



Vigie Sanctuaire 6ème édition.

" Honorons ces grands mammifères
et limitons le risque de collision "

Association Oceania

Esposito C., Mars C., Dalleau M. et Meola B., 2024



Rapport scientifique du projet Vigie Sanctuaire 2023 – 6ème édition

“Honorons ces grands migrants et limitons le risque de collisions”

ESPOSITO Charlotte, MARS Charles, DALLEAU Mayeul, MEOLA Bruno - avril 2024

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

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 19ème 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, classé sanctuaire pour les mammifères marins depuis 2002, 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 tous les ans jusqu'à aujourd'hui. Il constitue l'unique programme scientifique en Polynésie française dont l'objectif principal est de mieux anticiper et de limiter le risque de collision. À l'aide de la méthode de transect linéaire, des OMM (Observateurs de Mammifères Marins) ont surveillé la route maritime reliant Tahiti à Moorea à bord de trois des quatre navires de transport de passagers effectuant la liaison quotidienne. 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, dont le stock du Pacifique Sud est classé « en danger » selon l'UICN. Au cours de l'année 2023, 703 h d'observations ont été réalisées représentant un effort de 23 483 km parcourus. La surveillance assurée par les MMO a permis de détecter 367 cas potentiels de collision entre navires et baleines à bosse, dont 120 ayant fait l'objet d'une manœuvre d'évitement. Un indice de risque relatif de collisions a été calculé et a permis d'identifier les zones critiques. Les résultats mettent en évidence un risque accru dans les zones portuaires par rapport à la route en mer ouverte. Le risque de collision était particulièrement élevé dans les passes, les navires y ayant une capacité de manœuvre restreinte mais une vitesse très élevée. Le projet VS s'est révélé être un outil utile, non seulement pour la réduction du risque, mais également l'acquisition de données indispensables à la gestion de ce risque. Depuis 6 ans, une série de recommandations est proposée aux différents acteurs et partenaires afin d'œuvrer collectivement à la conservation des cétacés en Polynésie française.

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



Scientific report on the Vigie Sanctuaire 2023 project - 6th edition "Let's honor these great migrants and limit the risk of collisions"

ESPOSITO Charlotte, MARS Charles, DALLEAU Mayeul, MEOLA Bruno - April 2024

Oceania NGO, French Polynesian cetacean study. BP 1636 Papetoai, 98729 Moorea, French Polynesia.

Phone : (+689) 89 29 54 11 - Mail : charlotte.oceania@gmail.com

ABSTRACT:

Among the many anthropogenic threats to large cetaceans, shipping collisions are considered one of the most significant. An increase in the number of these fatal accidents since the end of the 19th century has been clearly established, and is attributed to a worldwide increase in the number, size and speed of ships. In Polynesian waters, classified as a sanctuary for marine mammals since 2002, several cases of collisions have already been reported but are not really documented. In order to gain a better understanding of this problem, the Vigie Sanctuaire (VS) study project was initiated in 2018 by the Oceania scientific association, and then renewed every year until today. It is the only scientific program in French Polynesia whose main objective is to better anticipate and limit the risk of collision. Using the line transect method, MMOs (Marine Mammal Observers) monitored the seaway between Tahiti and Moorea aboard three of the four passenger ships on the daily service. As soon as a cetacean was detected, the distance to the animal and its hourly position relative to the boat's course were transmitted to the captain.

This study focused on the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*), an emblematic species whose the South Pacific's stock is classified as "endangered" by the IUCN. Over the 2023 season, 703 hours of observations were carried out, representing an effort of 14,592 miles covered. MMO's monitoring detected 367 potential cases of collision between ships and humpback whales, 120 of which were avoided. A relative collision risk index was calculated and used to identify critical areas. The results show an increased risk in port areas compared to open seaway. The risk of collision was particularly high in the passes, where ships have limited maneuvering capacity but very high speeds. The VS project proved to be a useful tool, not only for reducing the risk, but also for acquiring the data essential for managing it. For the past 6 years, a series of recommendations has been put forward to the various stakeholders and partners to work collectively towards the conservation of cetaceans in French Polynesia.

Keywords: collision risk, humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, cetacean, maritime traffic, Strategic Maritime Planning (SMP), French Polynesia



TABLE DES MATIERES

| | |
|--|----|
| I. CONTEXTE | 4 |
| 1. Contexte mondial..... | 4 |
| 2. Contexte local..... | 6 |
| II. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE..... | 10 |
| III. MATÉRIELS ET MÉTHODES..... | 11 |
| 1. Zone d'étude | 11 |
| 2. Plateformes d'observation..... | 12 |
| 3. Formation des MMO..... | 13 |
| 4. Protocole d'observation et de récolte de données..... | 15 |
| 5. Campagne de sensibilisation | 22 |
| IV. RESULTATS | 23 |
| 1. Effort d'observation..... | 23 |
| 2. Évaluation de l'aléa..... | 23 |
| 3. Répartition de l'enjeu et sa vulnérabilité | 26 |
| V. DISCUSSION/CONCLUSION..... | 32 |
| 1. Effort d'observation..... | 32 |
| 2. Influence temporelle..... | 33 |
| 3. Influence spatiale..... | 34 |
| VI. ANNEXES..... | 36 |
| VII. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 40 |



I. CONTEXTE

1. Contexte mondial

L'océan est un espace de partage de plus en plus complexe à gérer. De cela découlent des interactions qui peuvent être néfastes pour les espèces, comme c'est le cas des cétacés qui sont menacés par différentes activités anthropiques (ex : collisions avec les navires, enchevêtrement dans les engins de pêche actifs ou fantôme, pollution chimique, nuisance sonores ou effet indirects du changement climatique qui affectent leurs habitats et leurs proies). Ces menaces, en constante augmentation au fil des ans, font l'objet de nombreuses études (Amara, 2010; Weir and Pierce, 2013; de Vere et al., 2018; Nicol et al., 2020).

Depuis 1950, la vitesse et le nombre de bateaux augmentent, deux paramètres fortement liés au risque de collision avec les grands cétacés qui se voient donc davantage menacés (Jensen and Silber, 2004; Vanderlaan and Taggart, 2007; Dolman et al., 2009). La collision se définit 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 (NOAA Fisheries, n.d.). Les blessures en question sont de profondes entailles et des caudales coupées dues aux hélices ou des blessures contondantes telles que des ecchymoses et des fractures du crâne, de la mâchoire et des vertèbres (Laist et al., 2001; Van Waerebeek et al., 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 (Figure 1, Vanderlaan & Taggart, 2007). De plus, les collisions sont également dangereuses pour la sécurité des passagers qui peuvent être blessés, voire tués, à l'impact. La coque du bateau peut aussi subir d'importants dégâts (De Stephanis and Urquiola, 2006; Van Waerebeek and Leaper, 2008; Carrillo and Ritter, 2010).



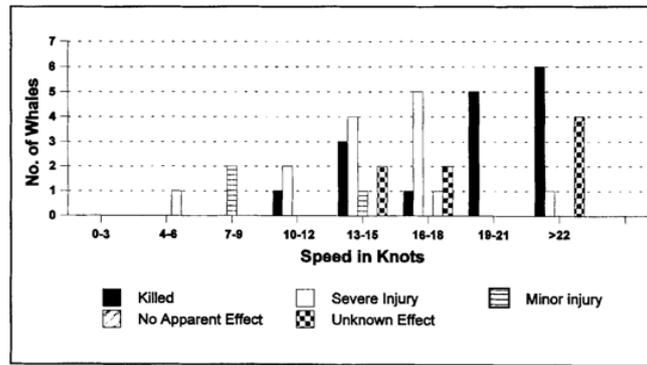


Figure 1 : Sévérité des blessures de baleines causées par la collision avec un bateau naviguant à une vitesse connue. Mort = carcasse observée. Blessure sévère = rapport d'une blessure saignante ou observation de sang dans l'eau. Blessure mineure = blessure visible sans sang ou signe de détresse sans observation de sang. Pas d'effet apparent = revue sans blessure apparente ou signe de détresse et reprise de l'activité pré-collision. Inconnu = baleine non revue et aucun rapport de sang dans l'eau (source : Laist et al., 2001).

Bien que de nombreux grands cétacés soient menacés par le risque de collisions, certaines espèces sont plus enclin au risque que d'autres. C'est notamment le cas des rorquals communs (*Balaenoptera physalus*), des baleines à bosse (*Megaptera novaeangliae*), des baleines franches de l'Atlantique Nord (*Eubalaena glacialis*) et des grands cachalots (*Physeter macrocephalus*) (Laist et al., 2001; Peltier et al., 2019). Cela pourrait être expliqué par la répartition de certaines de ces espèces (ex : baleines franches de l'Atlantique Nord et baleine à bosse) qui passent une partie de leur temps sur le plateau continental, à la surface de l'eau, ou par un phénomène d'accoutumance (Laist et al., 2001; Van Waerebeek et al., 2007). De plus, les individus les plus touchés sont les baleineaux et les juvéniles car supposés plus naïfs et inexpérimentés à l'approche des bateaux (Carrillo and Ritter, 2010).

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 décisions. 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. Dans certains cas, les baleines se logent sur les bulbes des gros navires et l'équipage n'en prend souvent 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.



Au regard de toutes ces informations, il est aujourd'hui devenu indispensable d'établir des plans de conservation permettant de limiter au maximum toutes ces 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

a. Le transport maritime local

La Polynésie française est un territoire dispersé et isolé géographiquement et s'étendant sur une superficie comparable à la taille de l'Europe, soit plus de 5 millions de km². Ses 118 îles, dont 72 habitées, sont très éloignées les unes des autres avec plus de trois heures d'avion pour relier Tahiti aux îles les plus éloignées.

Parallèlement à une forte desserte interinsulaire 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 interinsulaire desservant 266 ports et embarcadères (ISPF, cité par l'Assise des Outremer, 2018).

Au regard du trafic maritime mondial, les îles de l'archipel de la Société et des Tuamotu ouest (Figure 2) se démarquent dans le Pacifique sud-ouest, avec comme point de convergence le port de Papeete (Tahiti).



