

# Vigie Sanctuaire 2<sup>ème</sup> édition

ASSOCIATION OCEANIA

ESPOSITO.C, BICHET.O & MEOLA.B, 2020

*"Honorens ces grands migrateurs  
et limitons le risque  
de collision"*



## TABLE DES MATIERES

Liste des abréviations .....	2
Liste des Figures .....	3
Liste des Tableaux .....	4
Liste des Annexes .....	5
Remerciements .....	6
Résumé .....	7
<b>I - Contexte</b> .....	9
1. Contexte mondial	
2. Contexte local	
<b>II - Objectif de l'étude</b> .....	13
<b>III - Matériels &amp; Méthodes</b> .....	13
1. Zone d'étude	
1. Plateformes d'observations	
2. Formation des MMO	
3. Protocole d'observation et de récolte des données	
4. Évaluation du risque de collision	
5. Campagne de sensibilisation	
<b>IV - Résultats</b> .....	22
1. Effort d'observation .	
2. Évaluation de l'aléa	
3. Représentation de l'enjeu et sa vulnérabilité	
<b>V - Discussion</b> .....	32
1- Effort d'observation	
2- Distribution spatiale de l'aléa " trafic maritime"	
3- Distribution spatiale de l'enjeu "baleine à bosse"	
4- Évaluation du risque de collision .	
<b>VI - Conclusion</b> .....	37

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**A2:** Aremiti Ferry 2

**A5:** Aremiti 5

**A6:** Aremiti 6

**AIS :** Automatic Identification System, ou Système d'Identification Automatique

**AMG:** Aire Marine Gérée

**CBI :** Commission Baleinière Internationale

**CCNMI:** Comité Consultatif de la Navigation Maritime Interinsulaire

**CRIOBE :** Centre de Recherche Insulaire et Observatoire de l'Environnement

**DIREN :** Direction de l'Environnement

**FLT:** Fixe Line Transect

**GECC:** Groupe d'Etude des Cétacés du Cotentin

**IMO :** International Maritime Organisation, correspondant au numéro d'identification non obligatoire

**IRr :** Indice de Risque relatif

**Itm :** Intensité du trafic maritime

**ISPF:** Institut de la Statistique de Polynésie Française

**IUCN:** International Union for Conservation of Nature

**IWC:** International Whaling Commission

**MMO :** Marine Mammal Observer ou Observateur de Mammifère Marin

**MMSI :** Maritime Mobile Service Identity, numéro d'identification obligatoire

**NME:** Near Miss Event

**PAP :** Port Autonome de Papeete

**PEW:**The Pew Charitable Trusts

**PMS:** Plan Maritime Spatiale

**VHF :** Very High Frequency

**VS :** Vigie Sanctuaire

**TL :** Transect Linéaire

**ZEE:** Zone Économique Exclusive

## **LISTE DES FIGURES**

- Fig.1:** Carte du trafic maritime de 2017 dans la zone pacifique sud-ouest (MarineTraffic, 2019)
- Fig.2:** Carte du trafic maritime de 2017 dans l'Archipel de la Société avec les îles du Vent (MarineTraffic, 2018)
- Fig.3:** Les grands cétacés, véritables pompes à carbone (Chami et al., 2019)
- Fig.4:** Zone d'étude du projet Vigie Sanctuaire
- Fig.5:** Plateformes d'observations utilisées sur l'ensemble du projet VS - 2ème édition
- Fig.6:** Optimisation du temps de présence des MMO sur la zone d'étude
- Fig.7:** Représentation des trois types de codes d'alerte déclenchés
- Fig.8:** Extrait de Vanderlaan et Taggart, 2007
- Fig.9:** Effort d'observation en fonction des mois sur l'ensemble du projet VS -2ème édition
- Fig.10:** Vitesse moyenne (en nœuds) des navires dans les passes de Papeete et de Vaiare
- Fig.11:** Représentation de l'ensemble des trajets du navire Terevau en fonction de sa vitesse
- Fig.12:** Représentation de l'ensemble des trajets du navire Aremiti Ferry 2 ne fonction de sa vitesse
- Fig.13:** Représentation de l'ensemble des trajets du navire Aremiti 5 ne fonction de sa vitesse
- Fig.14:** Représentation de l'ensemble des trajets du navire Aremiti 6 en fonction de sa vitesse
- Fig.15:** Distribution spatiale réelle de tous les codes déclenchés à bord des navires sur l'ensemble du projet VS - 2ème édition
- Fig.16:** Nombre de codes déclenchés par mois en fonction de leur code couleur d'alerte
- Fig.17:** Distribution spatiale des codes jaunes et rouge uniquement, déclenchés à bord des navires sur l'ensemble du projet VS - 2ème édition
- Fig.18:** Distribution spatiale approximative des baleines à bosse lors des déclenchements des codes verts, jaunes et rouges
- Fig.19:** Nombre d'observation de baleine à bosse au cours de la saison 2019
- Fig.20:** Nombre d'observations de baleine à bosse relevées au cours des deux saisons d'échantillonnage
- Fig.21:** Proportion (et intervalles de confiance à 95%) des observations incluant au moins un baleineau pour chaque niveau de chaque variable explicative
- Fig.22:** Distribution spatiale approximative des duos mère -baleineau ayant déclenché un code vert, jaune ou rouge
- Fig.23:** Distribution spatiale approximative des duos mère - baleineau ayant déclenché un NME
- Fig.24:** Proportion des observations incluant au moins un baleineau pour chaque année d'étude, avec les intervalles de confiance à 95%
- Fig.25:** Distribution spatiale du risque de collision
- Fig.26:** Valeur de l'indice de risque de collision dans les trois zones d'étude
- Fig.27:** Évolution du nombre d'escales de croisière sur l'ensemble de la Polynésie française

## **LISTE DES TABLEAUX**

**Tableau 1:** Vitesse moyenne des quatre navires assurant la liaison Tahiti-Moorea sur la route maritime entre les îles, dans les deux zones portuaires (quai, lagon et passe) et dans les passes uniquement

**Tableau 2:** Comptes et proportions des observations incluant au moins un baleineau lors des deux saisons d'échantillonnage

## **LISTE DES ANNEXES**

**Annexe 1:** Grands cétacés observés suite à une collision

**Annexe 2:** Coordonnées géographiques de la zone d'étude

**Annexe 3:** Détail des méthodes statistiques

**Annexe 4:** Évaluation de l'indice de vulnérabilité global (VG) en fonction des indices de Vulnérabilité de chaque paramètre

**Annexe 5:** Poster de sensibilisation Hanahana la baleine

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenons à remercier très chaleureusement les compagnies SNC Aremiti et SARL SNGV2 Moorea pour nous avoir de nouveau accordé leur confiance et leur soutien sur l'ensemble du projet.

Un grand merci à tous nos partenaires qu'il soit financier, logistique ou matériels; votre aide est si précieuse. Toute cette aventure ne serait pas possible sans vous: le Syndicat Fenua Ma, OBSenMER, Le Haut-commissariat de la Polynésie française (Fond FDVA), Tahiti Tourisme, Barefoot Studios, Le Consul de Nouvelle-Zélande (Fond NZCF), la Banque de Polynésie, Hilton Moorea et Gan - Groupama.

Ce projet est aussi rendu possible grâce au soutien financier de nos adhérents, membres et généreux donateurs, mauruuru roa à tous.

Mauruuru à notre équipe de MMO sans qui cette aventure n'aurait pas le même sens. Merci à nos deux MMO experts permanent Toanui Tuslane et Tahia Mere. Comment vous dire à quel point nous sommes fière de vous et au combien nous sommes heureux de vous avoir à nos côtés au quotidien. Merci à nos trois MMO expert bénévole Malau Lemonnier, Sariel Magnés et Gianni Scotto Di Rinaldi pour votre soutien, vos longues heures d'observations et votre énergie hors du commun. Vous avez mené un travail remarquable et avait rendu cette vigie tout simplement extra-ordinaire.

Merci à Bruno Meola et Orphé Bichet d'avoir rejoint l'aventure en devenant membre du comité scientifique. Merci de mettre votre expertise et vos compétences au service de notre cause: la protection des ces grands géants.

Il en va de soit que ce projet prend tout son sens grâce à tous ces hommes et toutes ces femmes présent chaque jour à bord des navires Aremiti et Terevau.

Un grand merci à l'ensemble de l'équipage des navires Terevau, Aremiti 6, Aremiti 5 et Aremiti Ferry 2. Vos années d'expérience apporte une richesse incroyable à ce projet et permette d'en faire NOTRE projet.

Vigie Sanctuaire, deuxième édition a aussi été possible grâce au succès de la première édition. Toute l'équipe Oceania est donc reconnaissante à l'égard de toutes les personnes ayant été impliqués de près ou de loin depuis 2018.



**Rapport scientifique du projet Vigie Sanctuaire – 2ème édition**  
**“Honorons ces grands migrateurs et limitons le risque de collision”**

ESPOSITO Charlotte, BICHET Orphé & MEOLA Bruno, 2020

Association Oceania, Étude des cétacés de Polynésie française. BP 1636 Papetoai, 98729 Moorea, Polynésie française.

Tél: (+689) 89 29 54 11 - Mail: [charlotte.oceania@gmail.com](mailto:charlotte.oceania@gmail.com)

---

**Résumé:**

Parmi les nombreuses menaces anthropiques qui pèsent sur les grands cétacés, les collisions liées au transport maritime sont considérées comme l'une des plus importantes. Une augmentation du nombre de ces accidents mortels depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle a été clairement établie et est attribuée à une augmentation mondiale du nombre, de la taille et de la vitesse des navires. Au sein des eaux polynésiennes, plusieurs cas de collisions ont déjà été déclarés mais ne sont pas réellement documentés. Afin de mieux comprendre cette problématique, le projet d'étude Vigie Sanctuaire (VS) a été initié en 2018 par l'association scientifique Oceania, puis reconduit en 2019, (du 15 juillet au 15 novembre). Il constitue l'unique programme scientifique dont l'objectif principal est de mieux anticiper et de limiter ce risque en Polynésie française. À l'aide de la méthode de transect linéaire (TL), des MMO (Marine Mammal Observer) embarqués à bord des navires Aremiti Ferry 2, Aremiti 5, Aremiti 6 et Terevau ont surveillé l'horizon. La zone d'étude est la route maritime empruntée par ces navires de transport de passager, reliant Tahiti à Moorea jusqu'à 20 fois par jour. Dès détection d'un cétacé, la distance de l'animal et sa position horaire par rapport au cap du bateau étaient transmises au capitaine. Cette étude s'est concentrée sur la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*), une espèce emblématique classée « en danger » selon l'IUCN. Au total, 739 h d'observations ont été réalisées représentant un effort de 23 897 km parcourus. La surveillance assurée par les MMO a permis de détecter 49 cas potentiels de collision entre navires et baleines à bosse. A partir des données recueillies, nous avons cherché à identifier les zones les plus à risque au moyen d'un Indice de risque relatif. Il a été évalué par la plus forte combinaison entre la présence d'un aléa (trafic maritime), d'un enjeu (les baleines à bosse) et de leur vulnérabilité en fonction de cette menace. Les résultats permettent de mettre en évidence de grandes tendances, révélant ainsi que les zones portuaires sont à surveiller en priorité. Cependant les passes représentent des situations plus complexes à gérer quant à la manœuvre du navire. La base de données cumulée des deux saisons d'échantillonnage comptabilise un total de 744 observations dont 143, soit 20%, étaient des cas potentiels de collision. Depuis 2002, la Polynésie française est un sanctuaire pour les mammifères marins, avec une superficie de 5.5 millions de km<sup>2</sup>, ainsi elle s'affirme comme une zone d'importance quant à la conservation des cétacés. Jusqu'à présent le risque de collision n'était que rarement pris en compte dans les plans de gestion de l'espèce. Force est de constater que le projet Vigie Sanctuaire est un outil utile, non seulement pour la réduction de ce risque, mais également pour fournir plus de données nécessaires à une gestion adéquate de cette espèce.

**Mots clefs:** risque de collision, baleine à bosse, *Megaptera novaeangliae*, trafic maritime, Planification Maritime Stratégique (PMS)



**Abstract:**

Among the many anthropogenic threats to large cetaceans, ship strikes are considered to be one of the most significant. Since the end of the 19<sup>th</sup> century, the number of fatal collision between whales and vessels has increased due to a worldwide increase in the number, size and speed of ships. In Polynesian waters, several cases of collision have already been reported but are not clearly documented. In order to better address this concern, the Vigie Sanctuaire (VS) study project was initiated in 2018 by the scientific association Oceania, then renewed in 2019, from July 15 to November 15. It is the only scientific program that has as its main objective to better anticipate and limit ship strike risk in French Polynesia. Using the Linear Transect (TL) method, MMOs (Marine Mammal Observer) on board the ships Aremiti Ferry 2, Aremiti 5, Aremiti 6 and Terevau monitored the horizon. The study area is the channel used by these passenger vessels connecting Tahiti with Moorea up to 20 times a day. Upon detection of a cetacean, the distance of the animal and its time position relative to the heading of the boat were transmitted to the captain. This study focused on the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) records, as it is an emblematic species whose Oceania population is classified as "endangered" according to the IUCN. A total of 739 hours were spent surveying the study area, representing an effort of 23,897 km traveled. MMO surveillance has identified 49 potential cases of collision between ships and humpback whales. From the data collected, we sought to identify the areas most at risk using a Relative Risk Index. It was assessed by the strongest combination between the presence of a hazard (maritime traffic), an issue (humpback whales) and the issue vulnerability based on the threat. The results highlight major trends and reveal that the port areas are to be monitored as a priority. However, the passes represent more complex situations to manage in terms of manoeuvring the ship. Combining data from the two study years into a robust database revealed a total of 744 observations, of which 143, or 20%, were potential cases of collisions. Since 2002, French Polynesia has been a sanctuary for marine mammals, with an area of 5.5 million km<sup>2</sup>, thus asserting itself as a region of importance for the conservation of cetaceans. Yet, up to now, the risk of collision has rarely been taken into account in the species management plans. It is clear that the Vigie Sanctuaire project is a useful tool helping not only to reduce this risk but also to provide more data necessary for adequate species management.

**Keywords:** shipe strike collision, humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, marine traffic, Strategic Maritime Planning (SMP).

## I- Contexte

### 1. Contexte mondial

De nombreuses études font état de l'impact des activités anthropiques sur les populations de cétacés. Actuellement, les principales menaces pour ces populations sont les collisions avec des navires, le risque d'enchevêtrement dans les engins de pêche actifs ou fantômes, la pollution chimique, les nuisances sonores et les effets indirects du changement climatique qui affectent leurs habitats et leurs proies. Cette étude se concentre sur la menace spécifique des collisions liées au transport maritime, et fournira dans la mesure du possible des informations permettant une réduction de ce phénomène en Polynésie française.

Une collision est définie comme un impact violent entre une partie quelconque d'un navire, généralement la proue (l'avant) ou la poupe (l'hélice) et un cétacé vivant; entraînant souvent sa mort, des blessures graves ou un traumatisme physique.

Les collisions entre cétacés et navires sont de plus en plus nombreuses dans le monde (Douglas et al., 2008; Laist et al., 2001; Van Waerebeek et al., 2007). Les grands cétacés tels que la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) sont plus sensibles aux collisions dans les zones où les grands axes maritimes chevauchent leur habitat (Currie et al., 2017). Ce risque est accru lorsque les baleines se reposent ou se déplacent lentement à la surface (Constantine et al., 2015; Laist et al., 2001; Vanderlaan et Taggart, 2007). Les études récentes confirment que 11 espèces sont concernées à travers le monde (Jensen & Silber, 2003 ; Van Waerebeek et al., 2007). Le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) est le plus fréquemment cité, suivi par la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*), la baleine franche (*Eubalaena glacialis*), et le cachalot (*Physeter macrocephalus*).

L'augmentation du trafic maritime à l'échelle mondiale, de la taille et de la vitesse des navires contribue à l'augmentation des collisions avec les baleines (Dolman et al., 2009; Jensen et Silber, 2004; Vanderlaan et al., 2009). Même si l'ensemble des navires représentent un réel potentiel de collision, les plus grands et les plus rapides constituent le risque le plus important (Laist et al., 2001; Panigada et al., 2006; Silber et al., 2010; Vanderlaan et Taggart, 2007). Il a été démontré qu'à une vitesse de 12 nœuds (6,2 m/s), 45 à 60% des collisions entre un navire dont la masse dépasse largement celle de la baleine sont mortelles ; à des vitesses supérieures à 19 nœuds (9,8 m/s), 100% des collisions sont mortelles (Vanderlaan et Taggart, 2007).

Chaque année, le comité scientifique de la **CBI** (Commission Baleinière Internationale, IWC en anglais) examine des méthodes permettant d'estimer le nombre de baleines tuées par des collisions avec des navires : c'est une thématique très compliquée à aborder car elle intervient à plusieurs échelles et concerne plusieurs acteurs dans la sphère de décision. La complexité pour quantifier ce phénomène est due à l'étendue de la zone d'étude, aux moyens matériels et aux nombreuses issues possibles concernant l'animal.

En effet, les preuves de collisions avec les navires proviennent de sources diverses: les observations directes de navires, certains types de cicatrices observées sur le corps des animaux encore vivants et/ou l'examen des carcasses de baleines trouvées flottant en mer ou échouées sur la plage. Dans certains cas, les baleines se logent sur les bulbes des gros navires et souvent l'équipage n'en prend conscience que lorsque le navire entre dans le port (Annexe 1). Cependant, pour chaque incident observé et signalé, de nombreux autres sont manqués. Cela rend très difficile l'évaluation du nombre de collisions totales et les conséquences de ces phénomènes sur les populations.

Rappelons également que ces phénomènes de collisions peuvent causer de sévères dégâts matériels à bord des navires et poser de véritables problèmes de sécurité pour l'équipage et les passagers (De Stephanis & Urquiola, 2006 ; Van Waerebeek & Leaper, 2008). Un accident récent, survenu en mars 2019, au Japon illustre ce risque. Le ferry en provenance du port de la ville de Niigata navigant vers l'île japonaise de Sado a percuté une baleine sur son trajet. Cet accident a fait au moins 87 blessés. Suite à ce choc, l'équipage du navire a constaté une fissure de 15 centimètres sur sa coque.

Au regard de toutes ces informations, il est aujourd'hui devenu indispensable d'établir des plans de conservation permettant de limiter au maximum toutes ses menaces dans le but d'assurer la pérennité des populations de cétacés et de leur offrir un avenir durable dans un environnement favorable.

## 2. Contexte local

### 2.1 Le transport maritime local

La Polynésie française est un territoire dispersé et isolé géographiquement. S'étendant sur une superficie comparable à la taille de l'Europe soit plus de 5 millions de km<sup>2</sup>. Ses 118 îles dont 72 habitées (ISPF, cité par l'Assise des Outremer, 2018) sont très éloignées les unes des autres avec plus de trois heures d'avion pour relier Tahiti aux îles les plus éloignées. La Polynésie française est la plus étendue des collectivités d'outre-mer. Elle apporte ainsi à la ZEE française, une deuxième position mondiale derrière les États-Unis.

Parallèlement à une forte desserte inter-insulaire aérienne, permettant à 900 000 passagers résidents et touristes, d'atteindre chaque année les îles éloignées au travers de 47 aéroports, l'ensemble des 72 îles habitées sont alimentées par un service de transport maritime inter-insulaire, desservant 266 ports et embarcadères (ISPF, cité par l'Assise des Outremer, 2018).

Au regard du trafic maritime mondiale en 2017 (MarineTraffic, 2018), les îles de l'archipel de la Société et des Tuamotu ouest (entourés par un cercle noir, Fig. 1) se démarquent dans le Pacifique sud-ouest.

