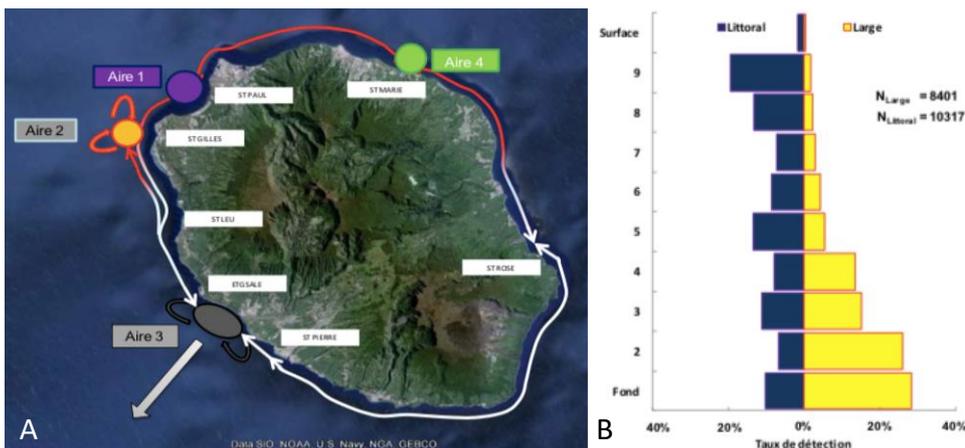


FIGURE E : A) PRINCIPALES AIRES D'OCCUPATION DES REQUINS BOULEDOGUE ET LES ECHANGE ENTRE CES AIRES ; B) NOMBRE DE DETECTION DES REQUINS BOULEDOGUE PAR COUCHE DE PROFONDEUR ENTRE LES STATIONS DU LARGE ET DU LITTORAL (PROGRAMME CHARC, SORIA ET AL., 2015)



le cnam
intechmer

Très peu de détection simultanée des requins tigre et bouledogue ont été observées. Les chevauchements inter-espèces restent très faible à la Réunion car, entant qu'espèces généralistes, les requins tigre et bouledogue exploitent des ressources variées dans des milieux de vie différents ; le profil alimentaire du requin tigre étant plus diversifié que celui du requin bouledogue (Figure F). D'après les premiers résultats apportés par le programme, la compétition trophique entre le requin bouledogue et le requin tigre est faible à la Réunion ; ce dernier s'alimente principalement au large alors que le premier présente un comportement exploratoire de recherche de nourriture directement proche des côtes.

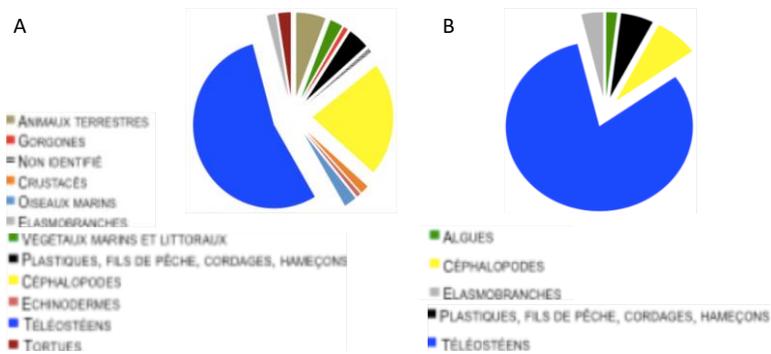


FIGURE F : PROPORTION DES ORGANISMES IDENTIFIABLES RETROUVÉS DANS CONTENUS STOMACaux DES REQUINS TIGRE (A) ET BOULEDOGUE (B) (PROGRAMME CHARC, SORIA ET AL., 2015)

3. Photographie de la cage assurant le stimuli olfactif des requins au centre du système « SharkSafe Barrier® » et les rangées de tubes en arrière-plan



FIGURE G : PHOTOGRAPHIE DE LA CAGE CONTENANT LA MATIÈRE ORGANIQUE POUR CRÉER UN STIMULI OLFACTIF (N. CHABRIER, 25.04.19). LA CAGE EST MAINTENUE ENTRE UN CORPS-MORT ET UNE BOUÉE DE SURFACE ET ONDULE AVEC LA HOULE.