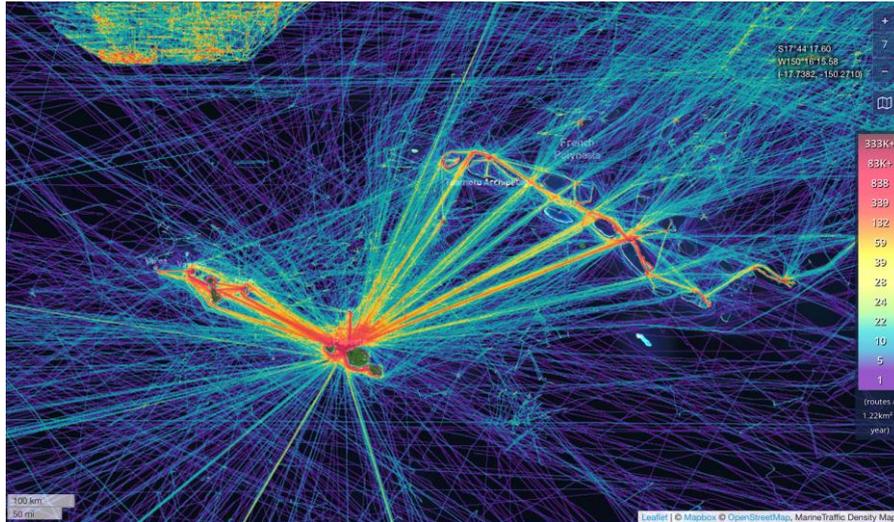


Figure 2 : Carte du trafic maritime de 2021 mettant en avant les axes principaux reliant l'archipel de la Société et l'archipel des Tuamotu (source : Marine Traffic, 2022).

Entrée maritime principale de Polynésie française, le port de Papeete comptait, en 2015, parmi les 10 plus grands ports français en termes de trafic de passagers (Créocéan, 2015). Avec plus de 200 000 routes/0,08 km²/an (Figure 3), la route maritime entre Vaire (Moorea) et Papeete représentait 99% du trafic en 2013 (Créocéan, 2015). Cette ligne assurait 97% du transport de passagers en Polynésie française en 2021 (IEOM, 2022), principalement des habitants de Moorea venant travailler sur Tahiti. Les navettes sont assurées par trois compagnies maritimes différentes, à savoir la SNC Aremiti (Aremiti 6 et Aremiti Ferry 2), la SARL SNGV2 Moorea (Terevau) et la SAS Vaeara'i (Vaeara'i). À cela s'ajoute des croisières touristiques reliant Tahiti aux autres îles de Polynésie française (Aranui 5, Paul Gauguin) mais également des paquebots internationaux venant y faire escale au cours de leur circuit transpacifique (Gonsard and Periou, 2016). Ce sont donc des centaines de bateaux qui croisent la route des cétacés, représentant un risque de collision potentiel pour ces derniers.

b. Les mammifères marins en Polynésie française

Parmi les 87 espèces de cétacés recensées dans le monde, près de 16 fréquentent les eaux polynésiennes (Gannier, 1999, 2000, 2002; Laran and Gannier, 2001; Laran et al., 2012; Poole, 2013; Poole et al., 2013). Cependant, certaines études mentionnent que plus de 20 espèces de cétacés pourraient fréquenter les eaux de Polynésie française, au moins de façon saisonnière (Reeves, 1999).



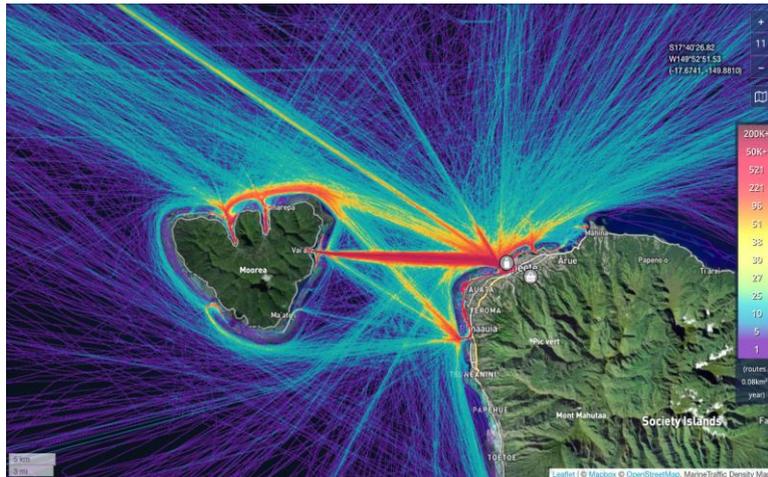


Figure 3 : Carte du trafic maritime de 2021 mettant en avant l'axe principal reliant le port de Papeete au port de Moorea, ainsi que les axes secondaires vers ou depuis le port de Papeete (source : Marine Traffic, 2022).

L'une des espèces migratrices la plus emblématique de nos eaux est la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*). Une estimation de la taille de la population en Polynésie française a pu être effectuée via des photographies de nageoires caudales, des prélèvements génétiques et des modèles d'estimation, permettant d'aboutir à une estimation de 1057 individus (20% IC : 934-1849 individus ; Poole, 2002). Il est à noter que 650 individus ont été observés entre Moorea et Tahiti entre 2013 et 2014 (comm. pers. M. Poole). Plusieurs raisons expliquent la présence de cette espèce en Polynésie. En effet, les baleines remontent de leur zone de nourrissage (Antarctique) pour profiter de la température des eaux polynésienne de juillet à décembre afin de se reproduire, de mettre bas et de se reposer (Poole, 2002; Rosenbaum et al., 2014). Les femelles avec des baleineaux passent une grande partie de leur temps dans les eaux côtières peu profondes telles que les lagons afin de diminuer la rencontre avec les prédateurs et éviter le harcèlement des mâles reproducteurs qui pourraient blesser le jeune (Smultea, 1994; Esposito et al., 2020). Le couple mère/baleineau est d'ailleurs régulièrement observé à moins de 2 km du littoral (Gannier, 2004). Du fait de leur comportement, on comprend que les baleines à bosses sont particulièrement exposées au risque de collision.

c. Pourquoi protéger les baleines à bosse de Polynésie française ?

Aujourd'hui, la sous-population de baleines à bosse océaniques, dont font partie celles de Polynésie française, est classée comme « en danger » par l'UICN alors qu'elle possède un statut de préoccupation mineur dans le monde (Childerhouse et al., 2008; Cooke, 2018).



De plus, les grands cétacés tels que la baleine grise (*Eschrichtius robustus*) et la baleine à bosse jouent un rôle clef dans l'amointrissement du réchauffement climatique. En effet, ils agissent en tant que pompe à carbone, accumulant ce dernier dans leur corps tout au long de leur vie. En moyenne, 33t de CO₂ se retrouve piégé à la mort de l'animal et finira par couler vers les abysses (Figure 4 ; Chami et al., 2019; Lavery et al., 2010).

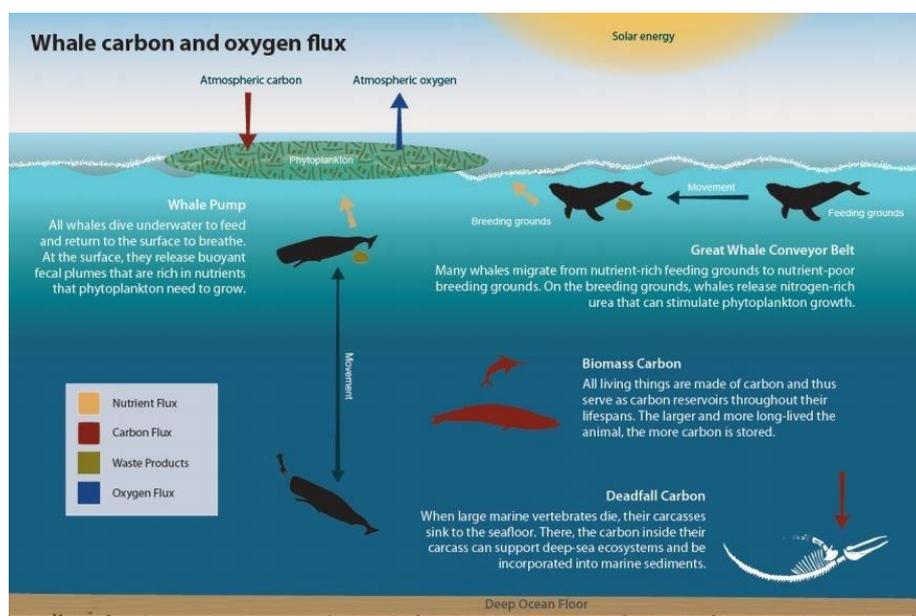


Figure 4 : Schéma des flux de carbone au cours de la vie d'un grand cétacé (source : Chami et al., 2019).

Ainsi, depuis le 13 mai 2002, les eaux intérieures, la mer territoriale et la Zone Économique Exclusive de Polynésie française sont classées comme sanctuaire pour les mammifères marins, faisant de ces derniers des espèces protégées de catégorie B du code de l'environnement de la Polynésie française car considérées comme rares ou d'intérêt particulier (Art. 622-1, 622-2). 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 622-3) dans le but d'assurer un statut de conservation favorable pour les populations de cétacés.

Depuis le 3 avril 2018, la ZEE de Polynésie française, recouvrant une aire d'environ 5 millions de km², est classée en tant qu'Aire Marine Gérée de catégorie VI du code de l'environnement sous le nom de *Tainui Atea* (Art. 507-1), l'inscrivant officiellement parmi les 51 espaces naturels protégés du code de l'environnement. L'une des recommandations émises par la Fédération des Associations de Protection pour l'Environnement pour la



gestion de l'AMG est la mise en place de dispositifs anticollisions obligatoires pour les navires de plus de 24m¹.

Ainsi, dans ce contexte d'expansion du trafic maritime, de développement économique, de fréquentation du sanctuaire par les cétacés et d'une volonté de protéger ces espèces, le projet « Vigie Sanctuaire » a été initié. Actuellement, il s'agit du seul projet d'étude ayant pour objectif d'améliorer les connaissances sur le risque de collisions de Polynésie française qui représente une vaste zone géographique mais dont on dispose encore de peu d'informations.

II. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Vigie Sanctuaire (VS) est l'unique programme scientifique dont l'objectif principal est de mieux anticiper et limiter le risque de collisions en Polynésie française. Il est aujourd'hui considéré comme le projet anticollision avec l'effort d'observation le plus important au monde.

VS était initialement un programme sur trois ans (2018-2020) visant à faire un état des lieux du phénomène de collisions en Polynésie française afin de proposer *in fine* un plan d'action pour réduire cette menace à l'échelle du sanctuaire polynésien et assurer l'avenir de la population de baleines à bosse qui le fréquente. Le projet s'inscrit dans une démarche pluridisciplinaire à l'interface science/société et se veut pérenne. En effet, Oceania souhaite initier un dialogue entre les scientifiques, les décideurs, les usagers et les citoyens au sujet de leur utilisation de l'habitat (ici la route maritime reliant Tahiti à Moorea) et les impacts possibles sur les baleines à bosse.