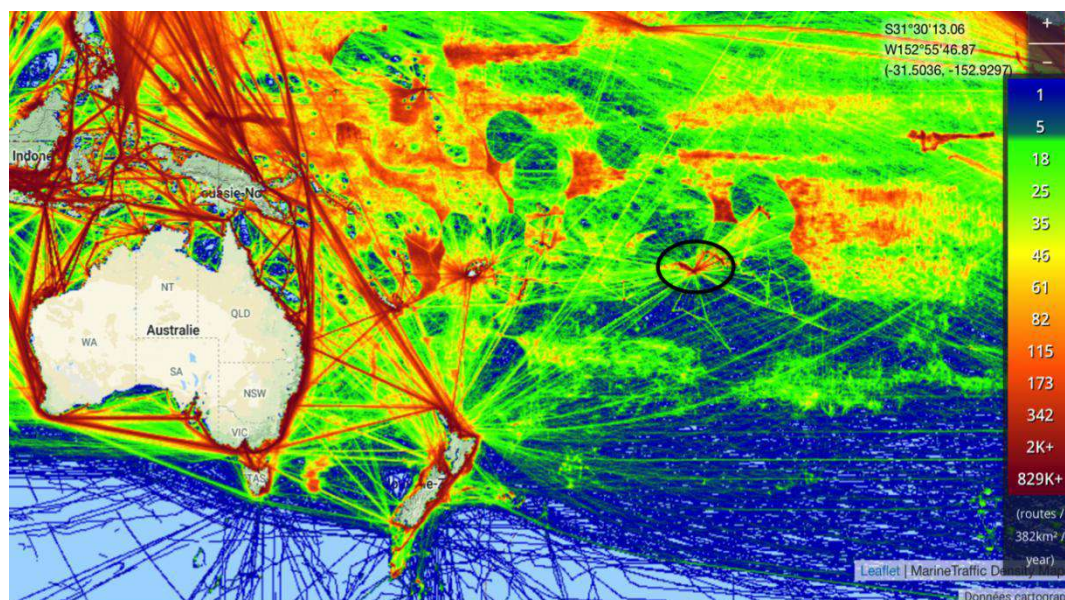


Fig. 1. Carte du trafic maritime de 2017 dans la zone pacifique sud-ouest (MarineTraffic, 2019). Les archipels de la Société et des Tuamotu ouest sont entourés par un cercle noir.

Après un zoom à l'échelle de l'archipel de la Société, un trafic plus ou moins important en fonction des différentes îles apparaît. Il est particulièrement concentré entre Tahiti et les îles du Vent. La fréquence maximale du trafic de cette zone en 2017 se trouve entre 439 et 229 000 routes par 1,4 km<sup>2</sup> par an (Fig. 2). Ce transport maritime inter-insulaire, est assuré par 22 navires privés et deux navires publics de la flottille administrative de la Polynésie française (Assise des Outremer, 2018). Véritable hub, le port de Papeete est l'entrée maritime principale de la Polynésie française et l'origine de la plupart des routes maritimes observées sur la Fig. 2. Il est géré par un établissement public, le Port autonome de Papeete (PAP). En 2015, il comptait parmi les 10 plus grands ports français en termes de trafic de passagers (Créocéan, 2015).

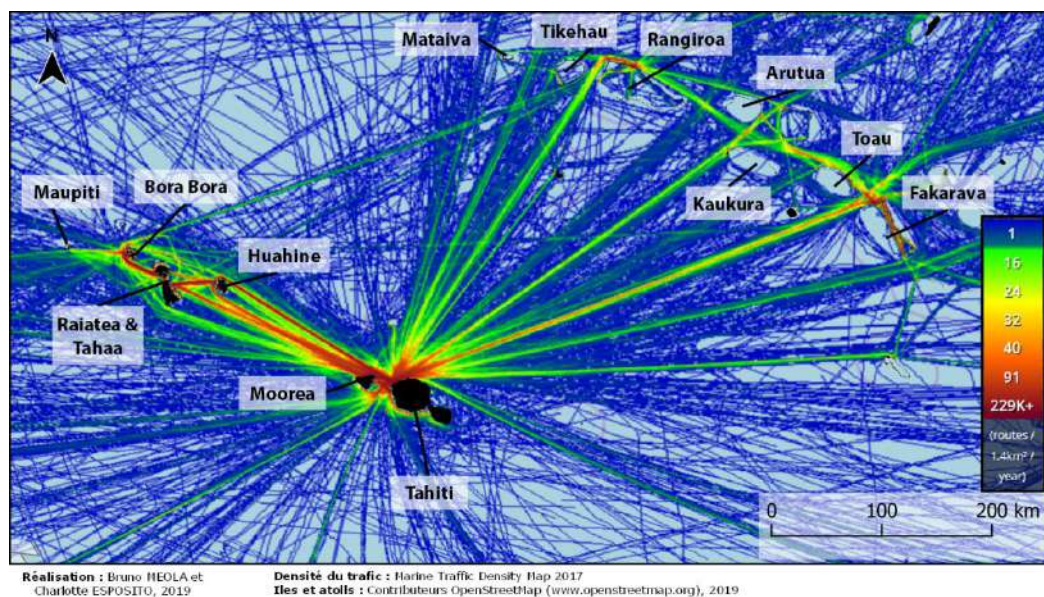


Fig. 2. Carte du trafic maritime de 2017 dans l'archipel de la Société avec les îles du Vent (Marine Traffic, 2018)

Le transport maritime au départ de Papeete est constitué d'une part par la quasi-totalité du fret à destination des îles, autres que Tahiti, et le fret retour (420 000 tonnes par an), et d'autre part par la ligne Tahiti-Moorea qui représentait 99 % du trafic en 2013 (Créocéan, 2015). Cette ligne assure principalement le transport des résidents de Moorea qui viennent travailler sur Tahiti (1 782 791 en 2018) à bord des navires des deux compagnies maritimes SNC Aremiti (Aremiti 5, Aremiti 6 et Aremiti Ferry 2) et SARL SNGV2 Moorea (Terevau). À cela s'ajoute un transport de non-résidents via des croisières à bord de l'Aranui 5 et du Paul Gauguin reliant Tahiti aux autres îles. Ainsi qu'un développement depuis 2015 du trafic des paquebots internationaux faisant escale en Polynésie française au cours de leur circuit trans-pacifique (Gonsard et Periou, 2016).

Il est à noter que pour le moment la Polynésie française n'est pas encore située sur les grands axes de circulation du transport maritime international (Gonsard & Periou, 2016). Selon une étude commandée par le PAP, les infrastructures portuaires actuelles de Papeete sont adaptées au trafic maritime international actuel et à celui de la prochaine décennie. Il ne dépendrait alors que d'une évolution des politiques de développement des lignes maritimes à l'échelle mondiale pour que des navires de plus grandes tailles arrivent dans le port de Papeete (Gonsard & Periou, 2016). Dans le contexte global de développement de l'économie bleue, il est fortement supposé que le transport maritime ne tardera pas à s'intensifier dans un futur proche.

## 2.2 Les mammifères marins en Polynésie française

Parmi les 87 espèces de cétacés recensées dans le monde, les scientifiques estiment que près de 16 espèces fréquentent les eaux polynésiennes (Gannier, 1999 ; Gannier, 2000a ; Gannier, 2000b ; Gannier, 2002a ; Gannier, 2002b ; Laran et Gannier, 2001 ; Laran et al, 2012; Poole et al, 2013a ; Poole et al, 2013b). Cependant, certains auteurs s'accordent à dire que plus de 20 espèces de cétacés peuvent fréquenter les eaux de Polynésie française, au moins de façon saisonnière (Reeves et al., 1999).

La baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) est communément observée en Polynésie française (Gannier, 2004 ; Poole, 2002) de juillet à décembre. La présence de mâles chanteurs, de groupes actifs en surface, d'observation de tentatives de copulation, et de nouveau-nés confirme que la Polynésie française est un lieu de reproduction et de mise bas pour des baleines à bosse de l'hémisphère sud (Poole, 2002).

Cette espèce est souvent observée à moins de 2 km du littoral (Gannier, 2004). Bien que leur présence soit relatée dans les cinq archipels, les îles de la Société, des Australes et des Tuamotu hébergent sans doute la majorité des individus en période d'hivernage pour la reproduction et la mise bas. Selon Poole (2002), l'estimation de la taille de la population des baleines à bosse de Polynésie française est de 1057 individus avec un intervalle de confiance de 20%, soit une taille de la population comprise entre 934 et

1849 individus. Ces estimations ont été réalisées en utilisant des photographies de nageoires caudales, des prélèvements génétiques et des modèles d'estimation. Il est à noter que 650 individus ont été observés entre Moorea et Tahiti entre 2013 et 2014 (comm pers. M. Poole).

L'espèce qui semblerait être la plus concernée par la problématique de collision en Polynésie française est la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*). La préservation de ces grands migrateurs est une nécessité en matière de maintien des équilibres écologiques à l'échelle planétaire. En effet, les grands cétacés tel que la baleine grise (*Eschrichtius robustus*) ou la baleine à bosse représentent de véritables pompes à carbone et seraient de précieuses alliées dans la lutte contre le réchauffement climatique (T. J. Lavery et al., 2010; Chami et al., 2019) (Fig. 3.) Les baleines accumulent du carbone dans leur corps au cours de leur longue vie. A leur mort, elles sombrent dans le fond de l'océan sur les plaines abyssales; et emportent avec elles 33 tonnes de CO<sup>2</sup> piégés, en moyenne (Fig. 3).

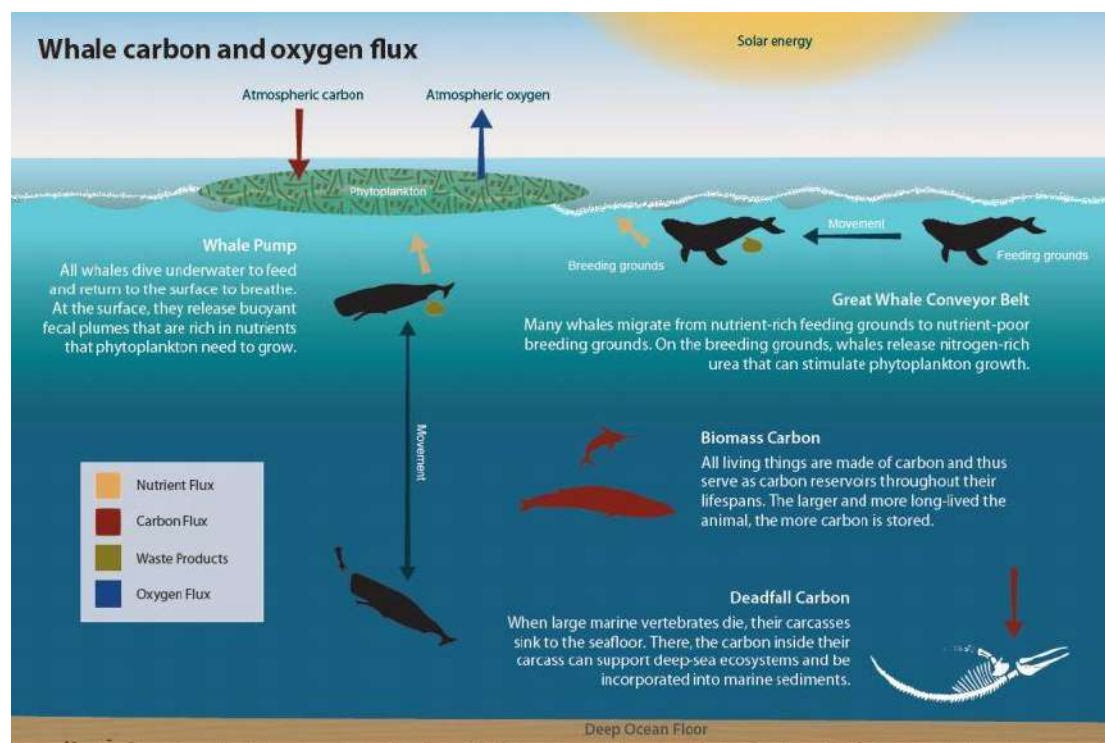


Fig. 3. Les grands cétacé , véritables pompes à carbone (Chami et al., 2019)

### 2.3 Pourquoi protéger les baleines à bosse de Polynésie française ?

En terme de biodiversité, nous savons que malgré le statut des baleines à bosse dans le Monde (« Least Concern » ; IUCN) la population d'Océanie et donc de Polynésie française (F2) est toujours considérée comme en danger (« ENdangered », IUCN). Ce statut particulier impose aux gestionnaires de l'environnement une attention toute particulière pour leur préservation.

Les cétacés sont classés en catégorie B des espèces protégées du code de l'environnement de la Polynésie française. Cette classification prévoit l'interdiction de « mutilation, harcèlement, capture ou enlèvement, consommation et chasse, ainsi que détention, transport, importation sous tous régimes douaniers et exportation » de mammifères marins (Art. A 121-5). En outre,, le code de l'environnement en régleme la approche à but privé, professionnel ou cinématographique ainsi que les études scientifiques (Art. A 121-3 à 121-7 ; Art. A 121-16 à 121-24 et Art. A 121-25 à 121-36).

La mise en place en 2002 du Sanctuaire polynésien pour les mammifères marins doit permettre d'assurer un statut de conservation favorable pour les populations de cétacés. De plus, le 3 avril 2018, le classement de la zone économique exclusive (ZEE) de la Polynésie française, en tant qu'Aire Marine Gérée (AMG) catégorie VI du code de l'environnement a été prononcé. Cette AMG se nomme Tainui Atea et représente près de 5 millions de km<sup>2</sup>. Elle fait désormais partie des 51 espaces naturels protégés du code l'environnement.

Pour toutes ces raisons et le fait que le phénomène de collision soit très peu renseigné en Polynésie française, cette problématique représente selon notre équipe une priorité en terme de conservation.

C'est pourquoi nous avons initié le projet d'étude « Vigie Sanctuaire », l'unique programme d'étude ayant pour but d'améliorer les connaissances sur le risque de collision en Polynésie française. Il s'inscrit clairement dans une démarche mondiale et a pour objectif de fournir des informations au sein d'une zone géographique qui reste jusqu'à ce jour très peu renseignée.

## II- Objectif de l'étude

Vigie Sanctuaire (VS) est l'unique programme scientifique dont l'objectif principal est de mieux anticiper et limiter le risque de collision en Polynésie française.

VS est un programme de trois années (2018-2020) qui tend à faire un état des lieux du phénomène de collision en Polynésie française afin de proposer *in fine* un plan d'action pour réduire au maximum cette menace à l'échelle du sanctuaire polynésien et assurer l'avenir de cette population. Oceania a eu l'honneur de mener en 2019 la deuxième édition de ce programme.

VS est un projet pluridisciplinaire à l'interface science-société et se veut pérenne. Oceania souhaite initier un dialogue entre les scientifiques, les décideurs, les usagers et les citoyens polynésiens au sujet de leur utilisation de l'habitat (ici la route maritime reliant Tahiti à Moorea) et les impacts possibles sur une espèce emblématique, la baleine à bosse.

VS vise à contribuer à la diminution des risques de collision entre navires à grande vitesse et baleine à bosse:

- ✓ Par l'augmentation des connaissances des phénomène de collision en quantifiant la distribution spatiale du trafic maritime (l'aléa) et des baleines à bosse (l'enjeu) sur la zone d'étude;
- ✓ Par l'amélioration de la détectabilité des baleines à bosse grâce à la présence de MMO (Marine Mammal Observer) durant la saison estivale, c'est à dire de juillet à novembre, sept jours sur sept;
- ✓ Par une collaboration quotidienne avec les deux sociétés utilisant la route maritime reliant Tahiti et Moorea;
- ✓ Par la sensibilisation du personnel de bord à la problématique de collision;
- ✓ Par l'éducation du grand public à la thématique des cétacés de Polynésie française et des menaces qui pèsent sur ces populations.

## III- Matériels & Méthodes

Avant de débiter les embarquements à bord des navires, notre équipe a programmé de nouveau une rencontre avec les acteurs de la zone afin de mieux cibler leurs possibilités de manœuvre et d'adapter le protocole d'évitement. Le capitaine et l'équipage sont les acteurs déterminants de la réussite de notre projet. En effet, il est primordial de valoriser l'expérience et les connaissances des capitaines pour mettre en place un protocole d'urgence qui tout en étant réalisable en fonction de leurs contraintes environnantes doit être efficace et remplir les objectifs de VS. La rencontre avec les gestionnaires des compagnies maritimes est une étape primordiale afin de déterminer ensemble comment Oceania peut aider au mieux dans leur prise de décision face à ce risque de collision. Il s'agit de trouver un équilibre entre une activité économique et la préservation d'une espèce. Le dialogue et la collaboration entre l'ensemble des acteurs constitue une des clefs de la réussite de ce projet.

### 1. Zone d'étude

VS 2019 – 2ème édition a été réalisée du 15 juillet 2019 au 15 novembre 2019. Le suivi des populations de cétacés a été effectué à bord des navires effectuant quotidiennement la traversée Tahiti - Moorea.

La zone d'étude est une route maritime reliant le port de Vaiare au port de Papeete, celle ci a été délimitée par un rectangle de manière à englober l'intégralité de nos données géolocalisées. L'étendue de cette zone (Fig. 4) se compose de la route maritime, la zone portuaire de Papeete (passe, lagon et quai) et la zone portuaire de Vaiare (passe, lagon et quai). L'ensemble des coordonnées délimitant cette zone est présenté en Annexe 2.

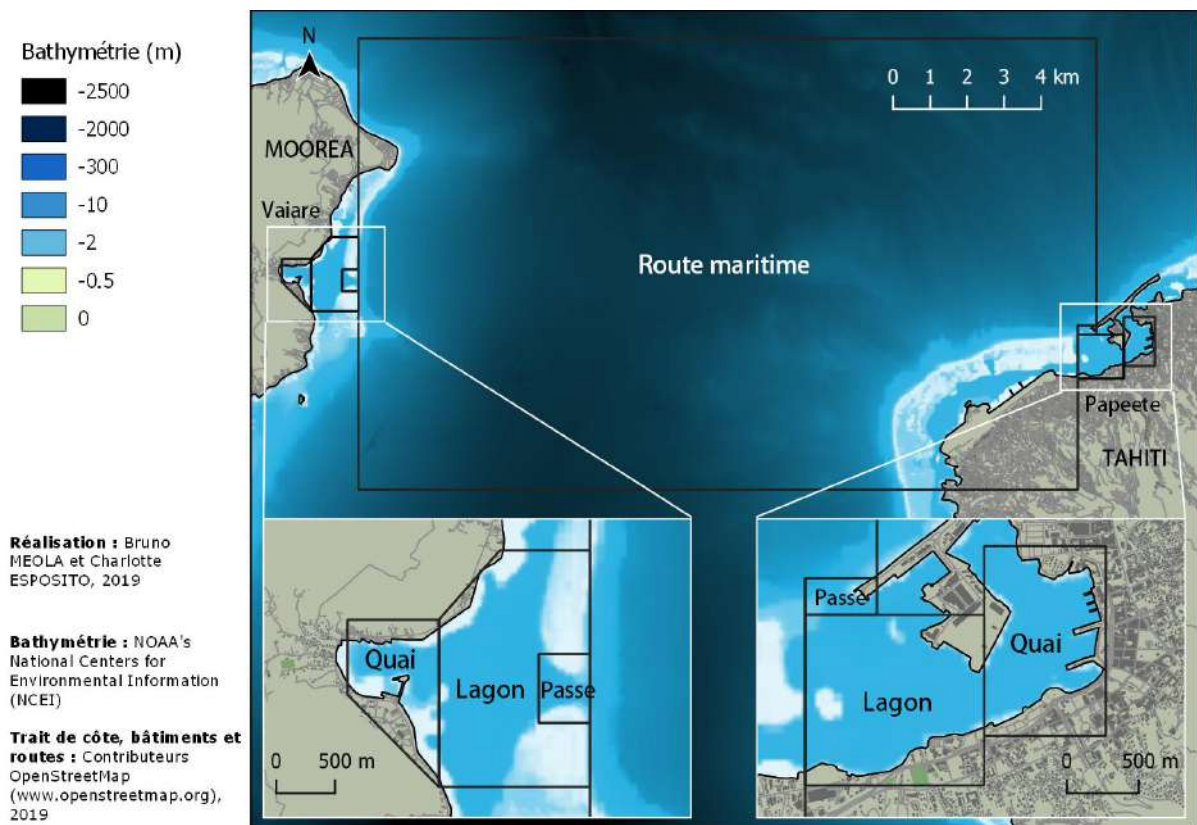


Fig. 4. Zone d'étude du projet Vigie Sanctuaire

Non matérialisées à la manière des transports terrestres, sont qualifiés de « routes », des itinéraires régulièrement suivis par des navires assurant le transport maritime à longue distance. Souvent cartographiées, à différentes échelles, leur tracé est le plus rectiligne possible pour un gain de temps et une rentabilité économique. En dehors des zones les plus densément parcourues, les navires sont en général libres du choix de leur trajet. Cependant le tracé de leurs routes évolue en fonction de diverses contraintes comme la météo, l'emplacement des infrastructures portuaires, la géographie des côtes, le relief marin, des facteurs politiques ou régime des points de passage comme le canal du Panama, ou la sécurité.