4. Paramètres physiques enregistrés au cours des sorties terrains en Baie de St-Paul

TABLEAU A : RELEVÉS DES PARAMÈTRES PHYSIQUES LORS DE CHAQUE SORTIE TERRAIN

Code	Date	N° cam	Position	Type	Heure de pose	Heure de relève	Durée	Appât	Poids appât (kg)	Marée	Houle (m)	Direction vent	Force vent (km/h)	Météo	Requins	Visibilité	Remarques
43500CentreAM	04/02/2019	2	Centre	AM	BRUVIS	09:25	12:00	2:35:00	Bonite	1,233	montante			soleil	non	>5m	
43507C1PM	11/02/2019	3	C1	PM	RUMVIS	10:00	15:30	1:47:00			descendante	2,1 N_NO	6	soleil	non	<5m	Corps morts déplacés (houle ?)
43507C2PM	11/02/2019	4	C2	PM	RUMVIS	10:00	15:30	1:52:00			descendante	2,1 N_NO	6	soleil	non	<5m	Corps morts déplacés (houle ?)
43507C3PM	11/02/2019	6	C3	PM	RUMVIS	10:00	15:30	1:46:00			descendante	2,1 N_NO	6	soleil	non	<5m	Corps morts déplacés (houle ?)
43507C4PM	11/02/2019	2	C4	PM	RUMVIS	10:00	15:30	1:48:00			descendante	2,1 N_NO	6	soleil	non	<5m	Corps morts déplacés (houle ?)
43507CentrePM	11/02/2019	1	Centre	PM	BRUVIS	10:00	15:30	4:15:00	Bonite	3,9	descendante	2,1 N_NO	6	soleil	non	<5m	Corps morts déplacés (houle ?)
43508C1AM	12/02/2019	13	C1	AM	RUMVIS	07:30	11:30	3:42:00			descendante	1,4 E_NE	1	soleil	non	>8m	
43508C1PM	12/02/2019	11	C1	PM	RUMVIS	11:30	15:30	4:19:00			descendante	1,3 E_NE	1	nuageux	non	>8m	Tambour déplacé
43508C2AM	12/02/2019	12	C2	AM	RUMVIS	07:30	11:30	3:37:00			descendante	1,4 E_NE	1	soleil	non	>8m	
43508C2PM	12/02/2019	10	C2	PM	RUMVIS	11:30	15:30	4:14:00			descendante	1,3 E_NE	1	nuageux	non	>8m	Tambour déplacé
43508C3AM	12/02/2019	6	C3	AM	RUMVIS	07:30	11:30	1:41:00			descendante	1,4 E_NE	1	soleil	non	>8m	
43508C3PM	12/02/2019	8	C3	PM	RUMVIS	11:30	15:30	4:19:00			descendante	1,3 E_NE	1	nuageux	non	>8m	Tambour déplacé
43508C4AM	12/02/2019	4	C4	AM	RUMVIS	07:30	11:30	3:42:00			descendante	1,4 E_NE	1	soleil	non	>8m	
43508C4PM	12/02/2019	14	C4	PM	RUMVIS	11:30	15:30	3:30:00			descendante	1,3 E_NE	1	nuageux	non	>8m	Tambour déplacé
43508CentreAM	12/02/2019	15	Centre	AM	BRUVIS	07:30	11:30	7:56:00	Bonite_SSB	9	descendante	1,4 E_NE	1	soleil	non	>8m	
43514C2AM	18/02/2019	15	C2	AM	RUMVIS	09:50	14:30	4:40:00			montante	1,5 N	16	soleil	non	<5m	
43514C4AM	18/02/2019	8	C4	AM	RUMVIS	09:50	14:30	4:22:00			montante	1,5 N	16	soleil	non	<5m	
43514CentreAM	18/02/2019	11	Centre	AM	BRUVIS	09:50	14:30	4:28:00	Bonite_SSB		montante	1,5 N	16	soleil	non	<5m	