Pour cela, VS contribue à la diminution des risques de collisions entre navires à grande vitesse et baleines à bosse par :

1. L'augmentation des connaissances des phénomènes de collisions en quantifiant la distribution spatiale du trafic maritime (l'aléa) et des baleines à bosse (l'enjeu) sur la zone d'étude ;
2. L'amélioration de la détectabilité des baleines à bosse grâce à la présence de MMO (Marine Mammal Observer) du 1^{er} août au 1^{er} novembre, sept jours sur sept ;

¹ Recommandations de la FAPE Te Ora Naho pour la mise en œuvre du plan de gestion de l'aire marine gérée de Polynésie française.



3. Une collaboration quotidienne avec les deux sociétés de transport de passagers utilisant la route maritime reliant Tahiti et Moorea ;
4. La sensibilisation du personnel de bord à la problématique des collisions ;
5. L'éducation du grand public à la thématique des cétacés de Polynésie française et des menaces qui pèsent sur ces populations.

III. MATERIELS ET METHODES

Le capitaine et l'équipage étant les acteurs déterminants de la réussite de notre projet, 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 malgré les contraintes du terrain, doit être efficace et remplir les objectifs de VS. De ce fait, notre équipe a de nouveau rencontré au préalable les acteurs de la zone afin de mieux cibler leurs possibilités de manœuvres et d'adapter le protocole d'évitement. En parallèle, la rencontre avec les gestionnaires des compagnies maritimes est une étape tout aussi primordiale car elle permet de déterminer comment Oceania peut aider au mieux dans la prise de décisions face à ce risque de collisions. Il s'agit de trouver un équilibre entre l'activité économique et la préservation d'une espèce afin d'assurer la meilleure collaboration entre nos entités et donc l'accomplissement de notre projet.

1. Zone d'étude

La zone d'étude est la route maritime reliant le port de Vaiare (Moorea) au port de Papeete (Tahiti). Elle est divisée en 7 zones : la route maritime en mer ouverte, la zone portuaire de Papeete (passe, lagon et quai) et la zone portuaire de Vaiare (passe, lagon et quai ; Figure 5). L'ensemble des coordonnées délimitant cette zone est présenté en Annexe 2.



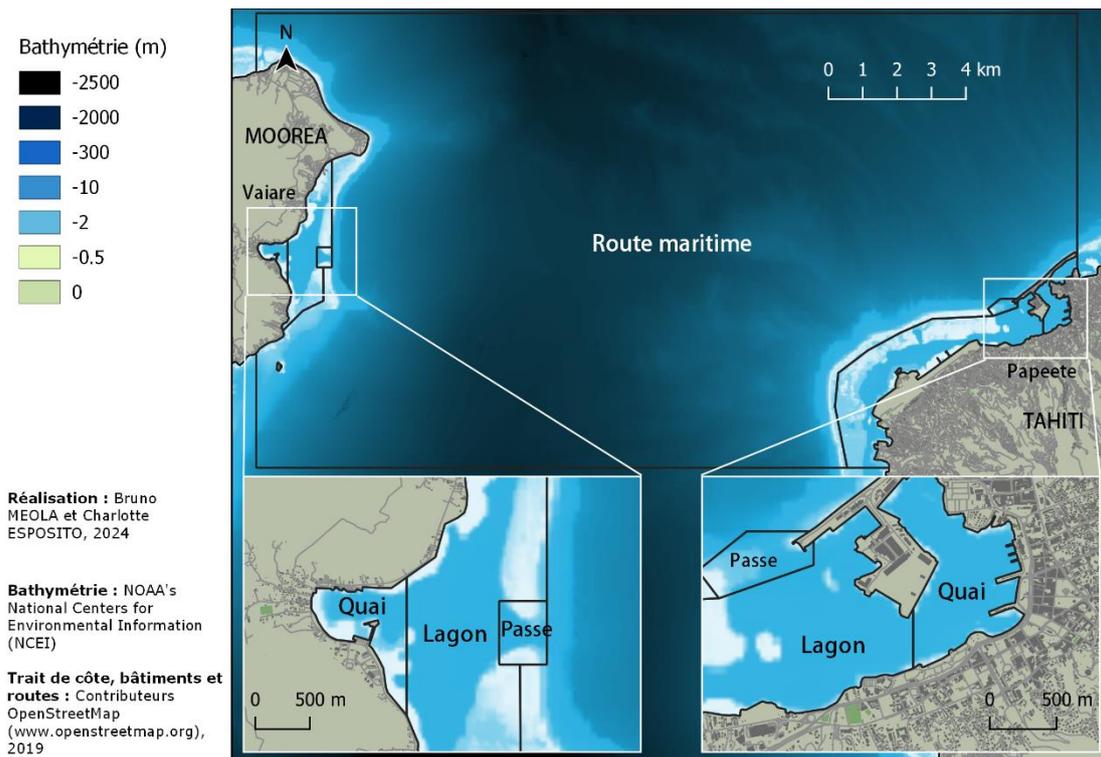


Figure 5 : Zone d'étude du projet Vigie Sanctuaire.

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. Toutefois, le tracé de leurs routes évolue selon diverses contraintes telles que la météo, l'emplacement des infrastructures portuaires, la géographie des côtes, le relief marin, les facteurs politiques ou régime des points de passages (ex : le canal du Panama), et la sécurité.

2. Plateformes d'observation

La route reliant Tahiti à Moorea est majoritairement parcourue par quatre navires de transport de passagers et de fret appartenant à deux compagnies privées locales : SNC Aremiti (l'Aremiti 6 (A6) et l'Aremiti Ferry 2 (A2)) et SARL SNGV2 Moorea (Terevau) (Figure 6). Depuis 2021, le Vaeara'i, un navire de 77m de long, est venu s'ajouter aux deux autres compagnies. Nos OMM ne couvrent aucune de ses navettes. Les équipages des navires partenaires sont toutefois en communication avec ce dernier afin de communiquer les informations importantes et à risque élevé pour les baleines, comme leur présence dans le lagon ou aux abords des passes.



| | |
|-----------------------------|---|
| 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 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 |



Figure 6 : Plateformes d'observations utilisées sur l'ensemble du projet VS 2023.

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 kilomètres et la détection d'un individu est généralement un bon indicateur de la présence d'autres individus dans la zone. De plus, de légères modifications de la trajectoire du navire visant à s'éloigner de la zone où les baleines ont été observées peuvent réduire significativement les risques de



collisions. Ainsi, une détection précoce de l'animal permet d'augmenter le temps de manœuvre et donc la sécurité de celle-ci.

Dans cette optique et dans le cadre du projet Vigie Sanctuaire, des observateurs formés à la détection et l'identification des cétacés (MMO) sont chargés d'observer l'horizon à l'œil nu et aux jumelles. La formation qui leur est dispensée est exigée dans plusieurs pays, démontrant sa pertinence et l'importance accordée au travail du MMO. En effet, l'application d'un programme de surveillance est une tâche exigeante qui demande concentration, rigueur, patience, ainsi qu'une capacité à identifier les espèces observées. 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 décisions rapide et pertinente (Esposito and Schneider, 2019; Esposito et al., 2020).

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 des navires la position de l'animal et l'angle par rapport au cap du bateau auquel il se situe. Ces informations permettent au capitaine d'adopter une stratégie d'évitement optimale en considérant les autres risques comme les collisions avec les bateaux environnants ou les contraintes environnementales (ex : récif, banc de sable) (Gende et al., 2019). La présence de MMO à bord est d'autant plus importante que les capitaines ont d'autres paramètres à gérer pour assurer la sécurité des passagers durant la traversée. Ainsi, les observateurs à bord permettent de limiter au maximum le risque de collision entre les baleines à bosse et les navires sans mettre en danger la sécurité des passagers et de l'équipage (Esposito and Schneider, 2019).

Dans le but de remplir au mieux ce rôle, Mlle Esposito Charlotte, formatrice qualifiée et expérimentée d'Oceania, a formé depuis le début du projet une vingtaine d'observateurs de mammifères marins (MMO). Tous ont reçu la même formation représentant 6 modules d'enseignement répartis sur 3 jours soit un total de 24 h de formation minimum (16 h de théorie et 8 h de pratique).

Les OMM sont ainsi formés à la récolte des données grâce à l'application *OBSenMER* (en mode « Expert ») sur des iPads avec option *cellular* uniquement (iPad 8 d'Apple). *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,



collectant tant des données de sciences participatives que des données issues d'un protocole scientifique.

4. Protocole d'observation et de récolte de données

a. 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 pour faciliter le dialogue et la collaboration avec l'équipage. Par manque de budget et pour pouvoir indirectement couvrir les trajets des deux compagnies, le planning des deux MMO ne couvrait pas les mêmes 4 jours d'affilée dans la semaine. Ce choix a été fait de manière à privilégier une surveillance constante du plan d'eau (7jours/7), au moment où il y avait le plus grand nombre de rotations et donc de risques potentiels de collisions (Figure 7).

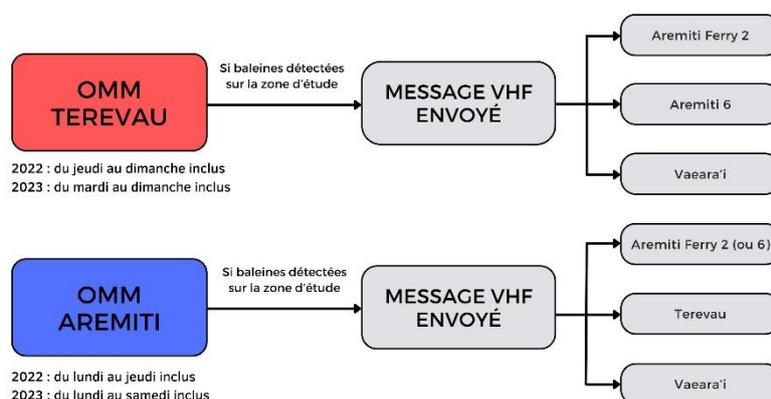


Figure 7 : Optimisation du temps de présence des MMO sur la zone d'étude pour limiter le risque de collision en 2023.