## 2. Plateformes d'observations

La route reliant Tahiti à Moorea est majoritairement parcourue par trois navires de transport de passagers et de fret, appartenant à deux compagnies privées locales, SNC Aremiti et SARL SNGV2 Moorea : le Terevau, l'Aremiti 5 (A5) et l'Aremiti Ferry 2 (A2; Fig. 5). La compagnie SNC Aremiti a reçu un nouveau navire en cours de saison estivale 2019, l'Aremiti 6 (A6), qui remplace dorénavant l'A5, ce qui a induit un changement de navire en cours d'étude. En effet, à partir du 19 septembre 2019, l'observateur affilié à la compagnie a réalisé l'ensemble des traversées à bord de l'Aremiti 6 (Fig. 5).

Nom	Terevau
IMO	9336529
MMSI	546017900
Type (AIS Vessel Type)	Catamaran à grande vitesse (High Speed Craft)
Année de construction	2005
Longueur (m)	45.24
Jauge Brute (gross tonnage)	739
Capacité	360 passagers 10 véhicules
Vitesse de croisière (nd)	30



Nom	Aremiti Ferry 2
IMO	9653824
MMSI	546018300
Type (AIS Vessel Type)	Catamaran (Passenger)
Année de construction	2012
Longueur (m)	79.6
Jauge Brute (gross tonnage)	4063
Capacité	967 passagers 146 véhicules
Vitesse de croisière (nd)	22



Nom	Aremiti 5
IMO	9293387
MMSI	546005000
Type (AIS Vessel Type)	Catamaran à grande vitesse (High Speed Craft)
Année de construction	2004
Longueur (m)	56
Jauge Brute (gross tonnage)	1447
Capacité	697 passagers 30 véhicules
Vitesse de croisière (nd)	30



Nom	Aremiti 6
IMO	9847669
MMSI	546021800
Type (AIS Vessel Type)	Catamaran à grande vitesse (High Speed Craft)
Année de construction	2019
Longueur (m)	49.89
Jauge Brute (gross tonnage)	1284
Capacité	550 passagers 5 véhicules
Vitesse de croisière (nd)	37



Fig. 5. Plateformes d'observations utilisées sur l'ensemble du projet VS – 2ème édition



### 3. Formation des MMO

Les grands navires sont rarement en mesure d'éviter les baleines qui font surface directement devant eux. Cependant les grands cétacés tels que les baleines à bosse peuvent souvent être repérés à des distances de plusieurs km et en voir une est en général un bon indicateur de la présence d'autres individus dans la zone. De légères modifications de la trajectoire du navire visant à s'éloigner des endroits où elles ont été observées peuvent réduire significativement les risques de collision.

Charger une personne d'observer le large avec des jumelles permet de détecter les baleines sur de grandes distances. Dans le cadre du projet Vigie Sanctuaire ce rôle est celui du MMO. Il est reconnu comme une personne formée à l'identification des espèces de cétacés. Plusieurs pays exigent que ces observateurs aient suivi une formation avant d'être embauchés sur un projet. Ceci démontre l'importance accordée à ce travail et la pertinence de suivre une formation. En effet, l'application d'un programme de surveillance est une tâche exigeante qui demande concentration, rigueur, patience, capacité à identifier les espèces présentes sur zone. À cela s'ajoute une connaissance des comportements des mammifères marins et une vraie capacité à agir en tant que "leadership" pour assurer une prise de décision rapide et pertinente (Esposito.C & Schneider.R, 2019).

Le rôle principal du MMO dans le cadre du projet VS est de détecter les animaux sur la route maritime entre Tahiti et Moorea afin de prévenir et de transmettre le plus rapidement possible aux capitaines de navire la position de l'animal et l'angle par rapport au cap du bateau auquel il se situe. Ces informations visent à permettre au capitaine de prendre la décision adéquate, d'enclencher ou non une manœuvre d'évitement en fonction de la situation. Les capitaines ayant d'autres paramètres à gérer pour assurer la sécurité des passagers durant la traversée, la présence d'un observateur dédié à la détection des cétacés est nécessaire pour limiter au maximum le risque de collision entre les baleines à bosse et les navires (Esposito.C & Schneider.R, 2019).

Dans le but de remplir au mieux ce rôle, M<sup>lle</sup> Esposito Charlotte, formatrice qualifiée et expérimentée d'Océania a formé deux observateurs experts permanents (Tahia Mere et Toanui Tuslane) et trois observateurs experts bénévoles (Marie-Laurie Lemonnier, Gianni Scotto Di Renaldi et Sariel Magnes). Tous ont reçu la même formation représentant 6 modules d'enseignement repartis sur 3 jours soit un total de 24 h de formation (16 h de théorie et 8 h de pratique). Cependant pour des raisons de budget limité, seulement deux observateurs experts furent rémunérés dans le cadre du projet d'où l'appellation « permanents ». Les trois autres observateurs experts ont été bénévoles et déployés pour renforcer l'effort d'observation des deux MMO permanents. L'objectif étant de faciliter la mise en place du protocole et des manœuvres d'urgence.

Un troisième type d'observateur non-formé s'est également ajouté à l'effort de vigilance. En effet, un réseau d'observateurs utilisant l'application OBSenMER partage, via un formulaire non expert, des observations ponctuelles.

Ainsi deux types de données ont été récoltées: celles dites "expertes" récoltées par des observateurs experts permanents et bénévoles à l'aide de l'application OBSenMER sur des appareils option cellular uniquement (Ipad 6) et celles dites "ponctuelles" des observateurs non experts via l'application OBSenMER, téléchargeable sur leurs smartphones.

OBSenMER est une plateforme collaborative créée en 2016 par le GECC (Groupe d'Étude des Cétacés du Cotentin) en collaboration avec Cybelle Planète. Cette application facilite la saisie, le stockage, le partage et l'analyse des observations en mer. Elle s'adresse aussi bien au grand public qu'aux structures naturalistes professionnelles, elle collecte aussi bien les données de sciences participatives que les données issues d'un protocole expert.

Il est à noter que les données de catégorie "ponctuelles" récoltées par des observateurs non experts n'ont pas été considérées dans cette présente étude. Elles feront l'objet d'un traitement et d'une valorisation à posteriori. Durant le reste de ce rapport, la mention de MMO se réfèrera toujours aux cinq observateurs experts (permanents et bénévoles) sauf mention contraire.

## 4. Protocole d'observation et de récolte des données

### 4.1 Couverture horaire de la zone d'étude par les MMO

Sur la période d'étude, un MMO a été assigné 4 jours consécutifs de la semaine à un navire, sur l'intégralité de l'étude, pour faciliter le dialogue et la collaboration avec l'équipage. Par manque de budget et pour pouvoir couvrir les trajets des deux compagnies indirectement, le planning des deux MMO ne couvrait pas les mêmes 4 jours d'affilés dans la semaine. Ce choix a été réalisé de manière à privilégier une surveillance constante du plan d'eau, au moment où il y avait le plus grand nombre de rotations et donc de risques potentiels de collision (Fig. 6).

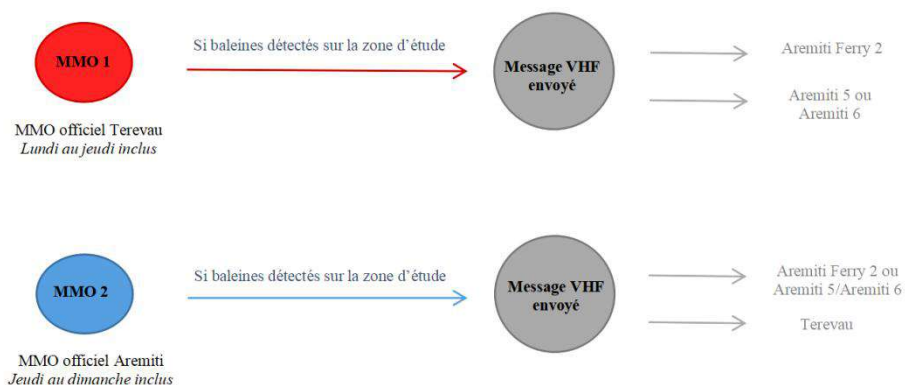


Fig. 6. Optimisation du temps de présence des MMO sur la zone d'étude pour limiter le risque de collision

### 4.2 Méthode de collecte de donnée

La méthode de collecte de données par Transect Linéaire (TL) a été choisie. Elle consiste à parcourir le même trajet en suivant un cap constant, avec à son bord un ou plusieurs observateurs qui scrutent en permanence les 180° de l'avant du bateau. Cette méthode est fondée sur quatre principes qui sont respectés dans cette étude et sont décrits plus précisément dans Buckland & Turnock, (1992). L'avantage de cette méthode de TL est qu'elle donne des indicateurs pertinents (Di-Méglio & David, 2010); elle est la méthode de référence actuelle pour les estimations de densité et d'abondance des populations de cétacés. Cette dernière est utilisée dans plusieurs études sur la problématique de collision comme celle de Arcangeli et al., (2012), dont les résultats prouvent la pertinence de ce mode de collecte à des fins de monitoring pour le Sanctuaire Pelagos en Méditerranée. Ainsi, l'utilisation répandue de la méthode TL dans la thématique d'étude des collisions permet un comparatif des résultats inter-annuels non seulement au sein d'une structure mais également entre différentes structures. Il est important de tendre vers une homogénéisation des protocoles d'études pour développer ensemble des stratégies de conservation efficaces et réduire au maximum le risque de collision à long terme.

Sur chaque TL, le MMO était posté à des endroits stratégiques sur le navire. Préférentiellement dans la passerelle sur le Terevau, l'A5 et l'A6. Puis à l'intérieur ou au dessus de la passerelle sur l'A2. Dès détection de baleine à bosse, la position du ou des individu(s) était immédiatement communiquée à l'équipage responsable de la navigation situé en passerelle dans la cabine de pilotage. En fonction de différents paramètres dont principalement la distance et l'angle d'observation, trois types de codes d'alerte étaient déclenchés: rouge, jaune et vert (Fig. 7).

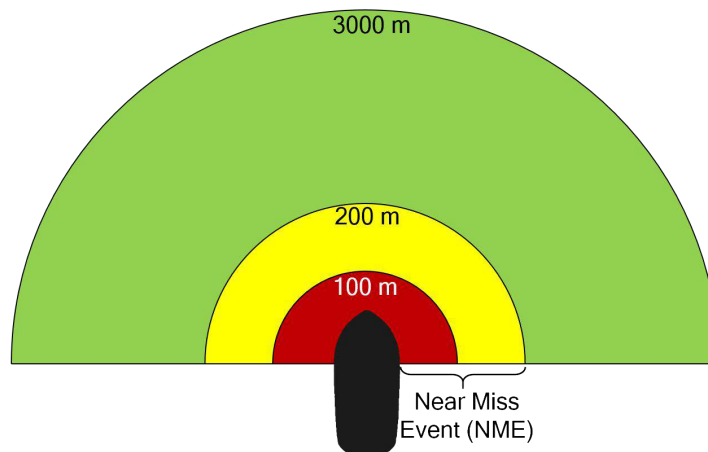


Fig. 7. Représentation des trois types de codes d'alerte déclenchés : rouge (0 - 100 m), jaune (100 m - 200 m) et vert (200 m - 3 000 m).

Ce qu'on définit comme une « collision évitée » (soit par l'animal soit par le bateau), est appelé Near Miss Event (NME; Fig. 7). Un NME dépend de la configuration de la rencontre entre l'animal et le navire. Aujourd'hui encore, il n'existe pas de définition claire et entérinée par tous. Au sein du réseau FLT (Fixe Line Transect), « une situation de collision est définie lorsqu'un animal est vu dans une zone carrée de 50 m de côté située devant la proue du bateau et que cet animal ne montre aucun comportement net d'attraction pour l'étrave du navire, mais semble plutôt non conscient de l'approche du navire » (David, L. et al, 2016).

Dans notre cas de figure et après consultation avec l'équipage des navires, le NME pour le projet Vigie Sanctuaire a été défini de la façon suivante: « lorsqu'un animal est vu dans un demi-cercle de 200 m de rayon situé devant la proue du bateau et que cet animal ne montre aucun comportement net d'attraction pour l'étrave du navire mais semble plutôt non conscient de l'approche du navire ». Le projet VS identifie donc les NME comme la somme des codes rouges et jaunes (Fig. 7).

Après avoir reçu un code rouge, le capitaine avait pour recommandation de balayer l'horizon et d'enclencher un changement de cap immédiat suivi ou non d'une réduction de vitesse. Dans les deux autres cas de code d'alerte, le capitaine choisissait d'adapter sa navigation en fonction des paramètres de distance, de position par rapport au cap du navire, de comportement et direction de nage de l'animal, de la vitesse et du chargement du navire et des conditions environnementales permettant un changement de cap ou pas. En ce qui concerne les MMO, après avoir transmis le code, ils devaient prendre un point GPS et consigner l'ensemble des paramètres d'étude sur des formulaires expert via l'application OBSenMER à l'aide d'Ipad 6.

## 5. Évaluation du risque de collision

Dans le but de mieux cibler les actions de conservation à mettre en place pour l'espèce étudiée, la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*), une évaluation du risque de collision entre cette espèce et les navires a été réalisée à partir d'un indice de risque calculé à l'aide des données récoltées sur l'ensemble du projet.

Cette évaluation des risques implique une estimation de l'aléa, des enjeux associés et de leur vulnérabilité (Leone & Vinet, 2006). L'aléa est défini ici comme la probabilité d'occurrence d'un événement potentiellement nuisible comme la collision (Leone & Vinet, 2006). Les enjeux sont les animaux, les biens, les équipements et l'environnement susceptibles de subir les préjudices induits par l'aléa (Leone & Vinet, 2006). La présente étude porte spécifiquement sur l'enjeu des baleines à bosse. Enfin, étroitement associée à la notion d'enjeu, la vulnérabilité se traduit par la fragilité d'un système dans son ensemble et sa capacité à surmonter la crise provoquée par l'aléa, ici il pourrait s'illustrer par le taux de mortalité en cas de collision (Leone & Vinet, 2006).

Dans ce but, l'importance et la répartition spatiale de l'aléa ont été quantifiées au travers d'analyses géostatistiques sur la zone d'étude, réalisées à l'aide du logiciel QGIS, version 3.10.1 (Équipe de développement de QGIS, 2018).

### 5.1 Évaluation de l'aléa, distribution spatiale de l'intensité du trafic maritime

L'aléa est représenté dans cette étude par un indice relatif d'intensité du trafic maritime appelé ITM, calculé en divisant le nombre total de trajets ayant traversé une maille de 200x200m par le nombre total de trajets réalisés au cours de notre période d'échantillonnage sur la route entre Tahiti et Moorea.

Lors du transect, un point GPS est enregistré tous les 100 m ou toutes les 5 minutes si le bateau a parcouru moins de 100m via le GPS intégré des tablettes. La vitesse des navires a ensuite été calculée automatiquement par l'application OBSenMER via ces relevés. Une double vérification quotidienne a été assurée grâce aux données disponibles sur le site internet MarineTraffic. Chaque navire de l'étude y est inscrit et des données de vitesses issues des informations AIS (Automatic Identification System) sont transmises. Ces données de vitesse ont permis de comparer la vitesse moyenne de chaque bateau entre les différentes zones d'étude, et particulièrement entre les passes de Papeete et de Vaiare (Annexe 3).

L'usage de l'AIS est obligatoire pour éviter le risque de collision entre les navires de plus de 300 tonneaux effectuant des navigations internationales, ou entre les navires transportant plus de 12 passagers, comme le Terevau et les navires Aremiti (A2, A5 et A6), et le reste du trafic (Organisation Maritime Internationale, 2004). L'usage de l'AIS est seulement préconisé pour les navires de taille inférieure comme les petits navires de commerce, pêche et plaisance (Organisation Maritime Internationale, 2004). Enfin une troisième vérification journalière est effectuée en comparant les mesures des instruments du navire et les relevés OBSenMER.

### 5.2 Évaluation de l'enjeu, distribution spatiale des baleines à bosse

La présente étude porte spécifiquement sur l'enjeu écologique associé à l'espèce *Megaptera novaeangliae*, la baleine à bosse. Cette espèce représente un enjeu car elle est présente chaque année de juillet à décembre pour la reproduction, la mise bas et le repos. La distribution de l'enjeu a été obtenue en croisant une grille de mailles de 200x200m et le repositionnement approximatif des points GPS représentant la localisation réelle de nos individus. Tous nos points ayant été pris à bord des navires, en notant précisément l'angle et la distance d'observation du cétacé à l'instant de la prise du point GPS, il a été choisi de faire ce repositionnement pour obtenir la position réelle de nos individus au moment de la prise du point GPS. Cette position approximative réelle a été obtenue en convertissant nos coordonnées polaires (angle et distance) en coordonnées cartésiennes (x, y).

Afin d'identifier les variables ayant un effet sur la distribution de l'enjeu, nous avons construit des modèles de régression incluant une variable spatiale, 1) la zone d'étude dans laquelle l'observation était située (zone portuaire de Papeete, zone portuaire de Vaiare et Route maritime entre les deux îles), et deux variables temporelles, 2) le mois (de juillet à décembre) et 3) le moment de la journée (avant 9h, de 9h à 12h, de 12h01 à 15h et après 15h). Une variable de pondération a été ajoutée pour prendre en compte la différence de taille entre les trois zones d'étude. Cette variable correspond, pour chaque observation, à la longueur du trajet parcouru par le bateau concerné dans la zone donnée. Les modèles et analyses statistiques sont détaillés en annexe 3.

### 5.3 Évaluation de la vulnérabilité, taux de mortalité en cas de collision

Enfin, étroitement associée à la notion d'enjeu, la vulnérabilité se traduit par la fragilité d'un système dans son ensemble ou d'une population et sa capacité à surmonter la crise provoquée par l'aléa (Leone et Vinet, 2006). Ici elle sera représentée par le taux de mortalité en cas de collision qui représente la capacité de l'espèce à survivre et à se remettre d'un impact avec un navire. Cet indice de vulnérabilité (Vtm) a été décrit ci-dessous et sera associé à d'autres paramètres pouvant influencer l'événement d'une collision.

Un moyen de représenter la vulnérabilité d'une espèce à une menace est en calculant sa capacité à se rétablir de cet aléa. Dans cette étude nous avons considéré que la capacité d'une baleine à se rétablir d'une collision pouvait être représenté par son taux de survie (Vtm). Or selon Vanderlaan et Taggart, (2007), ce facteur est directement relié à la valeur de la vitesse du navire lors de la collision (Fig. 8).