43521C1AM	25/02/2019	9	C1	AM	RUMVIS	09:30	13:30	3:38:00			descendante			soleil	non	<8m	
43521C1PM	25/02/2019	2	C1	PM	RUMVIS	13:30	08:00	3:09:00			descendante_montante			soleil	non	<8m	
43521C2AM	25/02/2019	6	C2	AM	RUMVIS	09:30	13:30	1:34:00			descendante			soleil	non	<8m	
43521C2PM	25/02/2019	4	C2	PM	RUMVIS	13:30	08:00	4:07:00			descendante_montante			soleil	non	<8m	
43521C3AM	25/02/2019	12	C3	AM	RUMVIS	09:30	13:30	3:38:00			descendante			soleil	non	<8m	
43521C3PM	25/02/2019	10	C3	PM	RUMVIS	13:30	08:00	3:53:00			descendante_montante			soleil	non	<8m	
43521C4AM	25/02/2019	11	C4	AM	RUMVIS	09:30	13:30	3:38:00			descendante			soleil	non	<8m	
43521C4PM	25/02/2019	14	C4	PM	RUMVIS	13:30	08:00	4:13:00			descendante_montante			soleil	non	<8m	
43521CentreAM	25/02/2019	1	Centre	AM	BRUVIS	09:30	08:00	6:56:00	Bonite_SSB	1,5	descendante			soleil	non	<8m	
43522C1AM	26/02/2019	6	C1	AM	RUMVIS	06:40	10:00	3:10:00			descendante	1,6 NE	2	soleil	non	>8m	
43522C1AM	26/02/2019	13	C1	AM	RUMVIS	10:00	14:00	3:05:00			descendante	1,2 S	8	soleil	non	>8m	
43522C2AM	26/02/2019	11	C2	AM	RUMVIS	06:40	10:00	3:12:00			descendante	1,6 NE	2	soleil	non	>8m	
43522C2AM	26/02/2019	15	C2	AM	RUMVIS	10:00	14:00	3:03:00			descendante	1,2 S	8	soleil	non	>8m	
43522C3AM	26/02/2019	8	C3	AM	RUMVIS	06:40	10:00	3:12:00			descendante	1,6 NE	2	soleil	non	>8m	
43522C3AM	26/02/2019	12	C3	AM	RUMVIS	10:00	14:00	3:07:00			descendante	1,2 S	8	soleil	non	>8m	
43522C4AM	26/02/2019	5	C4	AM	RUMVIS	06:40	10:00	3:10:00			descendante	1,6 NE	2	soleil	non	>8m	
43522C4AM	26/02/2019	10	C4	AM	RUMVIS	10:00	14:00	3:08:00			descendante	1,2 S	8	soleil	non	>8m	
43522CentreAM	26/02/2019	3	Centre	AM	BRUVIS	06:40	10:00	3:07:00	Bonite_SSB	1	descendante	1,6 NE	2	soleil	non	>8m	
43529C1AM	05/03/2019	16	C1	AM	RUMVIS	06:00	10:00	3:41:00			descendante			soleil	non	>8m	
43529C1AM	05/03/2019	12	C1	AM	RUMVIS	10:00	14:00	3:21:00			montante			soleil	non	>8m	
43529C2AM	05/03/2019	14	C2	AM	RUMVIS	06:00	10:00	1:39:00			descendante			soleil	non	>8m	
43529C2AM	05/03/2019	4	C2	AM	RUMVIS	10:00	14:00	3:07:00			montante			soleil	non	>8m	
43529C3AM	05/03/2019	1	C3	AM	RUMVIS	06:00	10:00	3:45:00			descendante			soleil	non	>8m	
43529C3AM	05/03/2019	3	C3	AM	RUMVIS	10:00	14:00	3:07:00			montante			soleil	non	>8m	
43529C4AM	05/03/2019	15	C4	AM	RUMVIS	06:00	10:00	3:41:00			descendante			soleil	non	>8m	
43529C4AM	05/03/2019	11	C4	AM	RUMVIS	10:00	14:00	3:21:00			montante			soleil	non	>8m	