Les données ont été collectées suivant la méthode de Transect Linéaire (TL) qui 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 respectés dans cette étude et décrits plus précisément dans Buckland & Turnock (1992). Elle présente de nombreux avantages tels qu'un faible coût, une distance parcourue importante au vu des nombreuses rotations quotidiennes et une position de l'observateur surélevée par rapport au niveau de la mer, permettant d'augmenter la distance maximale de détection. La méthode par TL est actuellement la méthode de référence pour la surveillance et l'estimation de densité et d'abondance des populations de cétacés (Di-Meglio and David, 2010; Arcangeli et al., 2013). Oceania s'inscrit ainsi dans une volonté d'homogénéisation des protocoles



d'étude entre les structures afin de développer des stratégies de conservation efficaces et réduire au maximum le risque de collisions à long terme.

Sur chaque TL, le MMO était posté à des endroits stratégiques sur le navire, préférentiellement en passerelle sur le Terevau et l'A6, et à l'intérieur ou au-dessus de la passerelle sur l'A2. L'œil humain est capable de voir l'horizon à environ 4 700 m quand il se situe à 1,73 m du niveau de la mer (Villemin, 2022). Les MMO étant situés à une hauteur comprise entre 5,61 m (Terevau) et 20 m (Aremiti Ferry 2), leur rayon de visibilité était généralement bien supérieur. Dès la détection d'une 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 (Figure 8).

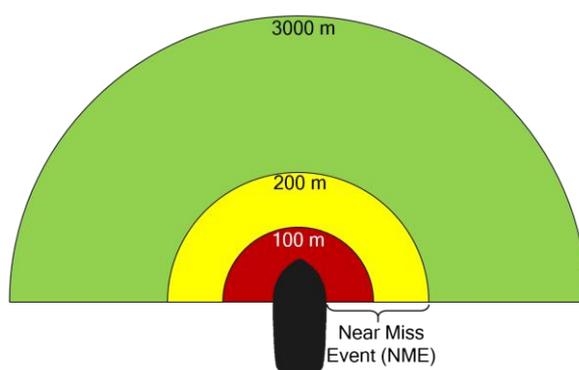


Figure 8 : Représentation des trois types de codes d'alerte déclenchés : rouge (0 - 100 m), jaune (100 m - 200 m) et vert (200 m - 3 000 m).

Ce qu'on définit comme une « collision évitée » (soit par l'animal soit par le bateau), est appelée Near Miss Event (NME ; Figure 8). Un NME dépend de la configuration de la rencontre entre l'animal et le navire. 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 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 (Figure 8).

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 : individuel (distance, position par rapport au cap du navire, comportement et direction de nage de l'animal), technique (vitesse et chargement du navire) et météorologique (conditions environnementales), qui permettent ou non un changement de cap. Après avoir transmis le code, les MMO devaient prendre le point GPS et consigner l'ensemble des paramètres et informations utiles à l'étude sur des formulaires experts via l'application OBSenMER à l'aide de leur Ipad.

b. 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 collisions 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 and Vinet, 2006). L'aléa est défini ici comme la probabilité d'occurrence d'un événement potentiellement nuisible tel que la collision (Leone and Vinet, 2006). Les enjeux sont les animaux, les biens, les équipements et l'environnement, susceptibles de subir les préjudices induits par l'aléa (Leone and 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 peut 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 ou ultérieure).

c. Évaluation de l'aléa : distribution spatiale de l'intensité du trafic maritime

Dans cette étude, l'aléa est représenté par un indice relatif d'intensité du trafic maritime appelé ITM et 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 a été enregistré tous les 100m ou toutes les 5 minutes si le bateau a parcouru moins de 100m via le GPS intégré des iPads. 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 vitesse 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'études et de calculer l'indice de mortalité.

L'usage de l'AIS est obligatoire pour éviter le risque de collisions 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 et A6), et le reste du trafic depuis le 31 décembre 2004 (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.

d. Évaluation de l'enjeu : distribution spatiale des baleines à bosse

La présente étude porte spécifiquement sur l'enjeu écologique associé à *Megaptera novaeangliae*, la baleine à bosse, 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 ont été pris à bord des navires, en notant précisément le gisement et la distance d'observation du cétacé à l'instant de la prise du point GPS. Nous avons choisi de faire ce repositionnement pour obtenir la position réelle des individus au moment de la prise du point GPS. Cette position approximative réelle a été obtenue en convertissant nos coordonnées polaires (gisement et distance) en coordonnées cartésiennes (x, y).

Nous avons évalué l'influence temporelle et spatiale sur la distribution de l'enjeu à l'aide de tests du χ^2 . Dans un premier temps, nous avons évalué si



la proportion de trajets durant lesquels au moins une observation de baleine à bosse a eu lieu, variait au cours de la saison (du mois d'août à octobre) et au cours de la journée (avant 9h, de 9h à 12h, de 12h01 à 15h et après 15h). Nous avons ensuite évalué l'effet du mois, du moment de la journée et de la zone d'étude sur la proportion des NME (codes rouges et jaunes) dans les observations. Les tests de proportion permettent de prendre en compte la différence d'effort d'échantillonnage entre les zones d'étude (due à leur différence de superficie), au cours de la saison (due à la présence de baleines sur site) et au cours de la journée (due aux horaires des traversées quotidiennes des navires).

e. **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 de résilience face à l'aléa (Leone & Vinet, 2006). Ici elle est représentée par le taux de mortalité en cas de collision, représentatif de la capacité de l'espèce à survivre et à se remettre d'un impact avec un navire. Cet indice de vulnérabilité (Vtm), décrit ci-dessous, est associé à d'autres paramètres pouvant influencer l'évènement d'une collision.

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 & Taggart (2007), ce facteur est directement relié à la valeur de la vitesse du navire lors de la collision (Figure 9). 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 décrite selon :

$$P_{lethal} = 1 / (1 + \exp^{-(-4.89 + 0.41speed)})$$



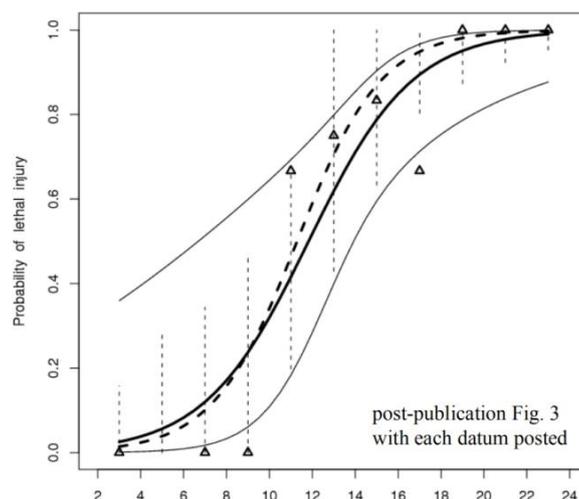


Figure 9 : Probabilité d'une blessure mortelle résultant d'un impact d'un navire avec un grand cétacé en fonction de la vitesse du navire basée sur la régression logistique simple (ligne noire épaisse) et IC à 95% (lignes fines grises de part et d'autres) et la logistique ajustée aux distributions des probabilités prédites bootstrappées (ligne pointillée épaisse) et IC à 95% pour chaque distribution (lignes pointillées verticales) 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. (Source : Vanderlaan & Taggart, 2007).

f. Calcul de l'indice de risque relatif

Le risque de collisions 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 d'une 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 est établie à partir d'un Indice de Risque relatif (IRr) inspiré d'un indice similaire présenté par Halpern et al. (2007, 2008), de telle sorte que :

$$IRr = I_{tm} * E * VG$$

L'IRr de l'aléa de collisions sur les baleines à bosse a été calculé pour chaque maille de 200x200m, en multipliant un indice relatif d'Intensité du trafic maritime (I_{tm}) 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 collisions.

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 collisions 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 (I_{tm}) 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 collisions, nous avons listé dans l'Annexe 3, sept paramètres cumulés, appelés V_x, avec x correspondant à chaque type de facteur, pouvant modifier la valeur de la probabilité de collisions.

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 C_x. Nous avons attribué une certitude de l'évaluation de chaque V_x à une échelle d'influence du risque de collisions 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
- 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 soit 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 :

$$VG = [(Vdo * Cdo * Cexp * Cmmo) + (Vind * Cind * Cexp * Cmmo) + (Vpnav * Cpnav) + (Vvent * Cvent) + (Vvisi * Cvisi) + (Vvit * Cvit) + (Vtm * Ctm)] / 28$$

Afin de déterminer où le risque de collisions est le plus élevé, nous avons comparé les IRr moyens dans les différentes sections de la zone d'étude où le bateau était situé lors de l'observation (zones portuaires de Papeete ou de Vaiare ou route maritime entre les deux îles) avec un test de Kruskal-Wallis.

5. Campagne de sensibilisation

a. Vidéos officielles Vigie Sanctuaire

L'engouement du grand public pour les vidéos petit format (moins de 2 minutes) nous a encouragé à réaliser un support audiovisuel pour assurer une diffusion grande échelle à bord des navires assurant la traversée Tahiti-Moorea ainsi que sur les réseaux sociaux (Facebook, Instagram & YouTube) pendant 3 mois. Une série de vidéos retraçant le quotidien d'un MMO ont ainsi été réalisées par les membres de notre équipe.

b. Observations depuis la terre

Dans un objectif de sensibilisation et de surveillance accrue, notre équipe était présente tous les samedis après-midi (lorsque la météo nous le permettait) au belvédère Toatea en observation sur la passe de Vaiare. À chaque observation de baleine aux abords de la passe ou dans le lagon, l'OMM embarqué était prévenu le plus rapidement possible (par appel téléphonique) ainsi que les capitaines de tous les navires de transports de passagers. Le public était invité à nous rejoindre pour l'observation et un éducateur de l'association était présent pour répondre aux questions et pour plus largement pour sensibiliser à la protection des cétacés.



IV. RESULTATS

1. Effort d'observation

Au cours de l'année 2023, la surveillance sur les navires s'est déroulée d'août à octobre (1^{er} août - 31 octobre 2023). La période d'échantillonnage représente une surveillance sur 91 jours, réalisée à bord des navires Aremiti 2, Aremiti 6 et Terevau représentant un effort de 23 483 km parcourus sur la période d'étude ; soit 1042 trajets (Figure 10).