En considérant qu'une collision aurait pu avoir lieu au sein de chaque maille de 200x200m où une baleine a été observée, nous avons déterminé le taux de mortalité probable en fonction de la vitesse moyenne de l'ensemble des navires ayant traversé cette maille. La probabilité de collision létale (P lethal) en fonction de la vitesse des navires (speed) est décrit selon :  $P \text{ lethal} = 1 / 1 + \exp^{-(-4.89 + 0.41 \text{speed})}$

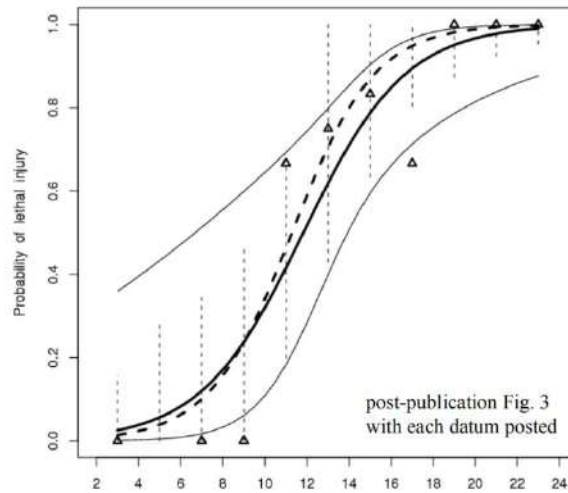


Fig. 8. Extrait de Vanderlaan et Taggart, 2007.

*Probabilité d'une blessure mortelle résultant d'un impact d'un navire avec un grand cétacé en fonction de la vitesse du navire basée sur la régression logistique simple (ligne noire épaisse) et IC à 95% (lignes fines grises de part et d'autres) et la logistique ajustée aux distributions de probabilité prédites bootstrapées (ligne pointillée épaisse) et IC à 95% pour chaque distribution (ligne pointillée verticale) où chaque donnée correspond à la proportion de baleines tuées ou de plusieurs blessées lorsqu'elles sont heurtées par un navire naviguant dans une classe de vitesse à deux nœuds donnée. Il n'y a pas de données dans la classe de vitesse 4 - 6 nœuds.*

#### 5.4 Calcul de l'indice de risque relatif

Le risque de collision a été évalué à l'aide d'un indice de risque relatif décrit ci-dessous.

Une zone à haut risque est définie dans cette étude comme la présence d'une forte intensité de navigation et de forte fréquentation par des baleines au sein d'une même unité de planification, ici des mailles de 200x200m. La taille de cette unité de planification a été choisie en fonction de la distance d'observation maximale, entre un cétacé et un navire, à partir de laquelle un risque moyen de collision (code jaune) est déclenché.

L'identification des zones prioritaires de conservation sera établie à partir d'un Indice de Risque relatif (IRr) inspiré d'un indice similaire présenté par Halpern et al., dans ses études de 2008a, 2008b et 2007. De tel sorte que :

$$\text{IRr} = \text{Itm} * \text{E} * \text{VG}$$

L'IRr de l'aléa de collision sur les baleines à bosse a été calculé pour chaque maille de 200x200m, en multipliant un indice relatif d'Intensité du trafic maritime (Itm) à la présence ou l'absence de nos baleines à bosse (E) pondéré par un indice de Vulnérabilité Global (VG). Ce dernier indice regroupe les facteurs influençant l'évènement de la collision et le taux de mortalité probable de la baleine si un accident survenait, représentant la vulnérabilité probable de l'espèce au risque de collision.

Selon Halpern et al. (2007), la vulnérabilité d'un enjeu face à une menace doit impérativement être prise en compte pour évaluer l'impact relatif d'une menace sur une espèce ou sur un écosystème. À partir des travaux de Wilson et al., (2005) résumant les diverses méthodes d'évaluation de ce paramètre de pondération, Halpern et ses collaborateurs (2007) ont calculé des indices de vulnérabilité relatifs à 38 activités humaines menaçant 23 types d'écosystèmes. Cet indice VG n'ayant pas été calculé pour la menace de collision sur les baleines à bosse en particulier, nous avons choisi de créer une valeur de vulnérabilité de l'enjeu baleine à bosse en fonction de la menace basée sur la méthode d'Halpern et al (2007), en accord avec notre étude et adaptée à notre contexte.

Considérant que l'impact de l'aléa (Itm) sur l'enjeu (E), dépend non seulement de la capacité de la baleine à se rétablir de la collision mais aussi des paramètres influençant la probabilité de l'événement de collision, nous avons listé dans l'Annexe 4, sept paramètres cumulés, appelés Vx, avec x correspondant à chaque type de facteur, pouvant modifier la valeur de la probabilité de collision.

Selon Halpern et al. (2007), depuis plusieurs années, de nombreuses organisations de conservation cherchent des moyens et élaborent des modèles de hiérarchisation des priorités pour les actions de conservation dans le milieu marin. Ces priorités sont le plus souvent établies en classant l'impact d'une ou des menaces sur un ou des enjeux. Le problème de la méthode de classement des menaces est qu'il existe des centaines de combinaisons possibles entre la menace et l'écosystème ou la population. En conséquence, les gestionnaires responsables de la conservation ont généralement recours à l'opinion d'experts sur la manière dont les menaces affectent les écosystèmes. Le problème de cette méthode de classement est qu'elle est grandement dépendante de l'évaluateur. Pour pouvoir quantifier cet effet de l'évaluateur, il est possible d'inclure une mesure de certitude permettant de pondérer les classes sélectionnées pour chaque facteur de vulnérabilité en fonction du niveau de certitude du classement de chaque facteur influençant notre menace. C'est pourquoi nous avons inclus une mesure qualitative de certitude permettant de modérer l'ampleur de la vulnérabilité. Dans cette étude nous avons sélectionné 9 paramètres pour évaluer cette certitude notée Cx. Nous avons attribué une certitude de l'évaluation de chaque Vx à une échelle d'influence du risque de collision classée de 1 à 4. Soit 1 une influence faible sur la survenue d'une collision, 2 une influence moyenne de cette probabilité, 3 une influence forte et 4 la plus grosse influence possible sur cet aléa. Ensuite les indices de certitude ont été normalisés pour qu'ils soient compris entre 0 et 1, tel qu'un indice de certitude de 3 est normalisé à  $3 / 4 = 0,75$ .

Le produit de chaque indice de vulnérabilité et de sa propre certitude a été additionné, pour ensuite être divisé par le score maximum pouvant être obtenu si tous les paramètres sont au plus haut risque (soit 28) tel que :

$$VG = \frac{[(V_{do} * C_{do} * C_{exp} * C_{mmo}) + (V_{ind} * C_{ind} * C_{exp} * C_{mmo}) + (V_{pnav} * C_{pnav}) + (V_{vent} * C_{vent}) + (V_{visi} * C_{visi}) + (V_{vit} * C_{vit}) + (V_{tm} * C_{tm})]}{28}$$

Afin de déterminer où le risque de collision est le plus élevé, nous avons modélisé l'IRr en fonction de la zone d'étude dans laquelle le bateau était situé lors de l'observation (zone portuaire de Papeete, zone portuaire de Vaiare ou Route maritime entre les deux îles), pondérée par la longueur du trajet parcouru par le bateau concerné dans la zone donnée (Annexe 3).

## 6. Campagne de sensibilisation

L'objectif de cette campagne sensibilisation VS – 2ème édition est de faire prendre conscience aux usagers de la mer, de leur rôle et de leur responsabilité dans la préservation : à petite échelle de la baleine à bosse, à grande échelle de la biodiversité de Polynésie française.

### 6.1 Supports de communication

Une affiche format A3 (100 exemplaires) et un flyer trois volets (500 exemplaires) ont été réalisés afin de donner une grande visibilité au projet Vigie Sanctuaire - 2ème édition. L'impression de stickers officiels VS (200 unités) s'ajoute à ces deux supports conventionnels. Les affiches ont été remises à nos partenaires pour un affichage au sein de leur entreprise, accrochées sur de nombreux panneaux publics et lors de journées événementielles environnementales réunissant quelques milliers de personnes. Les flyers ont été remis à nos partenaires et distribués principalement à bord des navires. Ce type de supports a permis de sensibiliser de façon indirecte un large public.

### 6.2 Vidéos officielles VS

L'engouement du grand public pour les vidéos petit format (moins de 2 minutes) nous a encouragé à réaliser deux supports audiovisuels pour assurer une diffusion grande échelle à bord des navires assurant la traversée Tahiti-Moorea ainsi que sur les réseaux sociaux (Facebook & Youtube) pendant 4 mois. Deux vidéos ont été réalisées par un vidéaste professionnel, Mr Anthony Lagant. La première fut

diffusée du 15 juillet au 15 septembre 2019 et mettait en valeur la collaboration et l'entraide entre le MMO et le capitaine du navire. La deuxième, diffusée du 15 septembre au 15 novembre 2019, présentait le projet VS ainsi que les actions de l'association Oceania.

### 6.3 Supports d'éducation environnementale

En collaboration avec les deux compagnies maritimes Terevau et Aremiti et le Syndicat Fenua Ma, des ateliers de sensibilisation sur les cétacés ont été mis en place deux fois par semaine à bord des navires : les mercredis matin sur l'Aremiti Ferry 2 au début du projet puis transféré sur l'Aremiti 6 et les samedis matin sur le Terevau. Ces interventions ont été menées tout au long des 4 mois du projet VS. Notre éducatrice environnementale, Magali Lagant, a assuré la majorité des interventions à bord.

Un poster éducatif a été réalisé présentant l'espèce étudiée: la baleine à bosse. Ce support a été imprimé grâce au soutien financier de Tahiti Tourisme (Annexe 5).

### 6.4 Conférences grand public

Les données acquises lors de ce programme d'étude ont été restituées à l'ensemble des partenaires lors d'une conférence privée le mardi 11 février 2020 au deuxième étage de la gare maritime de Papeete dans les locaux de PEW et au grand public via deux conférences publiques : le samedi 15 février 2020 à 14h00 au débarcadère de Pao Pao sur Moorea, et le mercredi 19 février 2020 à 18h00 au musée de la Perle Robert Wan sur Papeete.

Elles ont permis de diffuser plus largement les résultats de cette étude et d'évoquer les menaces actuelles qui pèsent sur les populations de cétacés dans le monde et plus particulièrement en Polynésie française.

## IV- Résultats

### 1- Effort d'observation

Vigie Sanctuaire - 2ème édition s'est déroulée du 15 juillet au 15 novembre 2019. La période d'échantillonnage représente une surveillance de 739 heures, réalisée à bord des navires A2, A5, A6 et Terevau représentant un effort de 23 897 km parcourus sur la période d'étude ; soit 1068 trajets (Fig. 9).

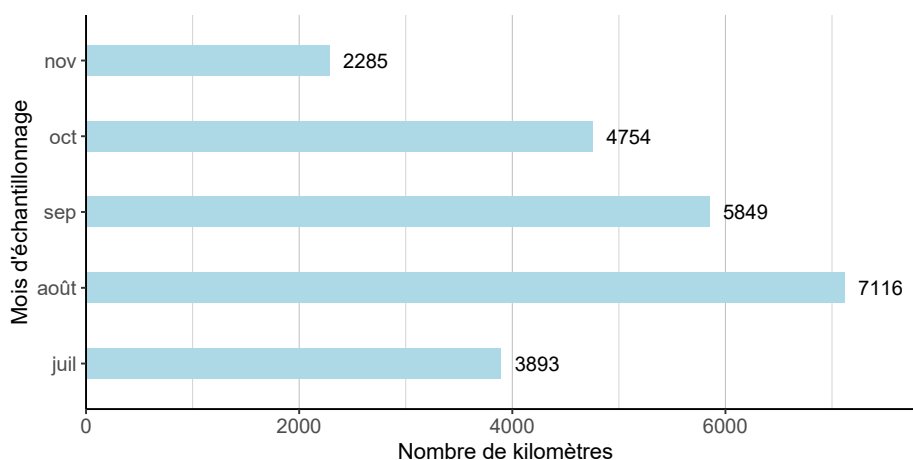


Fig. 9. Effort d'observation en fonction des mois sur l'ensemble du projet VS – 2ème édition.

## 2- Évaluation de l'aléa

La vitesse moyenne des quatre bateaux confondus varie de 20.8 à 36.3 nœuds en pleine mer sur la route maritime, de 11.9 à 15.2 nœuds dans la zone portuaire de Papeete et de 15.3 à 23.6 nœuds dans celle de Vaiare (Tableau 1, Fig. 10, 11, 12, 13 et 14). La vitesse en entrée de passe de chaque bateau n'est pas différente entre Papeete et Vaiare, bien que l'Aremiti 6 montre une tendance à franchir plus vite la passe de Vaiare que celle de Papeete (Tableau 1; Fig. 10).

Tableau 1. Vitesse moyenne (en nœuds) des quatre navires assurant la liaison Tahiti-Moorea sur la route maritime entre les îles, dans les deux zones portuaires (quai, lagon et passe) et dans les passes uniquement.

Bateaux	Route	Zone portuaire		Passe	
		Papeete	Vaiare	Papeete	Vaiare
<b>Aremiti 5</b>	25.2	15.2	19.3	25.09	25.14
<b>Aremiti 6</b>	36.3	14.5	23.6	28.26	34.64
<b>Aremiti Ferry 2</b>	20.8	11.9	15.3	19.79	20.29
<b>Terevau</b>	29.7	15.5	22.0	28.09	28.98

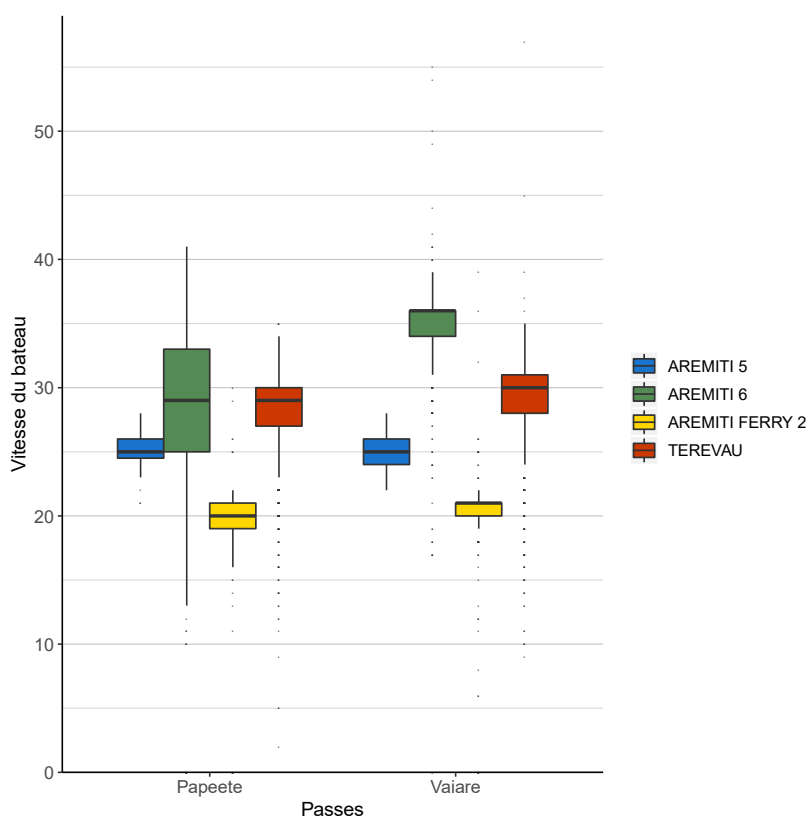


Fig. 10. Vitesse moyenne (en nœuds) des navires dans les passes de Papeete et de Vaiare.



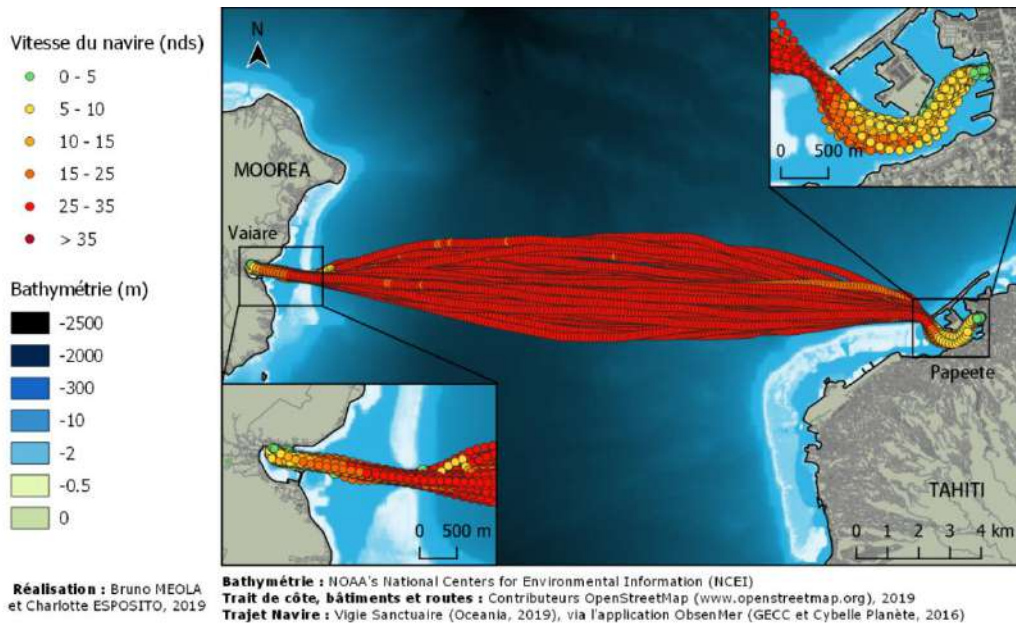


Fig. 11. Représentation de l'ensemble des trajets du navire Terevau en fonction de sa vitesse.