La date, le numéro de caméra, la position, le type de caméra (appâté ou non), les heures de pose et de relève, la durée d'enregistrement, le type et le poids de l'appât, la marée, la houle, la direction et la vitesse du vent, la météo, la présence de requins et la visibilité sont les paramètres relevés à chaque enregistrement vidéo. Ces données permettent de réaliser un suivi des paramètres physiques pour vérifier leur éventuelle influence sur les interactions entre les requins et la barrière.



le cnam
intechmer

5. Liste des enregistrements vidéos sous-marin réalisés au cours du stage

TABLEAU B : RECENSEMENT DU NOMBRE DE PASSAGE ET D'INDIVIDU MAXIMAL OBSERVE PAR ESPECE, PAR CAMERA ET PAR SESSION D'ENREGISTREMENT

Date	Période	Position	Espèce	Nombre de passage	Fréquentation max	Durée
11/02/2019	AM	Centre	Caranx sp.	1	7	4:15:00
11/02/2019	AM	matin	Pterois miles	1	1	1:47:00
11/02/2019	AM	matin	C1	Scomberoides lysan	1	0,0743
11/02/2019	AM	matin	C2	Pterois miles	1	1:52:00
11/02/2019	AM	matin	C2	Caranx sp.	1	1:52:00
11/02/2019	AM	matin	C2	Scomberoides lysan	1	1:52:00
11/02/2019	AM	matin	C3	Pterois miles	1	1:46:00
11/02/2019	AM	matin	C3	Scomberoides lysan	1	2:14:00
11/02/2019	AM	matin	C3	Epinephelus flavoaculeus	1	1:46:00
11/02/2019	AM	matin	C3	Synodus sp.	1	1:46:00
11/02/2019	AM	matin	C4	Pterois miles	1	1:48:00
12/02/2019	AM	matin	C1	Epinephelus sp.	1	3:42:00
12/02/2019	AM	matin	C1	Pterois miles	5	3:42:00
12/02/2019	AM	matin	C1	Caranx sp.	9	3:42:00
12/02/2019	AM	matin	C1	Chilomycterus reticulatus	3	3:42:00
12/02/2019	AM	matin	C2	Chilomycterus reticulatus	1	3:37:00
12/02/2019	AM	matin	C2	Euthynnus affinis	3	3:37:00
12/02/2019	AM	matin	C2	Pterois miles	1	3:37:00
12/02/2019	AM	matin	C3	Euthynnus affinis	1	1:41:00
12/02/2019	AM	matin	C3	Chilomycterus reticulatus	1	1:41:00
12/02/2019	AM	matin	C4	Epinephelus sp.	1	3:42:00
12/02/2019	AM	matin	C4	Pterois miles	1	3:42:00
12/02/2019	AM	matin	C4	Chilomycterus reticulatus	1	3:42:00
12/02/2019	AM	matin	C4	Caranx sp.	1	3:42:00
12/02/2019	AM	matin	C4	Euthynnus affinis	1	3:42:00
12/02/2019	AM	matin	Centre			7:56:00
12/02/2019	PM	après-midi	C1	Caranx sp.	9	1:04:19
12/02/2019	PM	après-midi	C1	Epinephelus sp.	1	1:04:19
12/02/2019	PM	après-midi	C2	Pterois miles	2	1:04:14
12/02/2019	PM	après-midi	C2	Chilomycterus reticulatus	3	1:04:14
12/02/2019	PM	après-midi	C2	Caranx sp.	28	1:04:14
12/02/2019	PM	après-midi	C3	Pterois miles	3	1:04:19
12/02/2019	PM	après-midi	C3	Chilomycterus reticulatus	4	1:04:19
12/02/2019	PM	après-midi	C3	Caranx sp.	35	1:04:19
12/02/2019	PM	après-midi	C3	Euthynnus affinis	3	2:04:19
12/02/2019	PM	après-midi	C4	Pterois miles	2	0:30:30
12/02/2019	PM	après-midi	C4	Chilomycterus reticulatus	3	1:03:30
12/02/2019	PM	après-midi	C4	Caranx sp.	21	1:03:30
18/02/2019	AM	matin	C2	Pterois miles	3	1:04:40
18/02/2019	AM	matin	C2	Caranx sp.	55	10:04:40
18/02/2019	AM	matin	C2	Chilomycterus reticulatus	3	1:04:40
18/02/2019	AM	matin	C2	Scomberoides lysan	3	2:04:40
18/02/2019	AM	matin	C4	Pterois miles	5	1:04:22
18/02/2019	AM	matin	C4	Caranx sp.	63	8:04:22
18/02/2019	AM	matin	C4	Chilomycterus reticulatus	2	1:04:22
18/02/2019	AM	matin	C4	Scomberoides lysan	3	1:04:22
18/02/2019	AM	matin	Centre	Caranx sp.	131	10:04:28
25/02/2019	AM	matin	C1			0:33:38
25/02/2019	AM	matin	C2	Scomberoides lysan	13	1:01:34
25/02/2019	AM	matin	C2	Caranx sp.	5	1:01:34
25/02/2019	AM	matin	C2	Chilomycterus reticulatus	1	1:01:34

Pour chaque enregistrement réalisé, les prédateurs sont recensés par caméra et par jour d'expérimentation. Le nombre de passage et d'individu maximal par espèce sont relevés dans un tableau en vue de réaliser les analyses statistiques.