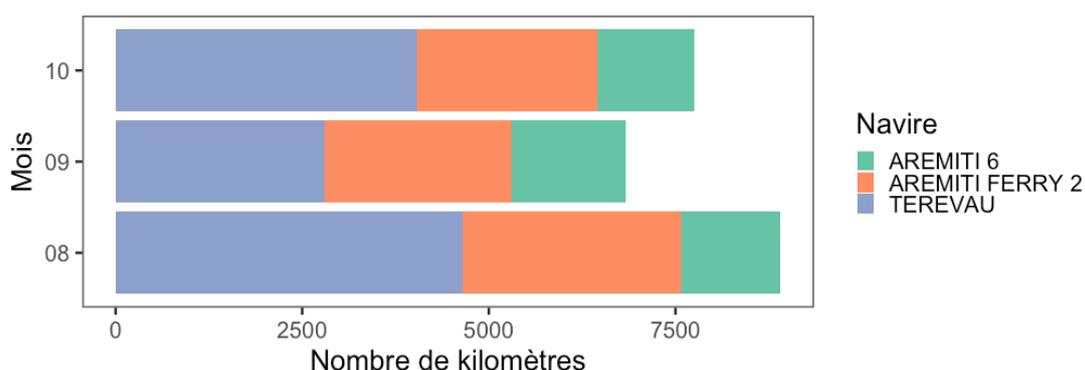


Figure 10 : Effort d'observation mensuel (en km) par navire sur l'ensemble des observations VS 2023.

2. Évaluation de l'aléa

La vitesse moyenne des trois bateaux confondus était significativement différente entre toutes les zones d'étude (Kruskal-Wallis $p < e^{-16}$), augmentant significativement du quai (5,3 nœuds), au lagon (13,8 nœuds), aux passes (21,1 nœuds) avec un maximum moyen sur la route entre les deux îles (29,4 nœuds). La vitesse dans les passes variait de 18,8 nœuds (A2) à 27,0 nœuds (A6) (Tableau 1). En moyenne, l'Aremiti 6 naviguait dans les passes plus vite que les deux autres bateaux en pleine mer.

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

| BATEAUX | QUAI | LAGON | PASSE | ROUTE |
|-----------------|------|-------|-------|-------|
| Aremiti 6 | 6,1 | 17,1 | 27,0 | 29,4 |
| Aremiti Ferry 2 | 5,4 | 12,5 | 18,8 | 19,8 |
| Terevau | 5,0 | 13,4 | 20,5 | 21,4 |

Les trois navires n'ont pas les mêmes performances en termes de vitesse, et cette variation est particulièrement visible dans les passes et en pleine



mer (Figure 11). En moyenne, l’Aremiti 6 et l’Aremiti Ferry 2 sont respectivement les plus et moins rapides dans les passes et sur la route entre les îles (Tableau 1; Figure 11).

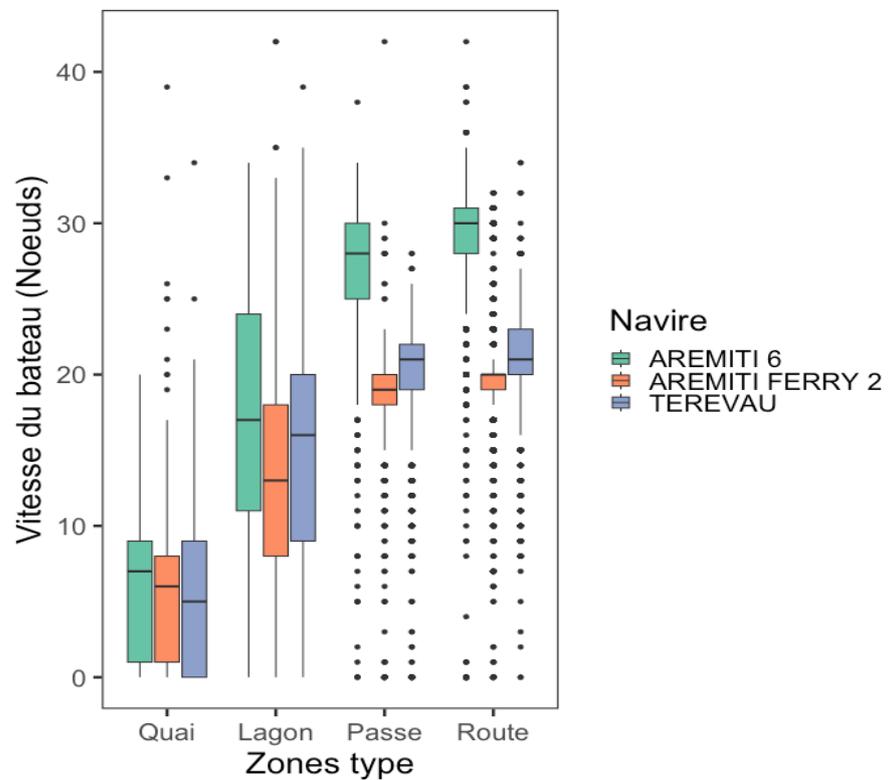


Figure 11 : Vitesse moyenne (en nœuds) des navires sur la route maritime entre les îles et dans les deux zones portuaires (quai, lagon et passe).

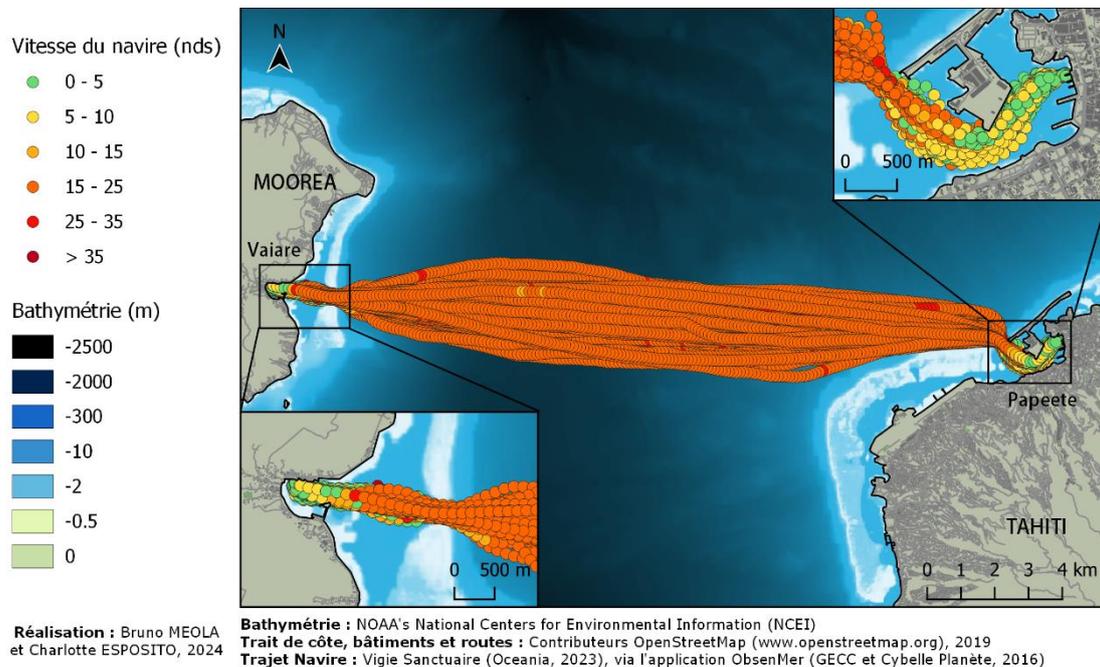


Figure 12 : Représentation de l’ensemble des trajets du navire Terevau en fonction de sa vitesse sur le projet VS 2023.



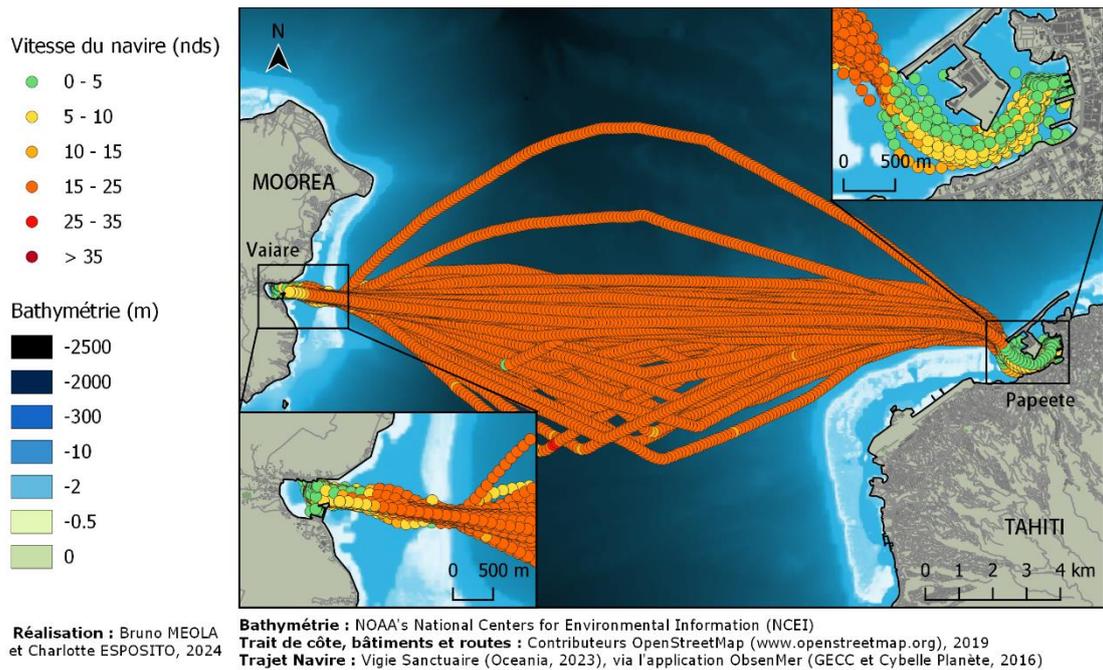


Figure 13 : Représentation de l'ensemble des trajets du navire Aremiti Ferry 2 en fonction de sa vitesse sur le projet VS 2023.