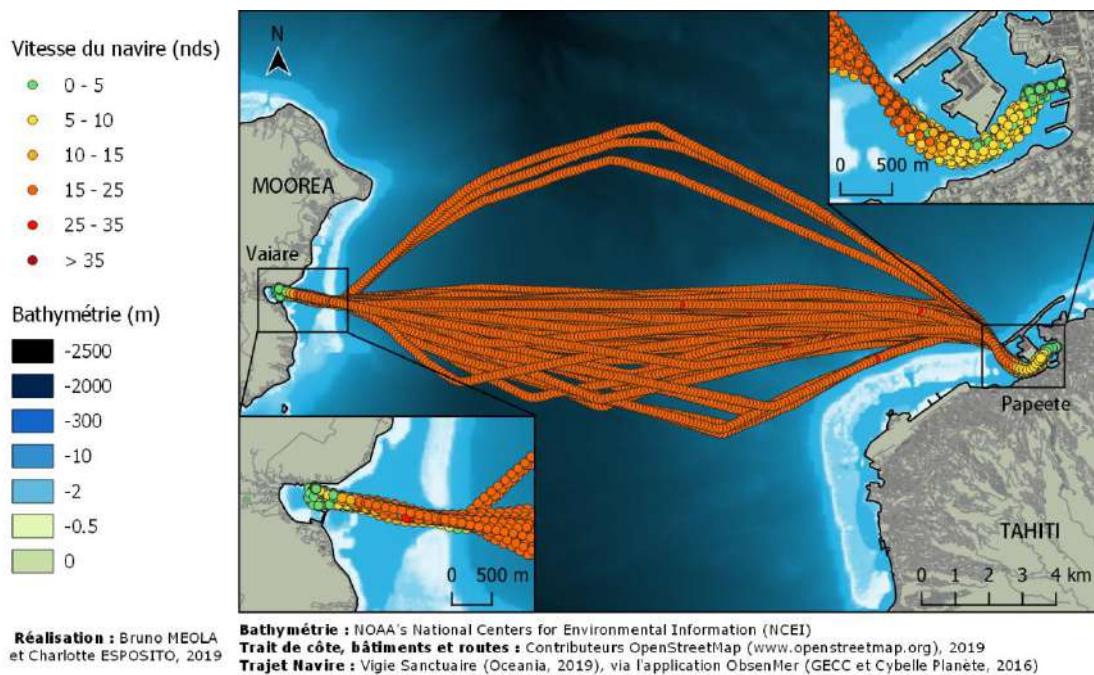
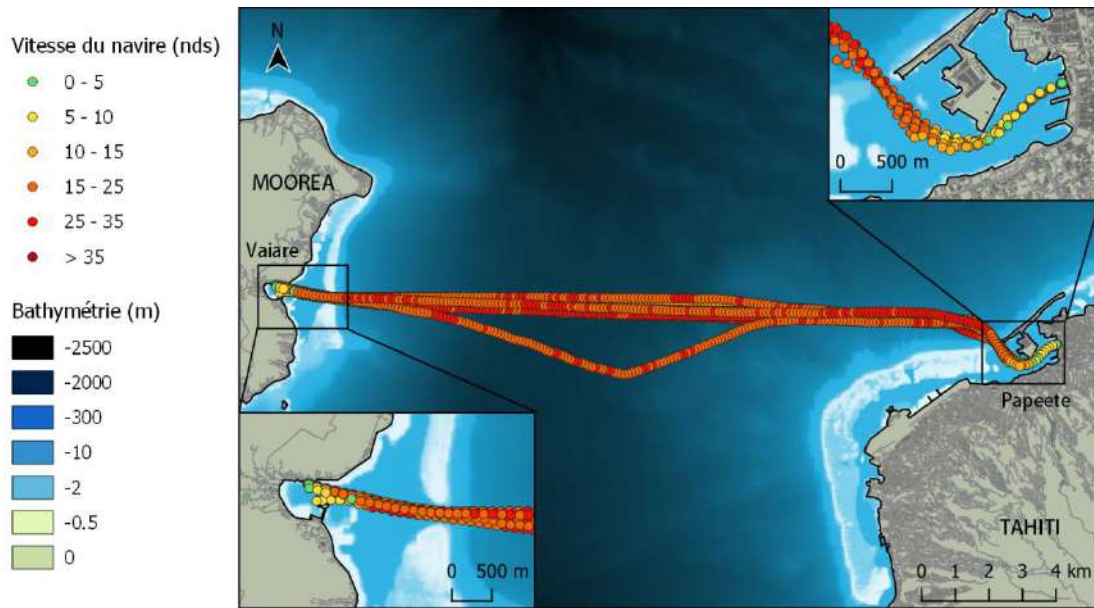
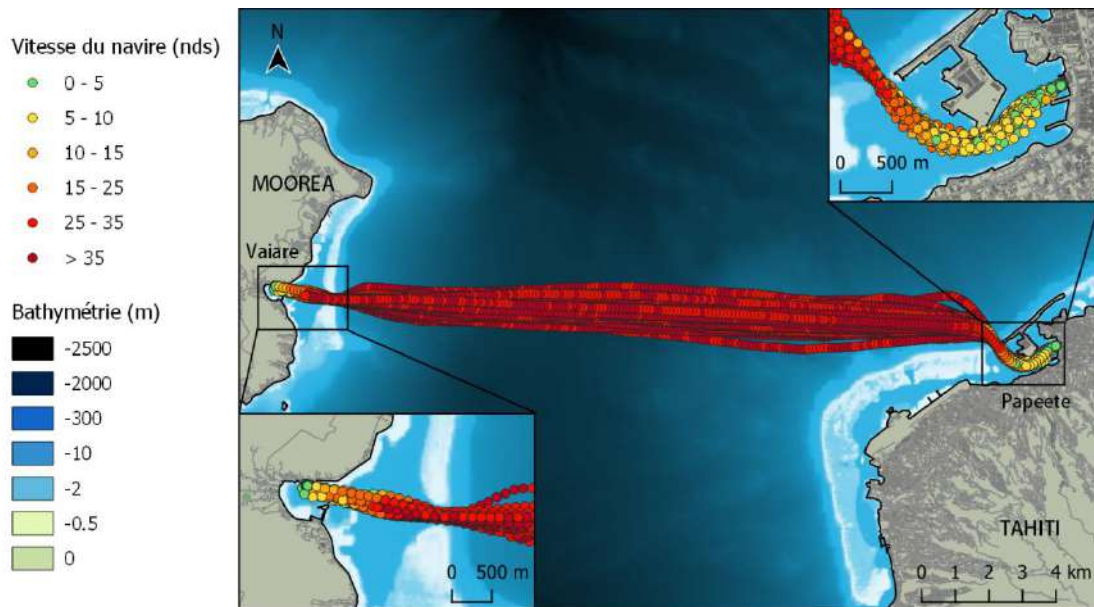


Fig. 12. Représentation de l'ensemble des trajets du navire Aremiti Ferry 2 en fonction de sa vitesse.



**Réalisation :** Bruno MEOLA et Charlotte ESPOSITO, 2019  
**Bathymétrie :** NOAA's National Centers for Environmental Information (NCEI)  
**Trait de côte, bâtiments et routes :** Contributeurs OpenStreetMap ([www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)), 2019  
**Trajet Navire :** Vigie Sanctuaire (Oceania, 2019), via l'application ObsenMer (GECC et Cybelle Planète, 2016)

Fig. 13. Représentation de l'ensemble des trajets du navire Aremiti 5 en fonction de sa vitesse.



**Réalisation :** Bruno MEOLA et Charlotte ESPOSITO, 2019  
**Bathymétrie :** NOAA's National Centers for Environmental Information (NCEI)  
**Trait de côte, bâtiments et routes :** Contributeurs OpenStreetMap ([www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)), 2019  
**Trajet Navire :** Vigie Sanctuaire (Oceania, 2019), via l'application ObsenMer (GECC et Cybelle Planète, 2016)

Fig. 14. Représentation de l'ensemble des trajets du navire Aremiti 6 en fonction de sa vitesse.

### 3- Répartition de l'enjeu et sa vulnérabilité

#### 3.1 Distribution de l'aléa représenté par les codes déclenchés

La surveillance assurée par les MMO sur la zone d'étude a permis de déclencher un total de 277 codes (228 verts, 35 jaunes et 14 rouges; Fig. 15). Selon notre définition, le projet VS - 2ème édition déclare avoir répertorié 49 NME sur l'ensemble du projet, soit sur 121 jours (Fig. 16).

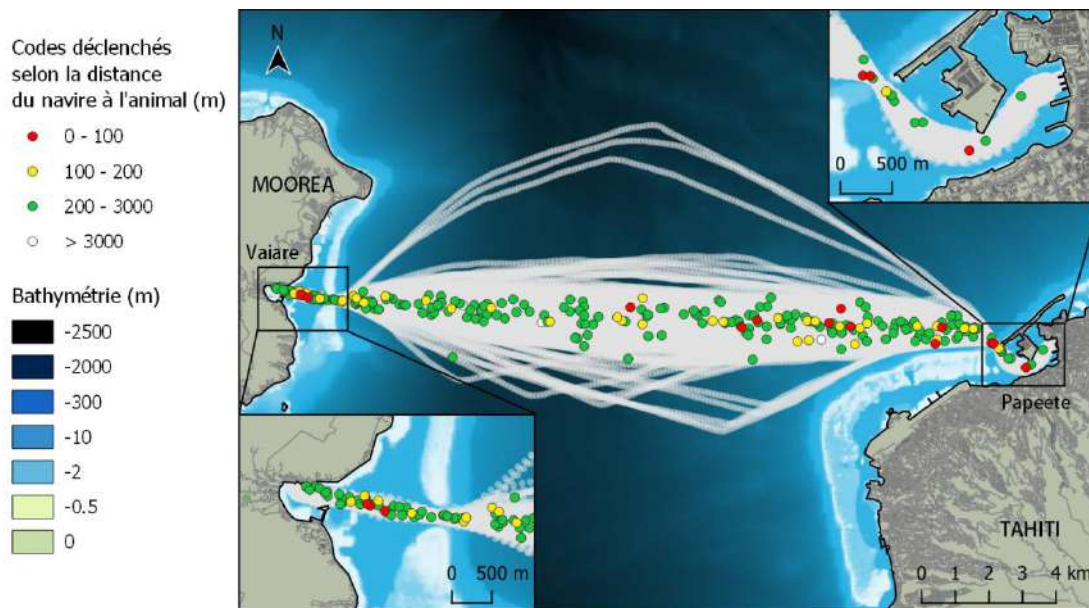


Fig. 15. Distribution spatiale réelle de tous les codes déclenchés à bord des navires sur l'ensemble du projet VS -2ème édition.

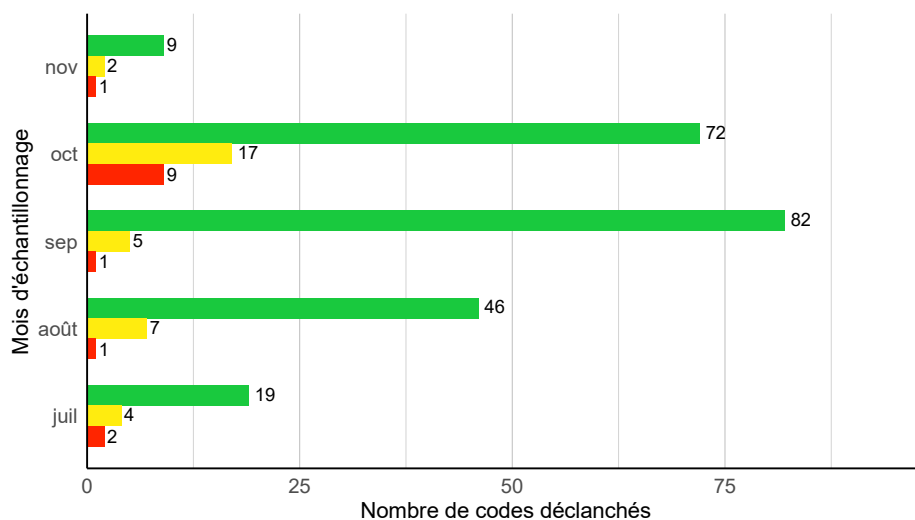


Fig. 16. Nombre de codes déclenchés par mois en fonction de leur couleur d'alerte (rouge, jaune et vert).

La distribution des NME variait au cours de la saison (Fig. 16; ANOVA;  $p < 0.001$ ). En effet, le nombre de NME était significativement plus élevé en octobre que durant les autres mois (Tukey;  $p < 0.001$ ). Le moment de la journée semblait également avoir un effet sur le nombre de NME (ANOVA;  $p < 0.05$ ) cependant il n'était plus significatif lorsque les périodes étaient comparées deux à deux. L'effet spatial révélé par l'ANOVA ( $p < 0.05$ ; Fig. 17) n'était également plus significatif lorsque les zones d'études étaient comparées deux à deux. La présence de trois comptes élevés de codes rouges et jaunes en pleine mer et tôt le matin est certainement à l'origine des résultats observés sur l'effet de ces deux variables (moment de la journée et zone d'étude) sur le nombre de NME.

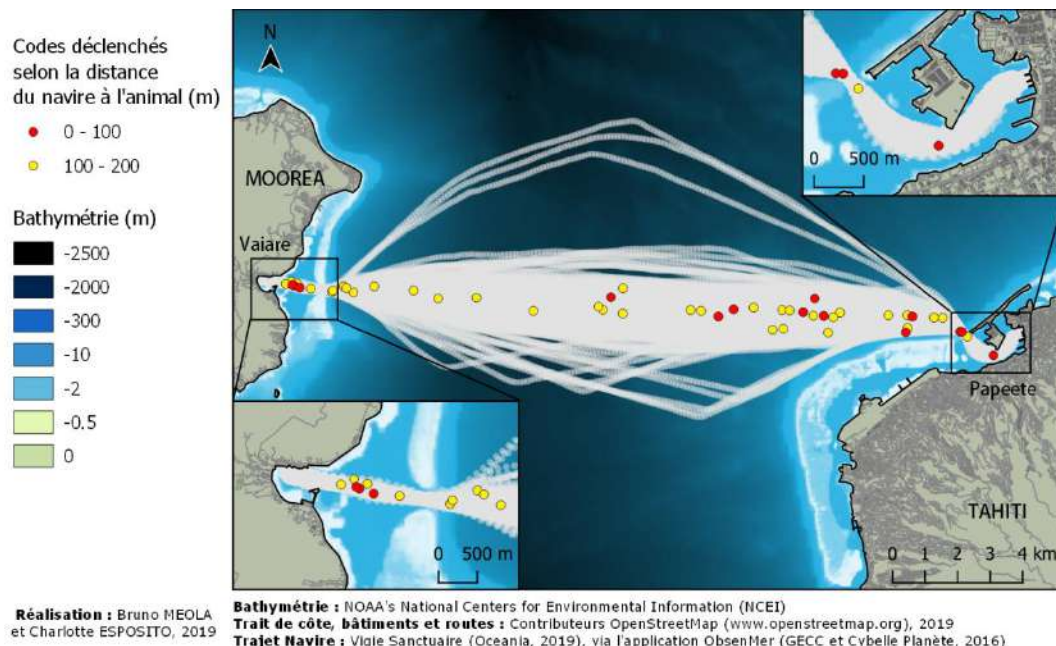


Fig. 17. Distribution spatiale des codes jaunes et rouges uniquement, déclenchés à bord des navires sur l'ensemble du projet VS - 2ème édition.

### 3.2 Distribution de l'enjeu "baleine à bosse"

Sur les 277 observations de baleine à bosse au cours de la saison 2019, 226 ont été comptabilisées sur la route entre les îles et 7 et 39 dans les zones portuaires de Papeete et Vaiare, respectivement. Après repositionnement, cinq observations apparaissaient à terre et n'ont pas été prises en compte pour les analyses. Lorsque les comptes étaient pondérés, le nombre d'observations était significativement plus élevé dans la zone portuaire de Vaiare que dans celle de Papeete (Tukey;  $p < 0.001$ ) et que sur la route entre les deux îles (Tukey;  $p < 0.001$ , Fig. 19).

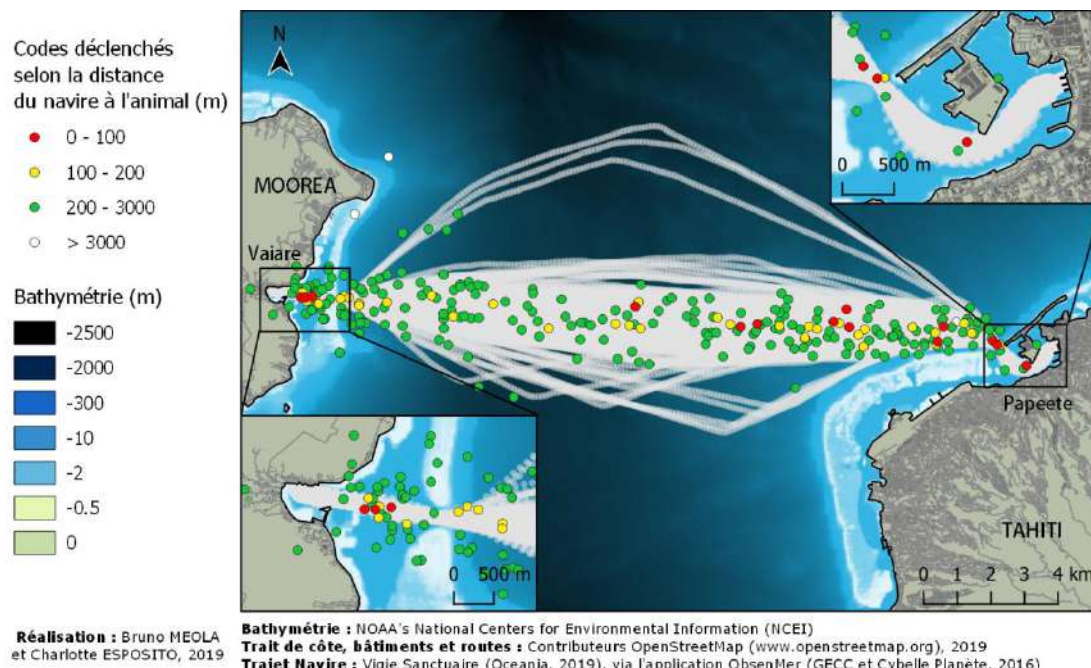


Fig. 19. Distribution spatiale approximative des baleines à bosse lors des déclenchements des codes verts, jaunes et rouges.

De plus, un effet significatif du mois (ANOVA;  $p < 0.001$ ), mais pas du moment de la journée (ANOVA;  $p = 0.051$ ), sur le nombre d'observations a été révélé. En effet le nombre d'observations augmentaient significativement au cours de la saison, avec un pic en octobre, puis une baisse en novembre (Fig. 20). Il est intéressant de noter qu'en 2018, le pic d'observations avait été identifié en août-septembre (Fig. 21), ce qui suggère que l'effet du mois sur le nombre d'observations est sujet à des variations inter-annuelles.

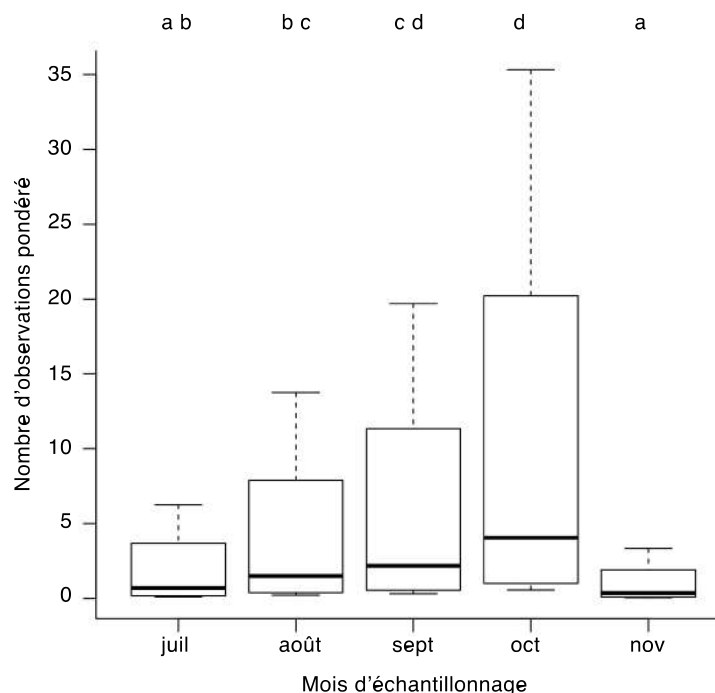


Fig. 20. Nombre d'observation de baleine à bosse au cours de la saison 2019. Les lettres en haut du graphique indiquent les différences significatives entre les mois comparés deux à deux : le nombre d'observations est significativement différent entre les mois n'ayant pas de lettre commune (e.g. oct et nov).

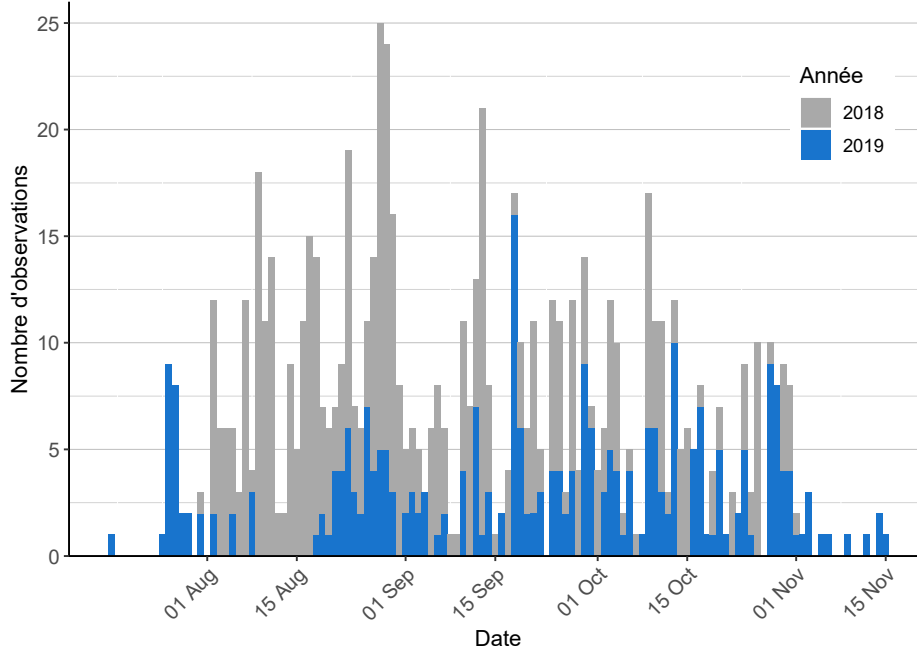


Fig. 21. Nombre d'observations de baleines à bosse relevées au cours des deux saisons d'échantillonnage.