Shark Safe
BARRIER

le cnam
intechmer

6. Photographie de la raie observée à proximité direct du dispositif SSB®



FIGURE F : PHOTOGRAPHIE D'UNE RAI PASTENAGUE (*PTEROPHYLLIDAE*) OBSERVEE A L'EXTERIEUR DU DISPOSITIF SSB® LE 08.04.19. L'ANIMAL S'APPROCHE DU DISPOSITIF ET PRESENTE UN COMPORTEMENT D'EVITEMENT DIRECT LORSQU'IL EST ARRIVE AU NIVEAU DE LA RANGEE EXTERNE DU DISPOSITIF QUI SE SITUE DERRIERE LA CAMERA (DISPOSITION N°2).

7. Photographie du biofouling formé sur la barrière après 3 mois d'immersion



FIGURE G : PHOTOGRAPHIE D'UNE UNITE FONCTIONNELLE COLONISEE PAR UNE ESPECE D'HYDROZOAIRE (*PENNARIA DISTICHA* – GOLDFUSS 1820) ET PAR DES ALGUES FILAMENTEUSES (N.CHABRIER- 25.04.19)



8. Photographies de l'ensemble de la chaîne trophique enregistrée au niveau du dispositif

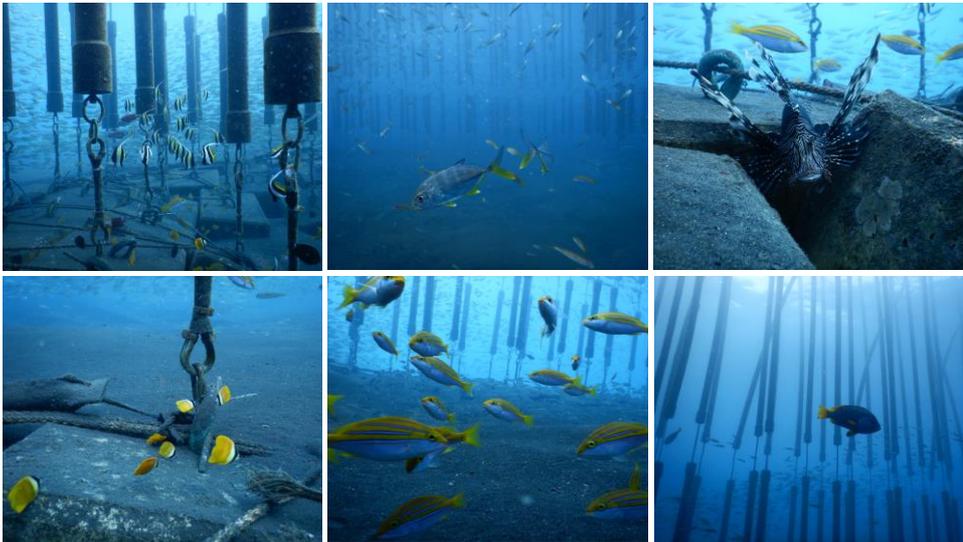


FIGURE H : EN HAUT A GAUCHE : POISSONS COCHET (*HENIOCUS SP.*) – EN HAUT AU MILIEU : JUVENILE DE CARANGUE (*CARANX SPP.*) – EN HAUT A DROITE : POISSON LION OU RASCASSE VOLANTE (*PTEROIS MILES*) – EN BAS A GAUCHE : POISSON PAPILLON (*CHAEOTODONTIDAE*) – EN BAS AU MILIEU : TI-JAUNE (*LUTJANUS SP.*) – EN BAS A DROITE : MEROU FARAUD (*EPINEPHELUS SP.*) (N.CHABRIER 25.04.19)