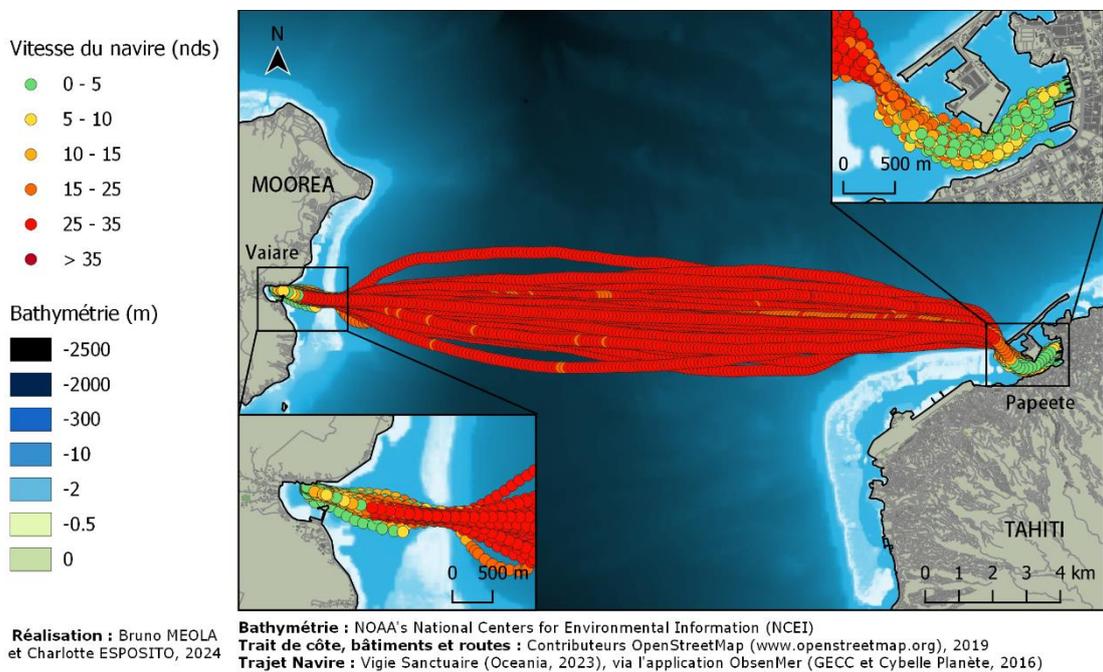


Figure 14 : Représentation de l'ensemble des trajets du navire Aremiti 6 en fonction de sa vitesse sur le projet VS 2023.



3. Répartition de l'enjeu et sa vulnérabilité

a. Distribution de l'enjeu "baleine à bosse"

En 2023, le projet VS a répertorié 1070 observations de baleines à bosse dans la zone d'étude. Parmi ces observations, 820 ont été comptabilisées sur la route entre les îles et 117 et 133 dans les zones portuaires de Papeete et Vaïare, respectivement (Figure 15). Un total de 97 observations était situé dans les passes, contre 36 vers les quais et 117 dans les lagons.

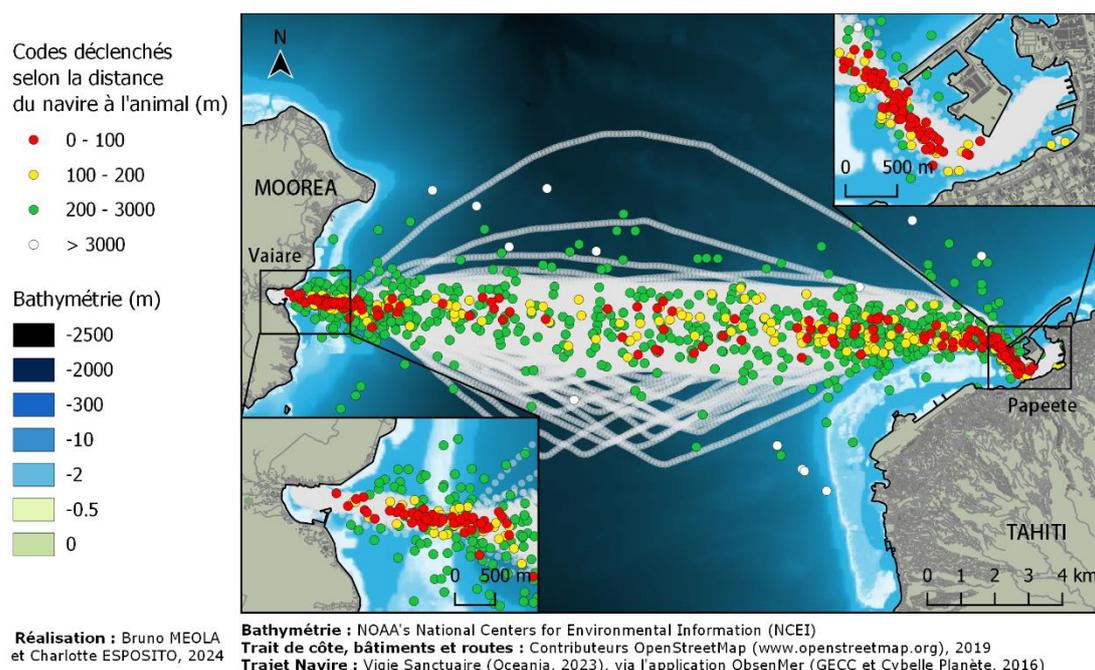


Figure 15 : Distribution spatiale approximative des baleines à bosse lors des déclenchements des codes verts, jaunes et rouges. Les points blancs représentent les observations au-delà de 3000m.

La proportion de trajets au cours desquels au moins une observation de baleine à bosse était faite, variait significativement au cours de la saison (Test de proportions ; $p < e^{-5}$; Figure 16a), avec un pic en septembre où une baleine était observée 71% des trajets, respectivement.

La proportion de trajets incluant une observation était plus élevée le matin avant 9h du matin (70%) et entre 9h et midi (69%) que l'après-midi entre midi et 15h (57%) et le soir après 15h (58%) (Figure 16b). Cette tendance était statistiquement significative (Test de proportions ; $p \cong 0.0026$).



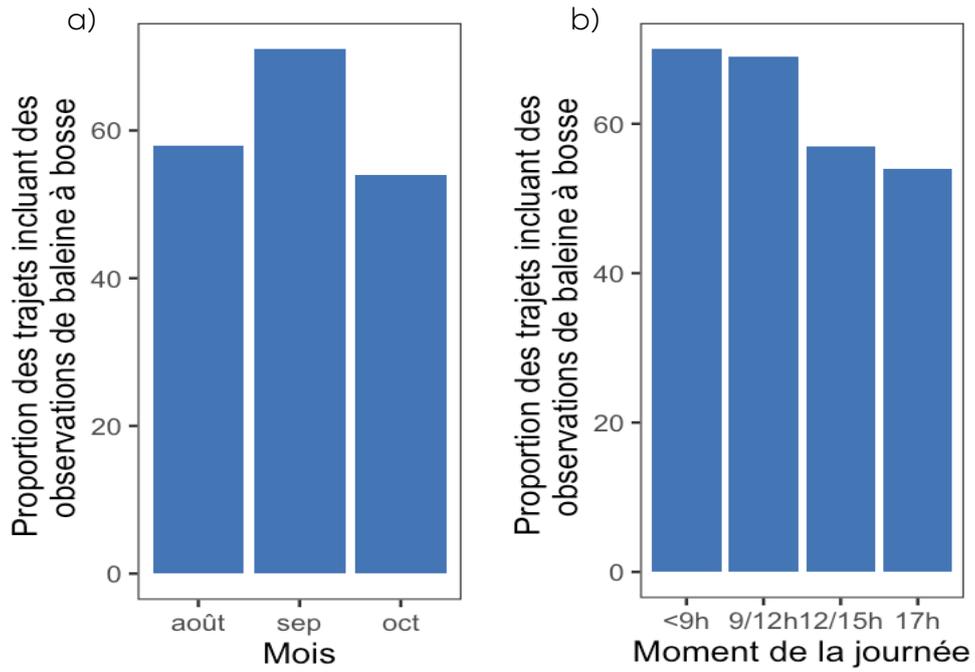


Figure 16 : Variation saisonnière (a) et journalière (b) de la proportion de trajets au cours desquels au moins une observation de baleine à bosse était faite.

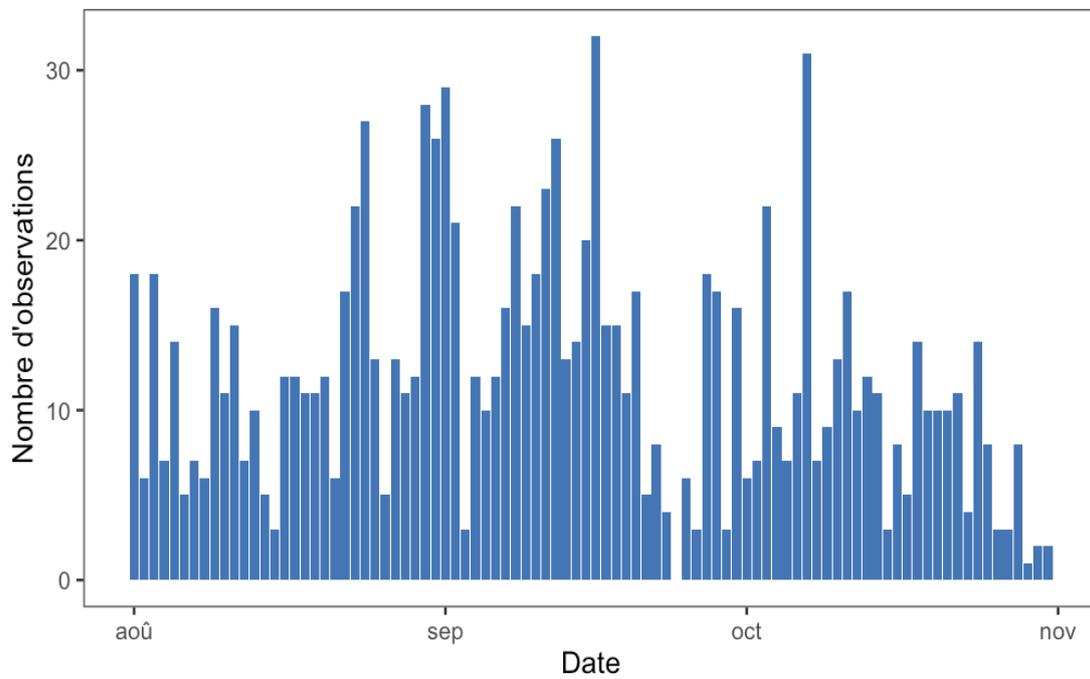


Figure 17 : Nombre d'observations de baleines à bosse relevées au cours des mois pendant VS 2023.



b. 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 1029 codes (662 verts, 172 jaunes et 195 rouges ; Figure 18). Selon notre définition, VS 2023 déclare avoir répertorié 367 NME sur l'ensemble de la saison, soit sur 91 jours.