### 3.3 Structure de la population

Au cours de la saison 2019, au minimum 450 baleines ont été observées, dont au minimum 103 étaient des baleineaux. La proportion des observations incluant au moins un baleineau était significativement différente entre les zones d'étude, avec le plus grand ratio dans la zone portuaire de Papeete (85,7%;  $\chi^2$ ;  $p < 0.01$ ), suivie de celle de Vaiare (59,0%;  $\chi^2$ ;  $p < 0.01$ ), et la plus faible proportion sur la route maritime entre les îles (31,9%;  $\chi^2$ ;  $p < 0.01$ ; Fig. 22a, 23 et 24). Une variation temporelle a également été révélée entre les moments de la journée ( $\chi^2$ ;  $p < 0.05$ ) mais pas entre les mois ( $\chi^2$ ;  $p = 0.09$ ). En effet la proportion observée de baleineaux était significativement plus haute après qu'avant midi ( $\chi^2$ ;  $p < 0.05$ ; Fig. 22b et c).

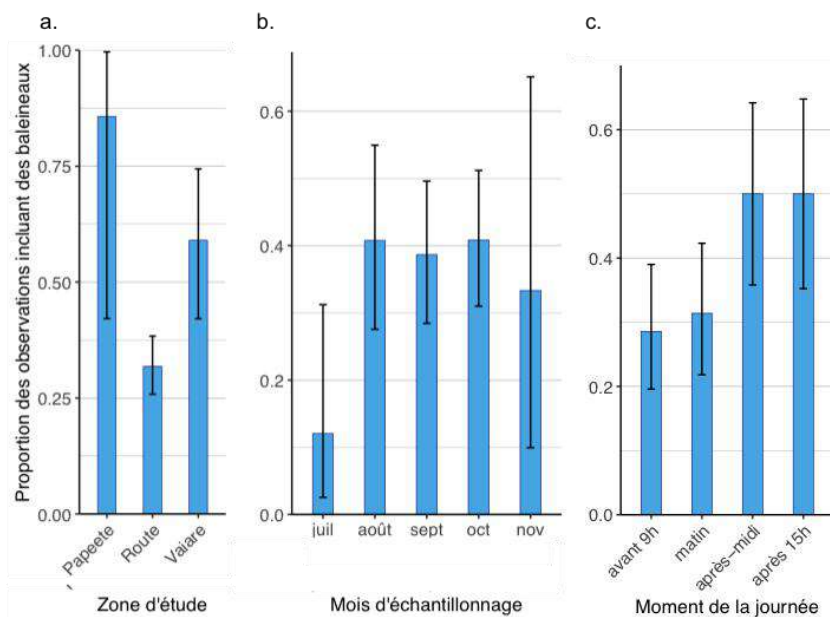


Fig. 22. Proportion (et intervalles de confiance à 95%) des observations incluant au moins un baleineau pour chaque niveau de chaque variable explicative.

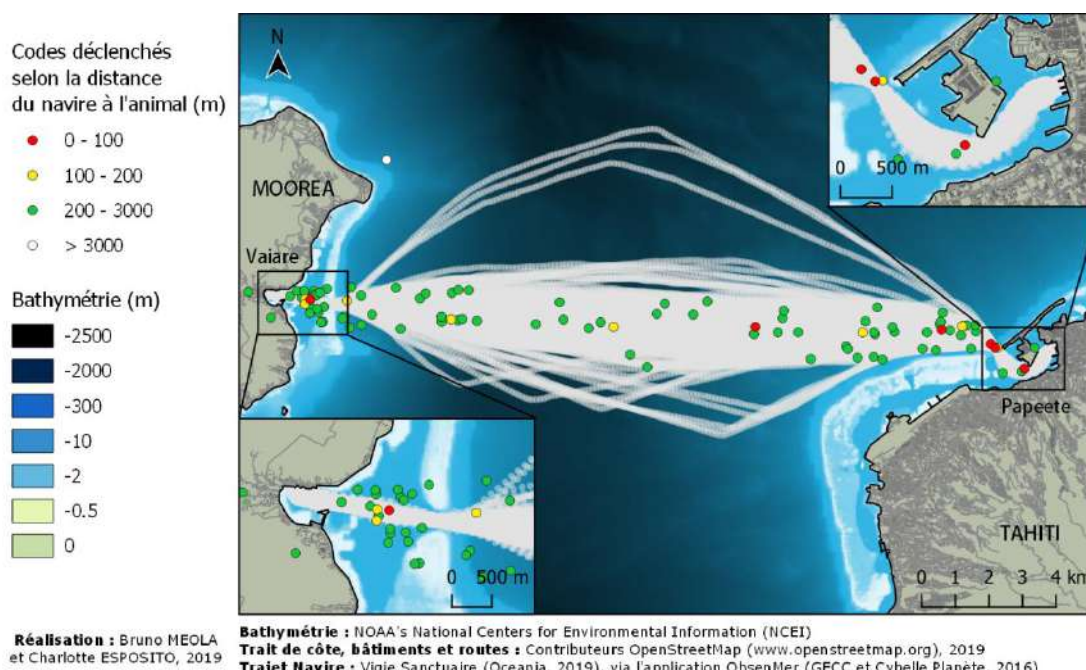


Fig. 23. Distribution spatiale approximative des duos mères-baleineau ayant déclenché un code vert, jaune ou rouge.

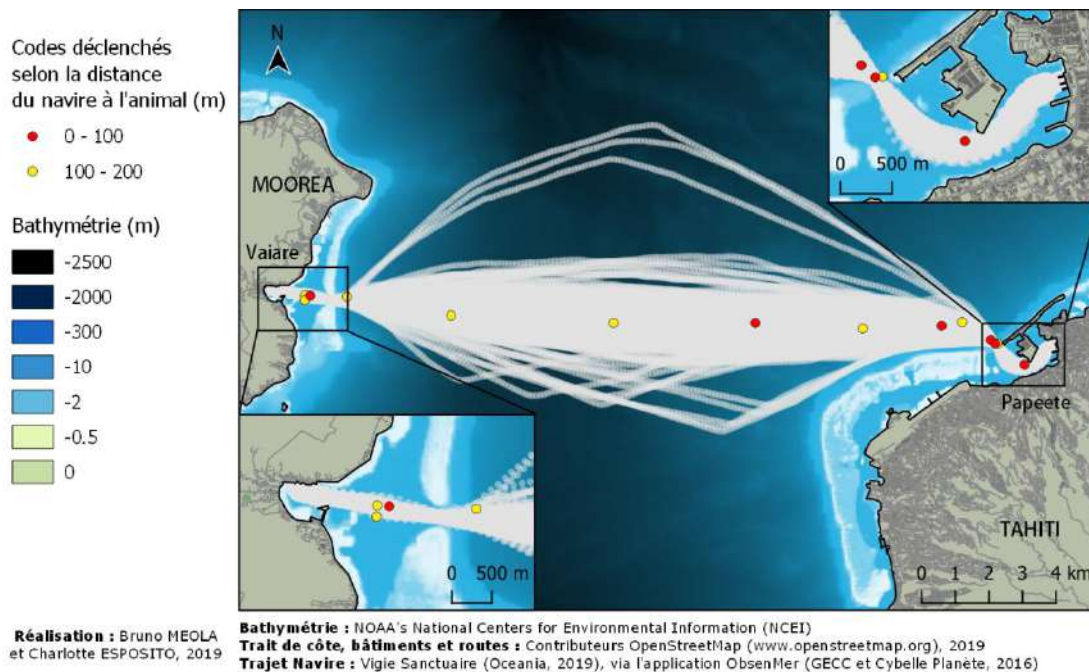


Fig. 24. Distribution spatiale approximative des duos mères-baleineau ayant déclenché un NME (code jaune ou rouge).

Sur les 277 observations de la saison 2019, 37% incluait au moins un baleineau. En comparaison, en 2018, cette proportion était significativement plus faible, avec seulement 20% des observations incluant au moins un baleineau ( $\chi^2$ ;  $p < 0.001$ ; Tableau 2 et Fig. 25).

Tableau 2. Comptes et proportions des observations incluant au moins un baleineau lors des deux saisons d'échantillonnage.

Année	Adulte.s seulement	Avec baleineaux	Total	Proportion d'observations avec baleineaux
2018	386	99	485	20,4%
2019	174	103	277	37,2%

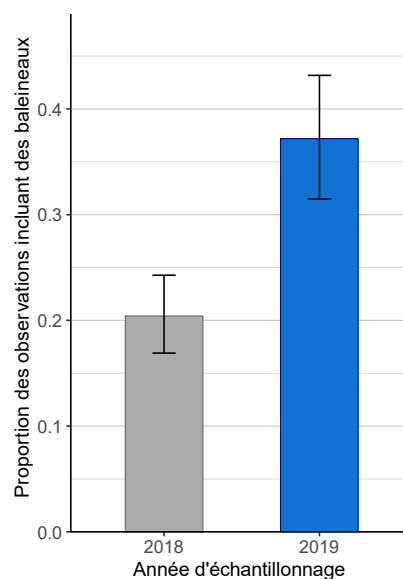


Fig. 25. Proportion des observations incluant au moins un baleineaux pour chaque année d'étude, avec les intervalles de confiance à 95%.

### 3.4 Indice de risque de collision

Le risque de collision n'était pas uniformément réparti le long de la route des bateaux (ANOVA;  $p < 0.001$ ; Fig. 26). En effet, l'indice de risque de collision était significativement plus élevé dans les zones portuaires de Papeete (IRr moyen = 0.42; Tukey;  $p < 0.001$ ) et de Vaiare (IRr moyen = 0.36; Tukey;  $p < 0.001$ ) qu'en pleine mer (IRr moyen = 0.13). La différence n'était pas significative entre les deux zones portuaires, mais on note une plus grande variabilité à Vaiare qu'à Papeete, où l'IRr était toujours élevé (Fig. 27).

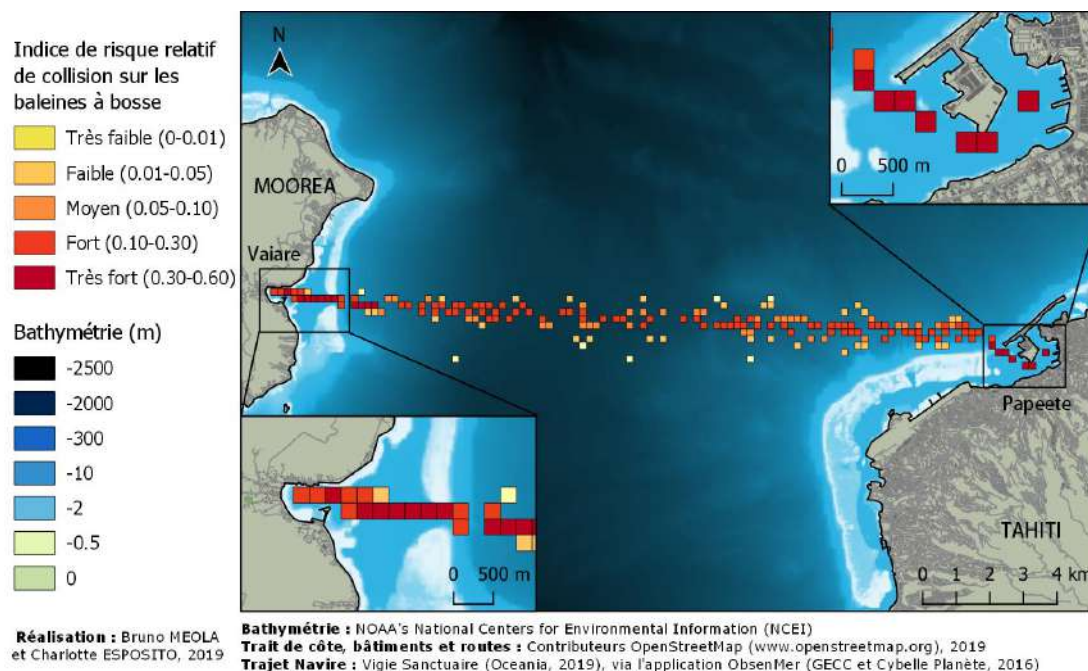


Fig. 26. Distribution spatiale du risque de collision.

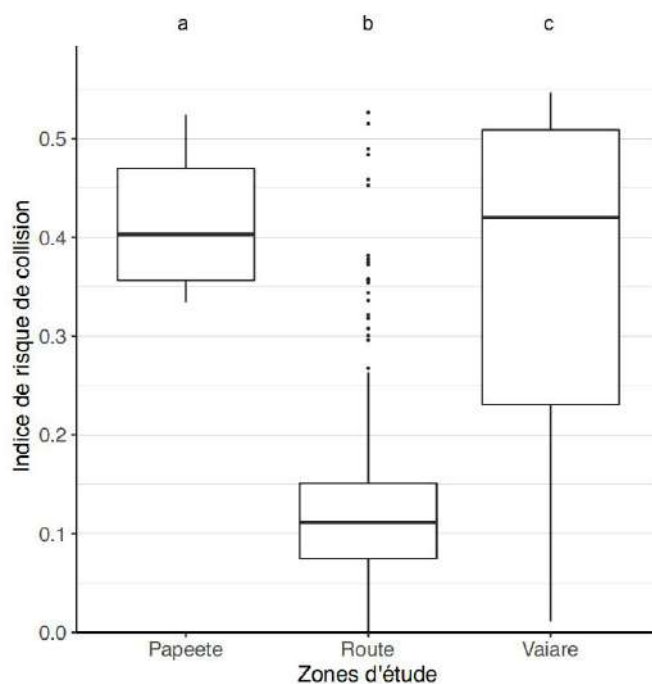


Fig. 27. Valeur de l'indice de risque de collision dans les trois zones d'étude. Les lettres en haut du graphique indiquent les différences significatives entre les zones comparées deux à deux : l'indice de risque de collision est significativement différent entre les zones n'ayant pas de lettre commune.



## V- Discussion

### 1. Effort d'observation

Les quatre mois de surveillance de la zone d'étude en 2019 représentent une augmentation d'un mois de l'effort d'observation en comparaison avec la première édition du projet. Cette extension a permis de couvrir la période la plus exhaustive possible et représentative de la saison des baleines à bosse. Il est à noter que sur les quatre plateformes d'observations, deux ont particulièrement été sollicitées, Terevau et Aremiti 6, afin de maximiser la couverture temporelle. Le jeu de données robuste obtenu au cours des deux saisons d'échantillonnage mettent en évidence des tendances qui permettront de proposer un protocole plus adapté et en adéquation avec le contexte et d'établir des recommandations pour une meilleure gestion du risque sur la zone.

Dans le cadre de notre étude, la méthode TL à bord des navires représente de nombreux avantages tels qu'un faible coût, une importante distance parcourue au vu des nombreuses rotations quotidiennes et une position de l'observateur surélevée, permettant d'augmenter la distance maximale de détection. Habituellement l'œil humain est capable de voir l'horizon à environ 4700 m quand il se situe à 1.73 m du niveau de la mer (Villemin, 2018). Nos MMO étant situés à une hauteur comprise entre 5.61 m et 20 m, leur capacité à voir l'horizon est beaucoup plus importante. Les inconvénients possibles de la méthode utilisée au cours de cette étude sont une vitesse rapide du navire sur la route (comprise entre 15 à 37 nœuds pour les navires Aremiti et 25 à 37 nœuds pour le Terevau) qui peut influencer sur la position des points GPS pris lors de l'observation car le MMO parcourt une distance importante en peu de temps. De plus, la priorité du MMO dans sa mission est donnée à la transmission du code d'alerte au capitaine. Cela induit probablement un décalage entre le moment de détection et la prise de données. Par exemple, au milieu de la route maritime, dans le cas où le navire évoluerait à une vitesse de 25 nœuds et si l'observateur met 1 minute à prendre le point GPS, un décalage de 750 m pourrait être induit sur la position du point. En tenant compte de la méthode de repositionnement des individus, donc de l'enjeu, et de la méthode d'évaluation de l'indice de risque, un tel biais pourrait altérer l'évaluation de l'emplacement des zones prioritaires de conservation de quelques mètres. Par conséquent et au vu de ces biais possibles le formulaire à remplir par le MMO entre la première édition du projet (2018) et la seconde (2019) a été réduit dans le but de rendre la prise de données plus rapide et ainsi augmenter au maximum la précision de nos données géographiques. Il est important de noter que l'expérience du MMO rend la prise de données de plus en plus optimale sur le long terme. Afin de limiter les biais de l'observateur et de tendre vers des MMO les plus expérimentés et réactifs possible, il est donc primordial de choisir des MMO permanents et de garder les mêmes observateurs sur l'ensemble de l'étude et affilié par navire.

Notre effort d'observation ne prend pas en compte tous les types de surveillance qui ont été déployés sur zone. En effet, il est à noter qu'une vigilance accrue est faite au niveau des passes. Dans un premier temps, une étude de vigie à terre (VAT) menée par notre association sur 8 semaines, représentant ainsi 80 h d'observations, a eu lieu au niveau des passes de Papeete et Vaiare. Seules trois observations ont été réalisées. La position des animaux a systématiquement été communiquée aux navires des deux compagnies dans le but de mieux anticiper les entrées et sorties de passes. Les résultats de cette étude ont été présentés dans un rapport de fin d'étude par Sariel Magnès, étudiant ingénieur à l'INSARA, et stagiaire durant 12 semaines au sein de notre association (Magnès, 2019). Dans un second temps, la vigie du port autonome de Papeete assurant une navigation en toute sécurité entre les navires, transmet systématiquement à Terevau, Aremiti 5, Aremiti Ferry 2 et Armeti 6 la présence d'individus à proximité des passes et dans le lagon. Certains prestataires whale-watching nous ont aussi communiqué régulièrement la position d'individus sur la zone d'étude, tout particulièrement au niveau de la passe de Vaiare. Afin d'optimiser au maximum cette communication entre les différents acteurs il est important de présenter le projet VS à tous. L'outil VHF semble le plus adapté pour la diffusion de message d'alerte.

## 2. Distribution spatiale de l'aléa "Trafic maritime"

### 2.1 Vitesse des navires

L'évaluation de l'aléa a été réalisée pour 4 navires représentant plus de 90% du trafic maritime sur la zone d'étude. La distribution spatiale des trajets de ces navires au cours de la saison se disperse sur une plus grande surface dû aux conditions météorologiques durant l'hiver austral qui oblige les capitaines à élargir leur route en s'éloignant plus au nord ou au sud. Il faut également garder à l'esprit que les conditions météorologiques peuvent grandement influencer la capacité de manœuvre et la vitesse du navire. Les capitaines des navires nous ont indiqué qu'ils étaient contraints, par mauvais temps, d'entrer dans les passes à une certaine allure par soucis de sécurité. Si des codes venaient à être déclenchés au cours de ces mauvaises conditions environnementales, il est possible qu'aucune manœuvre d'évitement ou de réduction de vitesse ne puisse être appliquée. Cependant, le programme Vigie Sanctuaire met en évidence une vitesse d'entrée en passe très élevée pour certains navires (e.g. A6), celle-ci pourrait éventuellement être réduite à celle du plus lent sur zone (e.g. A2). Cette réflexion sera menée avec l'équipage lors de notre troisième édition afin de mieux définir les possibilités sur zone et ainsi pouvoir les inclure à la liste de recommandations.