9. Photographie des bancs de poisson observés au niveau du dispositif SSB[®]

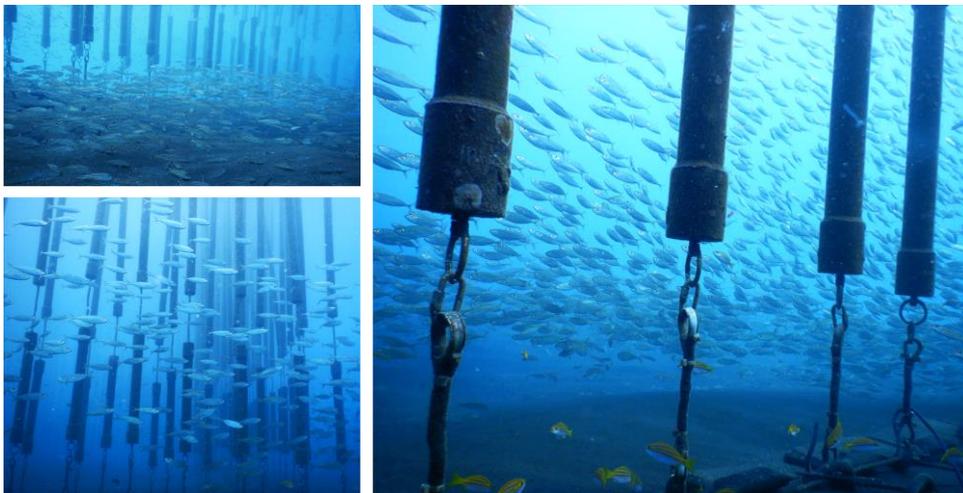


FIGURE I : PHOTOGRAPHIES DE BANCS DE « PÊCHE-CAVALE » (EN BAS A GAUCHE ET A DROITE) ET DE « CAPUCINS » (EN HAUT A GAUCHE) A L'INTERIEUR, A L'EXTERIEUR ET DANS LES RANGÉES DE TUBES DU DISPOSITIF SSB[®] (N.CHABRIER- 25.04.19)



le cnam
intechmer

Résumé :

Suite aux nombreuses attaques de requin ayant lieu à la Réunion depuis 2011, le CRA expérimente le dispositif « SharkSafe Barrier® » pour repousser les requins bouledogue et les requins tigre tout en limitant son impact écologique sur l'écosystème marin.

Un dispositif expérimental sous forme d'un carré de 10x10m est installé en Baie de St-Paul ; un stimulus olfactif est mis en place au centre et des caméras enregistrent l'environnement marin à l'intérieur et sur les côtés externes du dispositif.

Au cours du stage, plus de 527 heures de vidéo ont été enregistrées et analysées. Entre février et mai 2019, aucune interaction n'a eu lieu entre la barrière et les espèces ciblées. Il n'est pas encore possible de conclure sur l'efficacité de la barrière pour repousser les requins tigre ou bouledogue des côtes réunionnaises, mais il est possible d'émettre des hypothèses positives quant à son impact sur l'écosystème marin : le système « SharkSafe Barrier® » se transforme avec le temps en un récif artificiel très riche et très diversifié. La barrière peut également être considérée comme un dispositif de concentration de poissons, ce qui peut créer de nouvelles ressources pour les pêcheurs locaux.

Following to many attacks of sharks has been taking place in Reunion Island since 2011, CRA was experimenting with "SharkSafe Barrier®" to repel bull sharks and tiger sharks while limiting its ecological impact on the marine ecosystem.

An experimental device in the shape of a square of 10x10m is installed in Baie de St-Paul. Olfactory stimuli are provided through the use of bait in a cage inside the square and cameras record the marine environment in the center and on the outer sides of the device.

During the internship, more than 527 hours of video, were recorded and analyzed. Between February and May 2019, there was no interaction between the fence and the target species: It is not yet possible to conclude on the effectiveness of the barrier to repel tiger shark or bull shark from the Reunion coast, but it is possible to emit a positive enigma on the impact on the marine ecosystem: the "SharkSafe Barrier®" system is transformed over time into a very rich and diversified artificial reef. The barrier can also be considered as a device for concentrating fish, as well as new resources for local fishermen.

Mot clefs :

SharkSafe Barrier, requin bouledogue, requin tigre, dispositif répulsif, écologie marine, réduction risque requin, ile de la Réunion, conservation, récif artificiel, stimuli.

SharkSafe Barrier, bull shark, tiger shark, repellent device, marine ecology, shark risk reduction Reunion island, conservation, artificial reef, stimuli