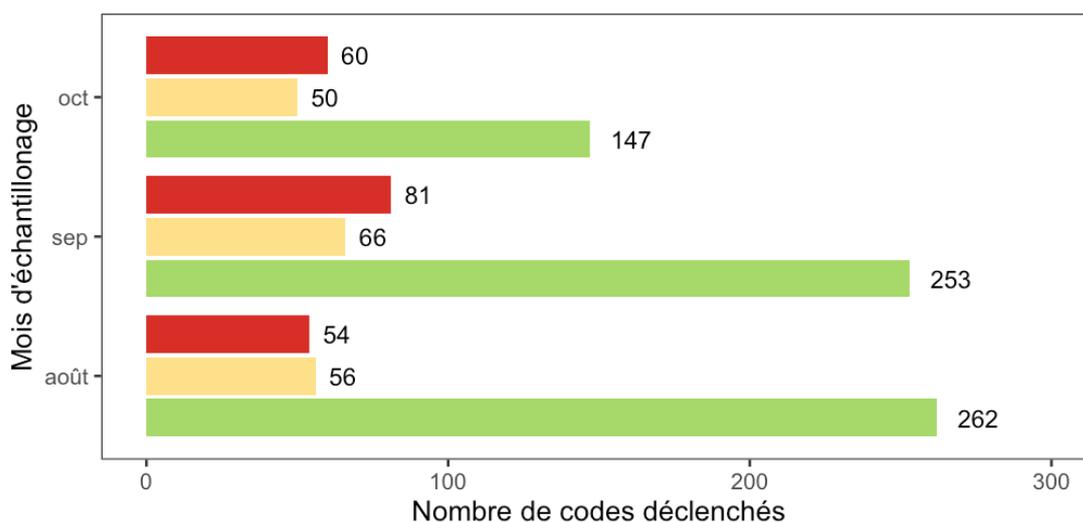


Figure 18 : Nombre de codes déclenchés par mois en fonction de leur couleur d'alerte (rouge, jaune et vert).

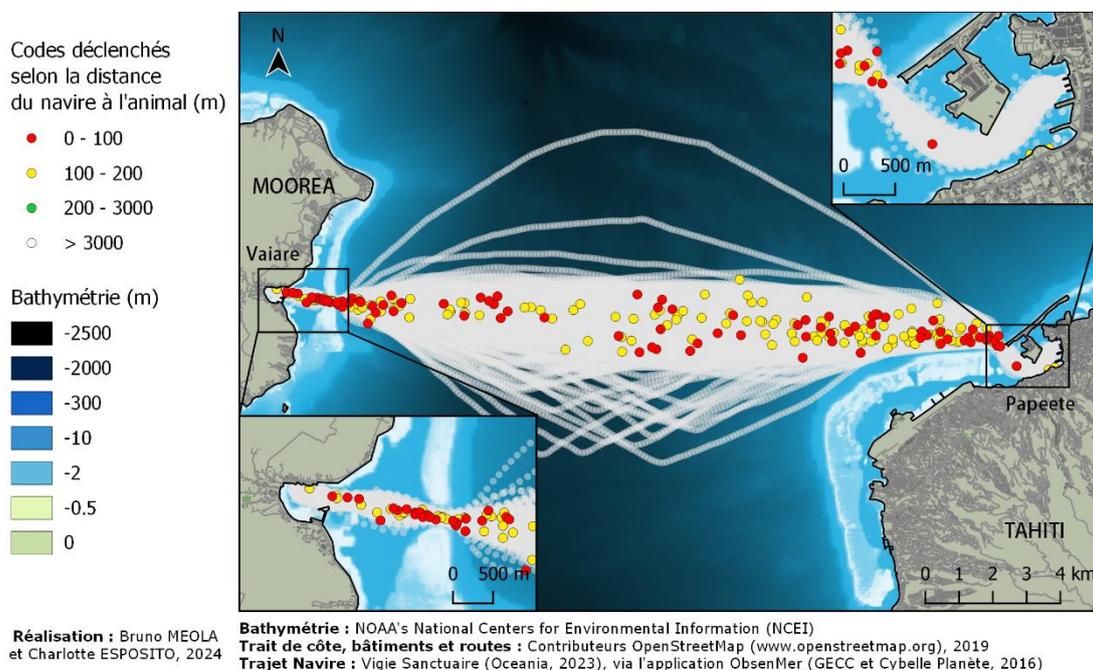


Figure 19 : Distribution spatiale des codes jaunes et rouges uniquement, déclenchés à bord des navires sur l'ensemble du projet VS 2023.



La proportion de NME dans les observations variait significativement au cours de la saison (test de proportions ; $p \cong 0.011$; Figure 20a). En revanche, le nombre de NME n'était pas significativement différent selon le moment de la journée (test de proportions ; $p=0.055$) avec plus de NME observés le matin que l'après-midi (Figure 20b).

On observe également un effet spatial significatif (test de proportions ; $p < e^{-16}$ Figure 21). La proportion de NME dans les observations est plus élevée dans la zone portuaire de Papeete (75% ; quai, lagon et passe confondus) que dans celle de Vaiare (44%) et que sur la route entre les îles (27% ; Figure 21a). La majorité des NME, en proportion du nombre d'observation total, est survenue dans les passes (60%) et le lagon (68%), et l'effet était également significatif (test de proportions ; $p < e^{-16}$; Figure 21b).

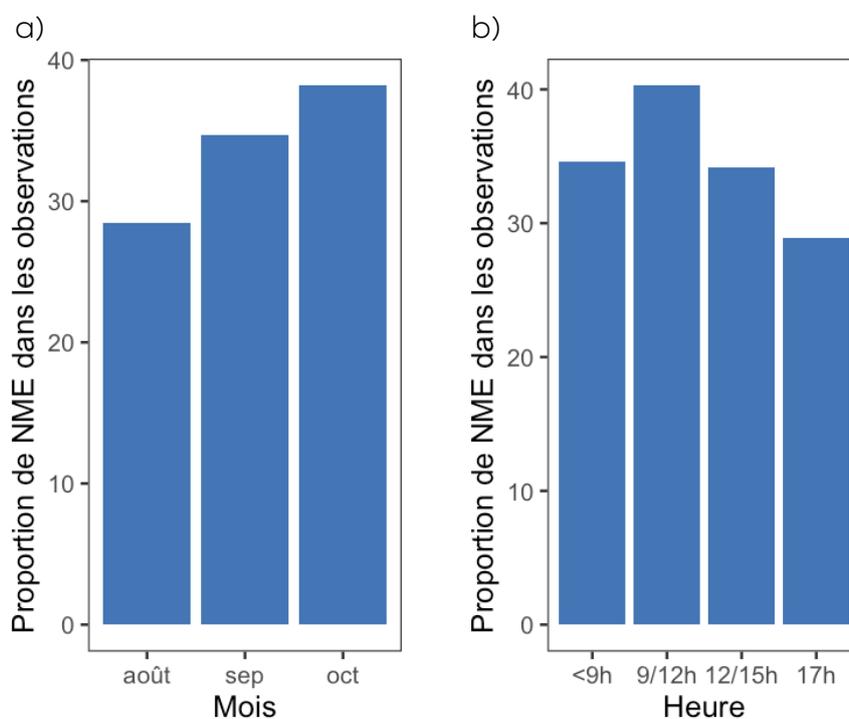


Figure 20 : Variations saisonnière et journalière de la proportion de NME dans les observations.



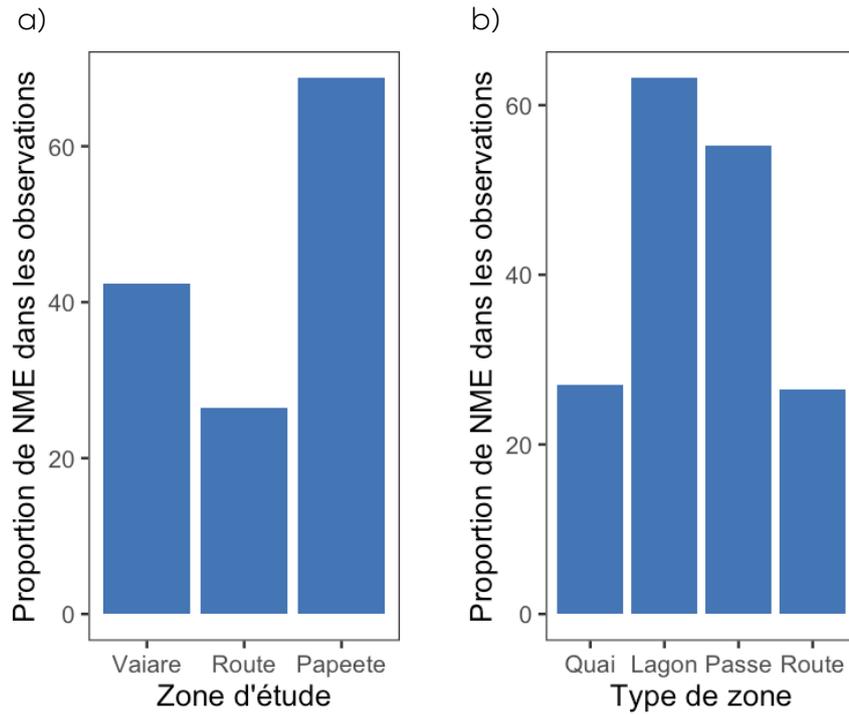


Figure 21 : Proportion de NME dans les observations en fonction de la zone d'étude.

c. Indice de risque de collision

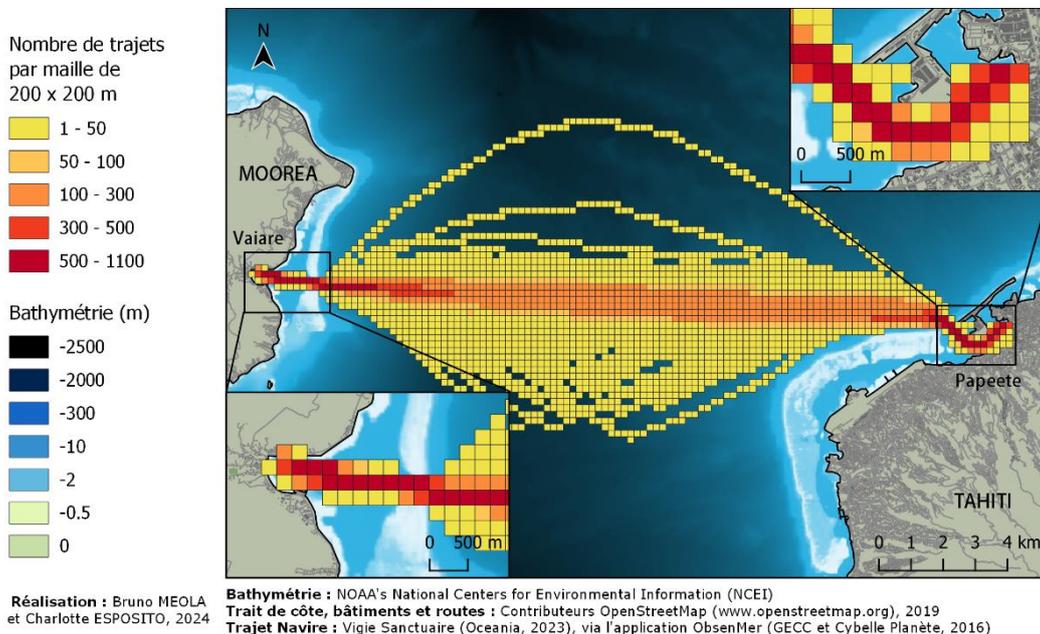


Figure 22 : Distribution spatiale du nombre de trajets des navires suivis effectuant la liaison quotidienne entre les îles de Tahiti et Moorea.