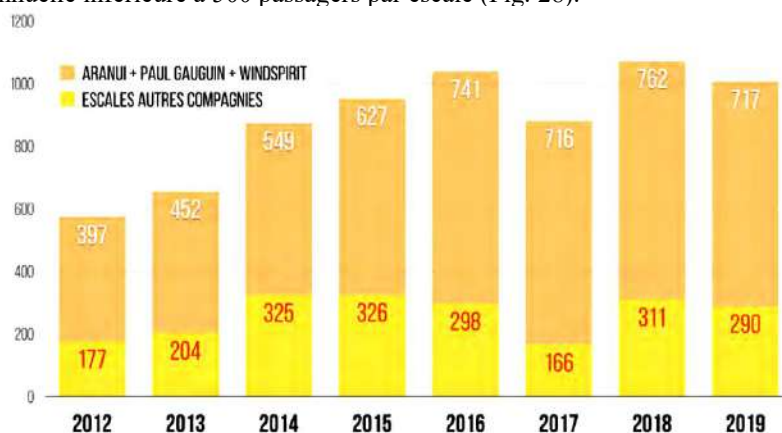
Malgré les conditions météorologiques de l'hiver austral, l'intensité du trafic est tout de même concentrée au milieu de notre zone d'étude, selon le trajet rectiligne le plus court reliant Moorea à Papeete. À l'avenir, pour s'approcher encore plus de la réalité, la présence d'autres types de navires sur zone devrait être considérée dans l'évaluation de l'intensité du trafic. Ce projet d'étude tend progressivement à inclure de plus en plus de navires pour être le plus exhaustif possible. Il sera par exemple question d'inclure les paquebots de croisière à l'édition 2020. En effet, ces derniers peuvent être amenés à traverser la zone d'étude et évoluer également sur d'autres zones présentant un risque de collision non négligeable. Durant la saison 2019, notre association a été sollicitée à plusieurs reprises concernant la présence d'individus dans la baie de Cook et d'Opunohu très fréquentés par les navires de croisières. Ces entrées et sorties de passes régulières représentent une menace pour les baleines à bosse durant la saison. Ainsi notre équipe envisage le déploiement d'une équipe de MMO à terre surveillant le nord de l'île de Moorea et ayant pour objectif de prévenir les capitaines de ces navires avant toutes entrées et sorties de passes.

La distribution des NME varie au cours de la saison et le nombre de NME est significativement plus élevé en octobre que dans le reste de la saison 2019. Ce pic est en accord avec le pic du nombre d'observations constaté pour cette deuxième édition durant le mois d'octobre également. En 2018, le pic d'observations avait été identifié en août-septembre. Ces résultats mettent en évidence la notion de variations inter-annuelles. Il n'est donc pas envisageable de prédire à l'avance la répartition de notre effort par rapport au risque sur la saison. La vigilance doit être assurée de juillet à novembre avec la même intensité.

La différence de nombre total de codes déclenchés entre 2018 (469) et 2019 (277) peut être le résultat de plusieurs facteurs. Tout d'abord, le contexte mondial est à considérer, l'impact du réchauffement climatique sur la disponibilité de la ressource alimentaire des grands cétacés n'est plus à prouver. Depuis les années 1920, le krill a déserté l'océan Austral pour migrer au sud, autour de l'Antarctique. Or, le krill sert de nourriture de base à de nombreuses espèces marines qui risquent donc d'être gravement affectées (Atkinson et al., 2019). Le krill a migré de 4 degrés de latitude vers le sud, soit 440 km plus bas. Le changement est surtout visible à partir de la fin des années 1980. La densité de krill s'est réduite et il s'est concentré sur un habitat beaucoup plus restreint autour de la plateforme antarctique (Atkinson et al., 2019). Un accès plus limité à la ressource alimentaire pourrait potentiellement avoir un impact sur l'arrivée des baleines à bosse sur leur zone de reproduction. De plus, la répartition des individus à l'échelle de la Polynésie française est très peu connue. En effet, une présence moins marquée en 2019 autour de Tahiti et Moorea ne signifie pas une diminution de la fréquentation à l'échelle du sanctuaire polynésien. Durant la saison, les observations reçues des îles éloignées ont été nombreuses. Il est important de prendre du recul sur le suivi de cette population et ne pas tirer des conclusions hâtives par manque d'informations. Il est donc primordial de développer une meilleure communication entre les îles dans le cadre d'un projet de conservation d'une espèce aussi emblématique.

## 2.2 Nombre des navires et évolution future

Depuis 10 ans, face aux difficultés rencontrées pendant la décennie précédente, la Polynésie française s'est organisée et a souhaité structurer avec méthode les conditions d'escales et d'opérations pour les opérateurs de croisière. Depuis 2017, en nombre de passagers, le port de Papeete est désormais le 4<sup>ème</sup> port de tête de ligne au niveau national (y compris outre-mers) et le 3<sup>ème</sup> pour l'ensemble des destinations du Pacifique Sud. La Polynésie française a accueilli en 2019, 38 navires et 24 compagnies différents (contre 23 navires et 15 compagnies différents en 2010). L'année 2018 a été une année record avec 1073 escales de paquebots en Polynésie française. Cet essor se poursuit avec l'année 2019 pour laquelle 1007 escales ont été réalisées sur l'ensemble du territoire, tout en respectant une moyenne globale annuelle inférieure à 500 passagers par escale (Fig. 28).



Les compagnies en têtes de ligne Aranui, Paul Gauguin, WindSpirit, mais également les compagnies Oceania, Lindblad National Geographic, Ponant et Holland America Line assurent plus des 2/3 des escales.

Fig. 28. Évolution du nombre d'escales de croisière sur l'ensemble de la Polynésie française (Source : ISPF, TCC, PAP.)

Au regard de la stratégie de développement économique et touristique du territoire le nombre de navires au sein de la zone d'étude ciblée devrait s'intensifier. Notons, par exemple, que le comité consultatif de la navigation maritime interinsulaire (CCNMI) a donné le 18 décembre 2018 son feu vert à la demande de licence déposée par l'armateur du Terevau pour un bateau monocoque: Terevau Piti. Celui-ci pourra accueillir 650 passagers et 65 véhicules et mesurera 77 mètres de long sur 17 mètres de large (Tahiti Infos; TNTV, 2018). Sa mise en service est prévue pour fin 2020 - début 2021.

Considérant les informations ci-dessus, il est raisonnable de s'attendre à ce que le risque futur de collision avec des navires augmentera dans la zone d'étude, en conséquence de l'augmentation de la circulation, de la taille des navires et de la fréquentation par les baleines. Toutefois, il est impossible d'estimer les risques futurs sans avoir de plus amples informations sur ces trois facteurs. Ce programme s'inscrit donc comme une démarche nécessaire sur du long terme.

La mise en place d'observateurs embarqués formés par l'association Oceania en collaboration avec les compagnies maritimes est un premier engagement pour ces entreprises dans la conservation des cétacés de Polynésie française. En effet, cette démarche démontre une transparence, un désir de respecter la réglementation et l'envie de contribuer à la préservation de ces mammifères marins.

### 3. Distribution spatiale de l'enjeu "baleine à bosse"

Le nombre d'individus au moment de la détection est à prendre avec précaution. En effet, au vu du comportement des animaux sur cette zone, potentiellement considérée comme une aire de repos, certains individus se trouvent sous l'eau lors du passage des navires. Ainsi la détection d'un individu et le déclenchement d'un code sont à considérer comme la présence d'un ou de plusieurs individus à une plus ou moins grande proximité. La vigilance doit être adaptée en fonction de ce biais potentiel c'est à dire balayer une zone de 180° systématiquement avant d'entamer une manœuvre d'évitement.

Le taux de non détection des animaux peut être influencé par :

- la disponibilité des individus au moment de l'observation, par exemple certains pouvaient être en plongée pendant que l'observateur regardait dans leur direction;
- la perception de l'observateur qui, en raison des conditions environnementales ou autre, comme la fatigue, n'a pas été en mesure de détecter des animaux qui se trouvaient dans son champ de vision.

Le nombre de codes verts déclenchés en 2019 est significativement plus important que le nombre de codes jaunes et rouges confondus. Ces chiffres reflètent les comptes des codes répertoriés durant de l'édition de 2018 et mettent en avant la capacité d'un MMO à détecter les individus sur une grande distance, réduisant potentiellement le nombre de codes rouges et jaunes. Des MMO bien formés et rigoureux sont une aide précieuse et efficace face au risque de collision entre les baleines à bosse et les navires. Ritter (2009) a déterminé que lorsqu'une manœuvre était entreprise pour éviter une collision celle-ci était une réussite dans 75% des cas, suggérant que la collision peut être prévenue si la baleine est détectée suffisamment tôt pour engager une action.

La composition de la population étudiée dans le cadre du projet VS – 2ème édition montre une augmentation significative de la proportion des observations incluant un baleineau. De plus, une variation spatiale et temporelle a été mise en évidence, suggérant une préférence d'habitat pour les duos mère-baleineau à proximité des zones portuaires et lagonaires et des comportements de repos plus marqués en après-midi. La proximité à la côte pour ces duos peut aussi être associée à la présence de prédateurs sur zone. Deux pistes de réflexion peuvent être abordées avec précaution : 1) la route maritime entre Tahiti et Moorea ainsi que les passes sont des zones privilégiées par ce statut ; 2) le nombre de baleineaux a augmenté au cours des dernières années. L'étude d'une population est à réaliser sur du long terme, des fluctuations s'opèrent d'une année sur l'autre. Ces pistes de réflexion sont à garder à l'esprit et doivent encourager la mise en place d'études scientifiques complémentaires. Dans le but d'avoir une meilleure idée des paramètres biologiques de la population étudiée, un suivi par photo-identification a été mis en place durant la saison 2019. Les résultats de cette étude seront disponibles dans un rapport courant 2020.

#### 4. Évaluation du risque de collision

Les cétacés à fanons sont davantage exposés au risque de collision que les autres mammifères marins en raison de leur grande taille, de leur capacité limitée à éviter les navires et de leurs caractéristiques comportementales qui contribuent vraisemblablement à leur vulnérabilité.

Minimiser les risques de collision avec des baleines peut devenir une part intégrante de la planification d'un itinéraire de navigation. La meilleure façon d'y parvenir est d'éviter les régions à forte densité de baleines. Toutefois, si cela n'est pas possible, il convient alors de réduire la vitesse dans les régions à forte densité de cétacés. De nombreuses études montrent en effet que les baleines encourrent un risque de mortalité considérablement plus faible lorsque les navires voyagent à une vitesse de 10 nœuds, au lieu de 15 nœuds ou davantage.

La capacité d'évitement de l'animal est étroitement liée à sa réaction et très complexe à anticiper. En effet, les réactions des cétacés au trafic maritime sont nombreuses, variées et très peu prévisibles : elles diffèrent d'une espèce à l'autre, d'un individu à l'autre et, parfois même, pour le même individu en fonction des circonstances (Richter *et al.*, 2003; Travis, 2008). Il peut également différer en fonction du statut de l'individu. En effet, les baleineaux sont plus exposés au risque de collision du fait d'une capacité de manœuvre limitée, d'une vitesse moindre, d'une expérience plus faible, d'une vigilance moins accrue et enfin d'un cycle respiratoire plus court impliquant un temps en surface plus long. Cependant, dans son étude, Koschinski (2008) a constaté que les femelles accompagnées d'un baleineau présentaient un comportement d'évitement des navires plus prononcé.

La répartition spatiale des baleines à bosse et de la circulation maritime ont été croisées pour déterminer les zones où le risque de collision est le plus grand. Le risque de collision apparaît ainsi plus élevé dans les zones portuaires que sur la route maritime, alors que la vitesse y est moindre. Cela peut s'expliquer par :

- une manœuvrabilité du navire plus limitée dans les passes que sur la route (un changement de cap est plus rapide et effectif sur la route);
- la distribution spatiale des baleines;

- le taux de mortalité en fonction de la vitesse de tous les navires passant dans la maille. Cette variable de l'IR explique probablement pourquoi il y a moins de variabilité à Papeete qu'à Vaiare; et que l'IR est toujours plus haut à Papeete. Ainsi nos résultats mettent en évidence que la différence n'était pas significative entre les deux zones portuaires. Contrairement à 2018, la deuxième édition a ajouté une amélioration dans l'analyse de ses données afin de pondérer le nombre d'observations par la distance parcourue dans chaque zone (portuaires / route).

De plus, malgré un nombre d'observations plus faible au sein de la zone portuaire de Papeete que celle de Vaiare, le risque de collision est lui plus important. En effet, ce résultat met en évidence la fréquentation plus marquée de la passe de Papeete, qui est considérée comme la porte d'entrée de la majorité des navires (hors navires effectuant la traversée Tahiti et Moorea quotidiennement) naviguant en Polynésie française. Cette fréquentation permet de souligner l'importance d'étendre chaque année notre réseau de navires, afin d'inclure le maximum de capitaine dans une démarche globale de diminution du risque de collision.

La réactivité du navire lors d'une manœuvre d'évitement est liée à sa vitesse. En effet, la taille et le poids du navire engendre une inertie plus ou moins importante, de ce fait la distance de précaution pourrait être réévaluée sur les zones présentant un risque de collision plus important, tel que les passes. De plus, notre équipe travaille en collaboration permanente avec les capitaines et tente de mieux comprendre dans quelles mesures une réduction de la vitesse pourrait être elle aussi envisagée.

Toutes ses propositions seront présentées à l'ensemble des partenaires, décideurs et gestionnaires à la fin de la troisième édition (2020) au sein d'une liste de recommandations. Cette dernière sera établie en accord avec nos trois années de collecte de données sur la zone d'étude et après avoir échangé avec l'équipage de chaque navire.

## **VI- Conclusion**

VS constitue le premier et l'unique programme d'étude en Polynésie française pour limiter le risque de collision entre les baleines à bosse et les navires. La surveillance assurée par les MMO sur la zone d'étude a permis de détecter 49 cas potentiels de collision entre navires et baleines à bosse durant la deuxième édition, ramenant ainsi à 143 le nombre de cas potentiels de collision (NME) depuis 2018. Ces deux années permettent à l'association Oceania de définir au mieux des recommandations à l'égard des usagers et d'agir à leurs côtés pour une meilleure gestion du risque. En effet, notre jeu de données représente à ce jour 1295 heures d'observations soit 37 541 km parcourus et permet de tirer des tendances robustes concernant la gestion du risque de collision sur cette zone.

Sur le plan international, et de manière générale, la gestion du trafic maritime s'inscrit dans le cadre de la Planification Maritime Spatiale (PMS) nationale, transfrontalière et en haute-mer. La PMS est un processus visant à organiser durablement les activités humaines dans le temps et dans l'espace, dans les zones marines et côtières (Ehler & Douvère, 2010). Le projet VS tend à trouver cet équilibre entre activités économiques et conservation d'une espèce emblématique. C'est pour cela qu'un état de l'art mené sur trois années semble judicieux pour notre équipe afin d'appréhender avec plus d'exactitude cette problématique et de trouver les solutions les plus adéquates et pérennes.

Il n'existe pas à ce jour de système embarqué permettant de détecter automatiquement les cétacés à bord des navires. Cependant de plus en plus d'initiatives naissent dans le monde et inspirent nos équipes dans le développement d'un outil local adapté et d'une méthodologie efficace.

Au regard de la première édition (2018) plusieurs pistes étaient à l'étude et les résultats de la seconde édition nous ont permis d'affiner nos choix. La collaboration avec nos confrères hors territoire nous semble indispensable et c'est dans cette optique que notre équipe échange davantage à l'échelle régionale et internationale. La mise en place de MMO à terre a elle aussi été réalisée sur cette deuxième édition et nous a permis de perfectionner cette approche pour 2020 en optimisant le temps d'observation et de présence de l'observateur. En effet, poster le MMO au niveau des passes à terre a permis à trois reprises une entrée de passe plus confortable et moins risquée pour les animaux. Cependant un point de vue plus en hauteur permettrait de couvrir une zone plus grande et ainsi de pouvoir ajouter des missions au MMO. Quant aux outils thermiques et vidéo, ils ne semblent pas être, à ce jour, les plus appropriés pour notre zone d'étude. En effet nos MMO permanents présentent des avantages plus nombreux et un ratio coût bénéfices plus intéressant.

Bien que le risque de collision ne sera jamais égal à zéro, la présence d'observateurs embarqués aide à le réduire de façon significative. Les processus d'analyse, via la création d'un indice de risque relatif, et de cartographie qui résulte de cette étude sont un exemple d'outils simples et visuels qui pourraient motiver les gestionnaires à perfectionner leurs plans de conservation des baleines à bosse de Polynésie, en incluant dorénavant le risque de collision lié au trafic maritime. Il est important de garder à l'esprit la volonté actuelle des politiques mondiaux de développer l'économie bleue qui résultera fort probablement en une augmentation du trafic local. Ces résultats appuient la nécessité de mettre en œuvre une planification spatiale de l'activité du trafic maritime en délimitant des zones de vigilance accrue et de vitesses réduites.

## Référence bibliographique

Arcangeli A., Marini L., and Crosti R., (2012). Changes in cetacean presence, relative abundance and distribution over 20 years along a trans-regional fixed line transect in the Central Tyrrhenian Sea, *Marine Ecology*, Vol 34 (1): 112-121.

Assisse d'Outre-Mer, (2018). Feuille de route de la Polynésie française.

Atkinson, A., Hill, S. L., Pakhomov, E. A., Siegel, V., Reiss, C. S., Loeb, V. J. & Sailley, S. F. (2019). Krill (*Euphausia superba*) distribution contracts southward during rapid regional warming. *Nature Climate Change*, 9(2), 142-147.

Behrens, S & Constantine, R., (2008). Large whale and vessel collisions in northern New Zealand. *Report to the Scientific Committee of the International Whaling Commission SC/60/BC9, Santiago, Chile*.

Buckland, S. T., & Turnock, B. J., (1992). A robust line transect method. *Biometrics*, 48(3), 901-909.

Chami, R., Cosimano, T., Fullenkamp, C. & Oztosun, S. (2019). Nature's solution to climate change. A strategy to protect whales can limit greenhouse gases and global warming. *Finance & Development*, December 2019.

Créocéan (Coord. F. Seguin), (2015). Etat de l'environnement en Polynésie française 2007/2014. Direction de l'environnement, Polynésie française, Tahiti, 381 p.

Constantine, R., Johnson, M., Riekkola, L., Jervis, S., Kozmian-Ledward, L., Dennis, T., Torres, L.G. & Aguilar de Soto, N. (2015). Mitigation of vessel-strike mortality of endangered Bryde's whales in the Hauraki Gulf, New Zealand. *Biol. Conserv.* 186:149–57.

Currie, J. J., Stack, S. H., Easterly, S. K., Kaufman, G. D., & Martinez, E. (2017). Modeling whale-vessel encounters: the role of speed in mitigating collisions with humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Journal of Cetacean Research and Management*, 17, 57-63.

David, L., Di-Méglio, N. & Roul, M. (2016). Monitoring Ferry: 2014/2016. Rapport final Octobre 2016.

De Stephanis, R., & Urquiola, E. (2006). Collisions between ships and cetaceans in Spain. *Int. Whal. Commn. Scientific Committee SC/58/BC5*.

Di Méglio, N. & David, L., (2010). Suivi temporel du Sanctuaire PELAGOS par transects mensuels au large et réflexion sur des méthodologies de monitoring, Rapport Final du Programme de recherche 2007/2009 de PELAGOS France, GIS 3M / EcoOcéan Institut, 192p + annexes

Di-Méglio, N., David, L., Capoulade, F., Gambaiani, D., Mayol, P., McKenzie, C., McKenzie, E. & Schneider, M. (2010). Synthèse des connaissances sur l'impact du trafic maritime. Rapport final 2010.

Douglas, A. B., Calambokidis, J., Raverty, S., Jeffries, S. J., Lambourn, D. M., & Norman, S. A. (2008). Incidence of ship strikes of large whales in Washington State. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88(6), 1121-1132.

Dolman, S.J., Weir, C.R. & Jasny, M. (2009). Comparative review of marine mammal guidance implemented during naval exercises. *Mar. Poll. Bull.* 58:465–77.

Ehler, C., & Douvère, F. (2010). An international perspective on marine spatial planning initiatives. *Environments: a journal of interdisciplinary studies*, 37(3).

Équipe de développement de QGIS (2018). Système d'information géographique QGIS. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

Esposito, C. & Schneider, R. (2019). Rapport scientifique - Vigie Sanctuaire 1er édition.

- Gannier, A. (1999). Détermination du peuplement de cétacés des îles Marquises. Rapport d'exécution.
- Gannier, A. (2000a). Distribution of cetaceans off Society Islands (French Polynesia) as obtained from dedicated survey. *Aquatic Mammals*, 26(2).
- Gannier, A. (2000b). Détermination du peuplement des cétacés des îles Australes et comparaison avec le peuplement des îles de la Société. Laboratoire d'écologie marine (Université de Polynésie française). Rapport final, 65p.
- Gannier, A. (2002a). Etude de la distribution des mégaptères en Polynésie française, Programme d'actions concertées Megaptera, 17p.
- Gannier, A. (2002b). Cetaceans of the Marqueses Islands (French Polynesia): distribution and relative abundance as obtained from a small boat dedicated survey. *Aquatic Mammals*, 28(2), 198-210.
- Gannier, A. (2004). The large-scale distribution of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) wintering in French Polynesia during 1997-2002. *Aquatic Mammals*, 30(2), 227-236.
- Gonsard, H. & Periou, C. (2016). L'économie bleue en Polynésie française.
- Halpern, B.S., Selkoe, K.A., Micheli, F., Kappel, C.V., (2007). Evaluating and Ranking the Vulnerability of Global Marine Ecosystems to Anthropogenic Threats, *Cons. Bio.* Vol. 21, No. 5, 1301-1315. doi: 10.1111/j.1523-1739.2007.00752.x
- Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J.F., Casey, K.S., Ebert, C., Fox, H.E., Fujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H.S., Madin, E.M.P., Perry, M.T., Selig, E.R., Spalding, M., Steneck, R., Watson, R., (2008a). A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Sci.* 319: 948-952. doi: 10.1126/science.1149345.
- Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J.F., Casey, K.S., Ebert, C., Fox, H.E., Fujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H.S., Madin, E.M.P., Perry, M.T., Selig, E.R., Spalding, M., Steneck, R., Watson, R., (2008b). Supporting Online Material for A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Sci.* 319, 948. doi: 10.1126/science.1149345
- Jensen, A. S., & Silber, G. K. (2003). Large Whale Ship Strike Database. US Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration. Technical Memorandum NMFS-OPR.
- Jensen, A.S. & Silber, G.K. 2004. Large whale ship strike database. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Technical Memorandum NMFS-OPR-25. 37pp.
- Laist, D. W., Knowlton, A. R., Mead, J. G., Collet, A. S., & Podesta, M. (2001). Collisions between ships and whales. *Marine Mammal Science*, 17(1), 35-75.
- Laran, S., & Gannier, A. (2001). Distribution of cetaceans in the Marquesas islands (French Polynesia). *European Research on Cetaceans*, 15, 426-430.
- Laran, S., Van Canneyt, O., Doremus, G., Massart, W., Ridoux, V. & Watremez, P. (2012). Distribution et abondance de la mégafaune marine en Polynésie française. REMMOA Polynésie. Rapport final pour l'Agence des Aires Marines Protégées. 127pp.
- Lavery, T. J., Roudnew, B., Gill, P., Seymour, J., Seuront, L., Johnson, G. & Smetacek, V. (2010). Iron defecation by sperm whales stimulates carbon export in the Southern Ocean. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1699), 3527-3531.
- Leone, F. & Vinet, V. (2006). La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. Analyses géographiques. Collection « Géorisques » no 1. Publication de l'université Paul Valéry Montpellier 3. 72p.



Magnès, S. (2019). Étude de faisabilité d'une Vigie à Terre comme un outil complémentaire à l'édition VS2019.

MarineTraffic.Global ship tracking intelligence/AIS MarineTraffic/Density Maps. [en ligne].<https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:-151.0/centery:-16.7/zoom:9> [12/2017].

Panigada, S., Pesante, G., Zanardelli, M., Capoulade, F., Gannier, A. & Weinrich, M.T. (2006). Mediterranean fin whales at risk from fatal ship strikes. *Mar. Poll. Bull.* 52(10): 1,287–98.

Poole, M.M. (2002). Occurrence of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in French Polynesia in 1988-2001. Report SC/54/H14 to the Scientific Committee of the International Whaling Commission.

Poole, M.M., Oremus M., Albertson R., & Baker C.S. (2013a). Expedition Marquesas: Photo-identification surveys and biopsy sampling of small cetaceans in northern French Polynesia. Report SC/65a/SM09 to the Scientific Committee of the International Whaling Commission, Cambridge, England

Poole, M.M., Oremus M., & Albertson R. (2013b). Expedition Biosphere: First photo identification and biopsy sampling of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) and small cetaceans in the Tuamotu and Gambier Islands, French Polynesia. Report SC/65a/SH08 to the Scientific Committee of the International Whaling Commission, Cambridge, England

Reeves R.R., Leatherwood S., Stone G.S. & Eldredge L.G.(1999) Marine mammals in the area served by the South Pacific Regional Environment Program. Report of the South Pacific Regional Environment Program (PO Box 240, Apia, Samoa)

Richter, C. F., Dawson, S., & Sooten, E. (2003). Sperm whale watching off Kaikoura, New Zealand: effects of current activities on surfacing and vocalisation patterns (p. 78). Wellington, NZ: Department of Conservation.

Ritter, F. (2010). Short description of a near-miss event involving a large vessel and humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) off Antarctica. In Poster presented to the ECS Annual Conference, Stralsund, Germany (pp. 22-24).

Silber, G. K., & Bettridge, S. (2006). United States' actions to reduce the threat of ship collisions with north Atlantic right whales. International Whaling Commission's Conservation Committee, St. Kitts, National Oceanic and Atmospheric Administration/National Marine Fisheries Service.

Silber, G.K., Slutsky, J. & Bettridge, S. (2010). Hydrodynamics of a ship/whale collision. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 391:10–19

Travis, G. R. (2008). Boat preference and stress behaviour of Hector's dolphin in response to tour boat interactions (Doctoral dissertation, Lincoln University).

Van Waerebeek, K., Baker, A. N., Félix, F., Gedamke, J., Iñiguez, M., Sanino, G. P., . & Wang, Y. (2007). Vessel collisions with small cetaceans worldwide and with large whales in the Southern Hemisphere, an initial assessment. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 6(1), 43-69.

Vanderlaan, A.S.M. & Taggart, C.T. (2007). Vessel collisions with whales: the probability of lethal injury based on vessel speed. *Mar. Mamm. Sci.* 23(1):144–156.

Vanderlaan, A.S., Corbett, J.J., Green, S.L., Callahan, J.A., Wang, C., Kenney, R.D., Taggart, C.T. & Firestone, J. 2009. Probability and mitigation of vessel encounters with North Atlantic right whales. *Endanger. Species Res.* 6(3):273–285

Van Waerebeek, K., & Leaper, R. (2008). Second report of the IWC vessel strike data standardisation working group. IWC Scientific Committee document SC/60/BC5.

Villemin,G. Distance à l'horizon (2018) [en ligne].<http://villemin.gerard.free.fr/aScience/Physique/OPTIQUE/Horizon.htm> [01/2019]

Wilson, K., Pressey, R. L., Newton, A., Burgman, M., Possingham, H., & Weston, C. (2005). Measuring and incorporating vulnerability into conservation planning. *Environmental management*, 35(5), 527-543.

## ANNEXE 1

### Grands cétacés observés suite à une collision



## ANNEXE 2

### Coordonnées géographiques de la zone d'étude

<b>Point</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>
A	-149,780712	-17,518364
B	-149,780712	-17,523801
C	-149,773727	-17,518364
D	-149,773727	-17,530531
E	-149,769094	-17,513324
F	-149,766117	-17,520859
G	-149,766117	-17,525879
H	-149,762201	-17,467354
I	-149,762201	-17,513324
J	-149,762201	-17,520859
K	-149,762201	-17,525879
L	-149,762201	-17,530531
M	-149,762201	-17,571809
N	-149,587365	-17,533761
O	-149,587365	-17,535943
P	-149,587365	-17,546086
Q	-149,587365	-17,571809
R	-149,58288	-17,467354
S	-149,58288	-17,533761
T	-149,58288	-17,535943
U	-149,576186	-17,531848
V	-149,576186	-17,535943
W	-149,576186	-17,543147
X	-149,576186	-17,546086
Y	-149,568603	-17,531848
Z	-149,568603	-17,543147

## ANNEXE 3

### Détail des méthodes statistiques utilisées dans le rapport scientifique du projet Vigie Sanctuaire - 2<sup>ème</sup> édition “Honorons ces grands migrants et limitons le risque de collision”.

Tous les tests statistiques ont été effectués dans le logiciel R version 3.6.1 (R Core Team, 2019).

#### 1- Distribution de l'aléa

La distribution spatiale et temporelle des NME a été modélisée avec un modèle linéaire généralisé (*'glm'* ; package stats version 3.6.1 ; R Core Team, 2019) selon la formule suivante :

$$NME \sim mois + zone\ géographique * moment\ de\ la\ journée + P$$

avec:

*NME* le compte des codes rouges et jaunes déclenchés;

*mois* le mois durant lequel le code a été déclenché, soit juillet, août, septembre, octobre ou novembre;

*zone géographique* la zone d'étude dans laquelle se trouve le bateau au moment de l'observation, soit : Route, Papeete (regroupe les 3 zones port, lagon, passe) ou Vaiare (idem);

*moment de la journée* le moment auquel le code a été déclenché soit : avant 9h, matin (9h-12h), après-midi (12h01-15h) ou après 15h;

*P* la variable de pondération afin de prendre en compte la différence dans l'effort d'échantillonnage due à la différence de taille des zones d'études, soit la longueur moyenne du trajet (en mètre) dans la zone donnée où le code a été déclenché.

Une ANOVA a été effectuée sur la sortie du modèle, avec un test de  $\chi^2$  (*'anova'* ; package stats version 3.6.1 ; R Core Team, 2019). Pour chaque variable indépendante montrant un effet significatif sur la variable réponse, un test post-hoc de Tukey a permis de comparer les traitements deux à deux (*'glht'* ; package multcomp version 1.4-11 ; Hothorn et al., 2008).

#### 2- Distribution de l'enjeu

La distribution spatiale et temporelle de l'enjeu (baleine à bosse) a été modélisée avec un modèle de régression binomiale négative (*'glm.nb'* ; package MASS version 7.3-51.4 ; Venables and Ripley, 2002) selon la formule suivante :

$$\text{Nombre d'observations de baleines} \sim zone\ géographique + mois + moment\ de\ la\ journée + P$$

avec:

*Nombre d'observations de baleines* le compte des points GPS repositionnés représentant les positions réelles des baleines

*zone géographique* la zone d'étude dans laquelle se trouve le bateau au moment de l'observation, soit : Route, Papeete (regroupe les 3 zones port, lagon, passe) ou Vaiare (idem);

*mois* le mois durant lequel le code a été déclenché, soit juillet, août, septembre, octobre ou novembre;

*moment de la journée* le moment auquel le code a été déclenché soit : avant 9h, matin (9h-12h), après-midi (12h01-15h) ou après 15h;

*P* la variable de pondération afin de prendre en compte la différence dans l'effort d'échantillonnage due à la différence de taille des zones d'études, soit la longueur moyenne du trajet (en mètre) dans la zone donnée où le code a été déclenché.

Une ANOVA a été effectuée sur la sortie du modèle, avec un test de  $\chi^2$  (*'anova'* ; package stats version 3.6.1 ; R Core Team, 2019). Pour chaque variable indépendante montrant un effet significatif sur la variable réponse, un test post-hoc de Tukey a permis de comparer les traitements deux à deux (*'glht'* ; package multcomp version 1.4-11 ; Hothorn et al., 2008).

### 3- Structure de la population

La différence de proportion des observations incluant au moins un baleineau entre les zones d'études, les mois, les moments de la journée et les deux années d'échantillonnage a été vérifiée avec un test de  $\chi^2$  pour chacune des trois variables. Lorsque celui-ci indiquait une différence significative au sein de la variable, les traitements étaient comparés deux à deux avec des tests de  $\chi^2$  ('*chisq.test*' ; package stats version 3.6.1; R Core Team, 2019).

### 4- Distribution de l'enjeu

D'après son équation, l'indice de risque de collision (IRr) est calculé uniquement lorsqu'il y a une observation de baleine, l'absence d'observation ne pouvant être interprétée comme un indice nul. Les données n'incluaient pas assez d'observations dans les différentes catégories temporelles pour permettre d'inclure le mois et le moment de la journée dans le modèle. Ainsi, l'indice de risque de collision, ne prenant des valeurs qu'entre 0 et 1, a été modélisé avec un modèle de régression beta ('*betareg*' ; package betareg version 2.0-0 ; Cribari-Neto and Zeileis, 2010) selon la formule suivante :

$$IRr \sim \text{zone géographique} + P$$

avec:

*IRr* l'indice de risque relatif de collision entre le bateau et la baleine

*zone géographique* la zone d'étude dans laquelle se trouve le bateau au moment de l'observation, soit :

Route, Papeete (regroupe les 3 zones port, lagon, passe) ou Vaiare (idem);

*P* la variable de pondération afin de prendre en compte la différence dans l'effort d'échantillonnage due à la différence de taille des zones d'études, soit la longueur moyenne du trajet (en mètre) dans la zone donnée où le code a été déclenché.

Un test équivalent à une ANOVA a été effectué sur la sortie du modèle, avec une valeur de *p* calculée à partir du ratio *F* ('*joint\_tests*' ; package emmeans version 1.4.3.01 ; Lenth, 2019). Un test post-hoc de Tukey a permis de comparer les traitements deux à deux ('*cld*' ; package multcomp version 1.4-11 ; Hothorn et al., 2008).



### Bibliographie

- Cribari-Neto, F., Zeileis, A., 2010. Beta Regression in R. *J. Stat. Softw.* 34, 1–24.
- Hothorn, T., Bretz, F., Westfall, P., 2008. Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biom. J.* 50, 346–363.
- Lenth, R., 2019. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.4.3.01.
- R Core Team, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Venables, W.N., Ripley, B.D., 2002. Modern Applied Statistics with S, Fourth. ed. Springer, New York.

## ANNEXE 4

### Évaluation de l'indice de vulnérabilité global (VG) en fonction des indices de Vulnérabilité de chaque paramètre

Mesure de vulnérabilité	Catégorie	Classement du risque	Mesure de certitude associée à cet indice de vulnérabilité	Catégorie	Classement de la certitude
<b>Vdo</b> = distance d'observation entre le MMO et la baleine à bosse à l'instant de la détection (en mètres)	0-100m 100-200m 200-300m 300-3000m	4 3 2 1	<b>Cdo</b> =Certitude de s'approcher de la distance réelle d'observation	Si distance de l'obs est entre 0-300m 300-3000m	3 2
			<b>Cexp</b> = Certitude de l'évaluation en fonction de l'expérience du MMO	Si obs réalisée au mois d'aout Si obs réalisée entre septembre-novembre Si obs entre 0-300m	2 3 4
			<b>Cmmo</b> = en fonction du jugement du MMO	MMO 1 MMO 2 MMO 3 et 4	4 3 2
			<b>Cind</b> =Certitude d'avoir estimé le nombre réel d'individus	Si distance d'obs est entre : 0-300m 300-3000m	3 2
<b>Vind</b> = nombre d'individus observés au moment de la détection	1 individu 2 3 >4	1 2 3 4	<b>Cexp</b> = Certitude de l'évaluation en fonction de l'expérience du MMO	Si obs réalisée au moins d'aout Si obs réalisée entre septembre, et novembre Si obs entre 0-300m	2 3 4
			<b>Cmmo</b> = en fonction du jugement du MMO	MMO 1 MMO 2 MMO 3 et 4	4 3 2
			<b>Cvisi</b> = en fonction du site internet Windguru et Marine Traffic	Quelque soit la visibilité évaluée	4
			<b>Cvent</b> = en fonction du site internet Windguru et Marine Traffic	Quelque soit la vitesse du vent évaluée	4
<b>Vvisi</b> = visibilité du plan d'eau en fonction de la météo au moment de la détection	0 ou 1 = nulle 2 = mauvaise 3 = moyenne >4 = bonne	4 3 2 1	<b>Cvit</b> = précision des calculs de	Quelque soit la vitesse du	3
<b>Vvent</b> = vitesse du vent en fonction de la météo (en nœuds) au moment de la détection	1 à 3 4 à 6 7 à 10 >11 noeuds	1 2 3 4			
<b>Vvit</b> = vitesse du navire à	0 à 5	1			

chaque point GPS relevé le long du trajet entre le port de Papeete et Vaiare (en nœuds)	5-10 10-15 >15 nœuds	2 3 4	vitesse réalisé par le logiciel OBSenMER	navire	
<b>Vpnav</b> = position GPS du navire à l'instant t en fonction de l'espace disponible pour faire une manœuvre d'évitement			<b>Cpnav</b> = certitude de la sélection des zones de risques en fonction de l'espace disponible pour la manœuvre d'évitement	Quelque soit l'emplacement des points	3
					
<b>Vtm</b> = Taux de mortalité de l'animal (en pourcentage), calculé en fonction de la vitesse moyenne de tous les navires ayant traversé cette maille, si une collision a lieu	0-30 % 30-50% 50-70% 70-100%	1 2 3 4	<b>Ctm</b> = Certitude de cette mesure qui dépend de la précision de la vitesse de chaque navire ayant traversé la maille	Quelque soit l'emplacement des points	3



ANNEXE 5

Poster de sensibilisation Hanahana la baleine

**PASSEPORT** 

**HANAHANA la baleine**







**JEU oceania**

<p>E K D N M Y I Z Ç E L R P O Z V S L L R A I K X R E B A X E D L C P C S R B M P U L J A J O A X K Y A U T B T P O L O S C E S C I B E J E C C J E T S N O N A F L P O V Y B A L B W C X L B A L E I N E</p>	<p>FANONS KRILL CAUDALE PECTORALE DORSALE BALEINE CETACES PITO</p>
--	--

**NOM SCIENTIFIQUE :** Megaptera novaeangliae

**PRÉNOM :** Hanahana

**ESPÈCE :** Baleine à bosse / ♀

**PRÉSENCE EN POLYNÉSIE :** Juillet à novembre

**DATE DE NAISSANCE :** 7 décembre 2017

**LIEU DE NAISSANCE :** Moorea

**TAILLE :**  4 à 5 m /  15 à 18 m

**POIDS :** 1 t à la naissance / jusqu'à 35 t pour les femelles

**ALIMENTATION :**  -  - 

**SIGNATURE :** 

**DES GRANDS MIGRATEURS :**  
Les baleines à bosse réalisent chaque année un grand voyage de l'Antarctique, leur zone d'alimentation vers la Polynésie française. Elles viennent dans nos eaux pour mettre bas, s'accoupler, allaiter leurs petits ou se reposer. Elles parcourent plus de 10 000 km aller-retour !!! Ce qui correspond à plus de 1 000 bus ou 167 fois le tour de Moorea.



Imprimé avec le soutien de Tahiti Tourisme



 @AssoOceania <<<
  asso\_oceania <<<<<<<<<<<< 89 53 77 90

Création graphique © Co&Design - Coralie Morandi