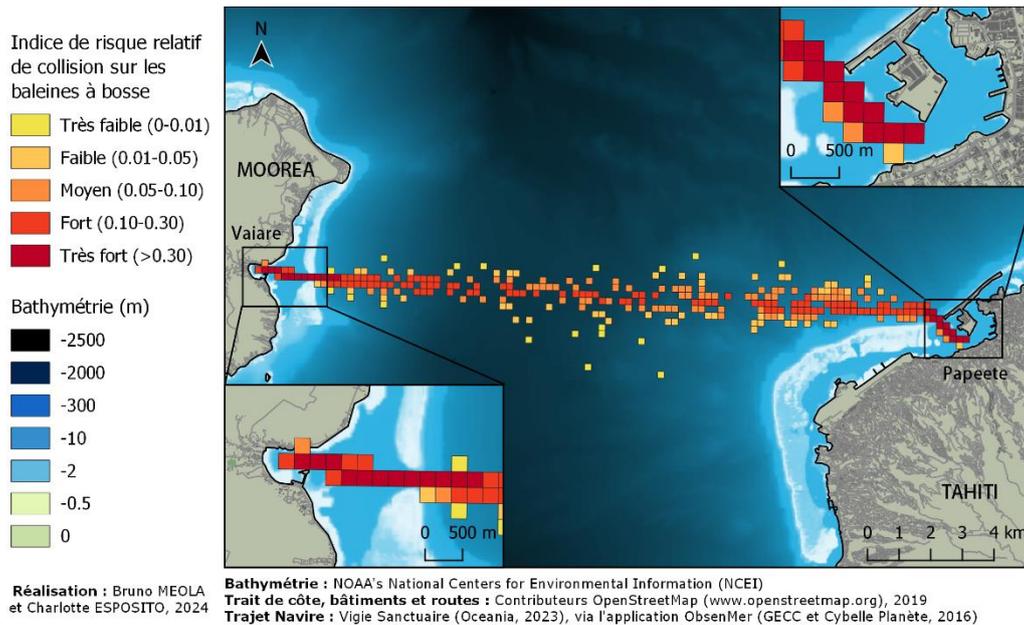


Figure 23 : Distribution spatiale du risque relatif de collision (IRr) entre baleine à bosse et navire effectuant la liaison quotidienne entre les îles de Tahiti et Moorea.

Le risque relatif de collisions (IRr) n'était pas uniformément réparti le long de la route des bateaux (Kruskal-Wallis ; $p < e^{-16}$; Figure 23). En effet, l'indice moyen de risque de collisions était significativement plus élevé dans les zones portuaires ($IRr_{\text{Quai}} = 0,42$; $IRr_{\text{Lagon}} = 0,35$, $p < 0,05$; $IRr_{\text{Passe}} = 0,51$, $p < 0,05$) qu'en pleine mer ($IRr_{\text{Route}} = 0,20$; Figure 24a). L'indice moyen de risque de collisions était similaire entre les zones portuaires de Vaiaire ($IRr_{\text{Vaiaire}} = 0,52$) et de Papeete ($IRr_{\text{Papeete}} = 0,33$; Figure 24b) et significativement plus élevé qu'en pleine mer ($IRr_{\text{Route}} = 0,20$). Aucun effet temporel du moment de la saison Kruskal-Wallis ; $p \cong 0,37$) ou de la journée (Kruskal-Wallis ; $p \cong 0,28$) n'a été établi.

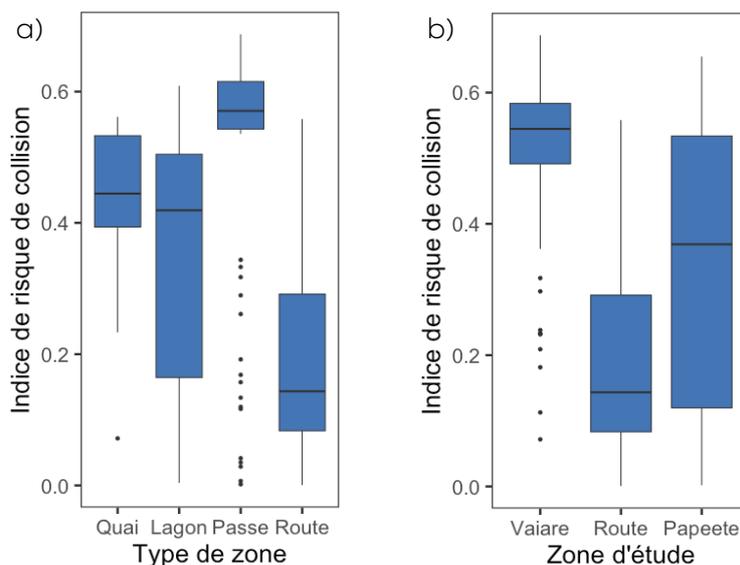


Figure 24 : Valeur de l'indice de risque de collision dans les zones d'étude.



V. DISCUSSION/CONCLUSION

1. Effort d'observation

Avec 106 234 km parcourus depuis 2018, Vigie Sanctuaire est le projet anticollision entre baleines et navires avec le plus grand effort d'échantillonnage au monde. Depuis son déploiement, 2 108 codes verts ont été déclenchés et 825 NME ont été répertoriés et plus de 371 collisions potentielles. Ces chiffres soulignent l'importance de la présence d'observateurs spécifiques à bord et joint plusieurs études conjointes considérant les MMO comme une méthode d'atténuation du risque de collision efficace et immédiate (Weinrich et al., 2010; Constantine et al., 2015). En effet, le MMO détecte les cétacés en premier significativement plus et plus loin que les autres membres de l'équipage (Tableau 2). La différence entre le MMO et le capitaine est probablement due au fait que ce dernier observe le pourtour proche et la route immédiate du bateau (Weinrich et al., 2010). Ainsi, la détection précoce de l'animal permet au capitaine d'effectuer une manœuvre d'évitement sécuritaire avec 75% de chance de réussite (Ritter, 2009 ; Référence non complète).

Tableau 2 : Nombre d'observations faites par les différents membres de l'équipage observant un cétacé en 1er, en-dessous et au-delà de 400m entre 2005-2006. (Créé d'après : Weinrich et al., 2010).

| | 1 ^{ère} détection | Dans les 400m | Au-delà de 400m |
|--------------------------------------|----------------------------|---------------|-----------------|
| MMO | 355 (56,4%) | 58 (46,8%) | 271 (58,3%) |
| Capitaine | 231 (36,7%) | 56 (42,2%) | 161 (34,6%) |
| Autres membres de l'équipage | 16 (2,5%) | 8 (6,5%) | 18 (3,9%) |
| MMO + capitaine simultanément | 27 (4,2%) | 2 (1,6%) | 15 (3,2%) |

À l'échelle des six dernières années, Oceania a couvert de manière représentative la saison de fréquentation des baleines à bosse entre Tahiti et Moorea. La méthode de surveillance par transect linéaire s'est révélée adaptée et efficace sur la route maritime reliant les deux îles. Néanmoins, la vitesse élevée des navires sur la route (jusqu'à 38 nœuds dans la passe pour l'Aremiti 6 et 39 nœuds dans le lagon pour le Terevau) peut affecter



l'exactitude de la position des points GPS des observations. En effet, lors d'une détection, le MMO doit en priorité transmettre le code d'alerte au capitaine. Durant ce temps, le navire parcourt plusieurs centaines de mètres dans un délai imparti avant la prise de données. Par exemple, 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 750m pourrait être induit sur la position du point. Si ce décalage peut fausser légèrement les repositionnements approximatifs des baleines observées, il affecte peu l'estimation de l'indice de risque de collisions basé sur la position du navire. Cette source d'erreur a cependant été adressée en réduisant le formulaire à remplir par le MMO.

En plus des MMO du projet Vigie Sanctuaire, d'autres acteurs ont participé à l'effort d'observation. Le projet *Vigie À Terre* (VAT) a assuré en 2023 une surveillance tous les samedis après-midi ; de mi-juillet à mi-novembre lorsque la météo nous le permettait ; au niveau de la passe de Moorea, depuis le belvédère Toatea. Les observateurs à terre transmettaient systématiquement à tous les navires la présence de baleines à proximité des passes et dans le lagon. Par ailleurs, certains prestataires whale-watching ont également communiqué régulièrement à Oceania la position d'individus sur la zone d'étude. La communication entre les différents acteurs (idéalement par VHF) s'est révélée cruciale pour la diffusion rapide de message d'alerte à tous les navires concernés, permettant une réaction rapide de la part des capitaines et une manœuvre d'évitement optimale.

2. Influence temporelle

Le projet s'étant déroulé du 1^{er} août au 31 octobre 2023, il est possible d'affirmer une variation mensuelle de la fréquentation de la route maritime Tahiti-Moorea par les baleines à bosses. En effet, un plus grand nombre d'observations de baleines s'est fait en septembre où 71% des trajets comportaient au moins une observation. Toutefois, ces observations semblent sujettes à des variations interannuelles, avec par exemple un pic de fréquentation en octobre pour l'année 2019 sur le projet Vigie Sanctuaire (Esposito et al., 2020).

En 2023, le nombre de NME varie au cours de la saison, avec une augmentation du mois d'août à octobre. Le risque de collision semble constant durant toute la période de présence des baleines à bosses, appuyant l'importance des MMO tout au long de la saison.

Le nombre de NME varie également selon l'heure de la journée, au même titre que le nombre d'observations de baleines à bosses variant pas significativement au cours de la journée, avec un pourcentage d'observation



et de NME le matin. Ces résultats corroborent avec ceux obtenus en 2021 (Esposito *et al.*, 2022 ; Rapport interne non publié), mais ne corroborent pas avec les résultats de 2022 et doivent par conséquent être interprétés avec réserve. En effet, la distance à laquelle l'animal va être détecté, et donc le type de code déclenché, est grandement dépendant de l'observateur (ex : fatigue) et des conditions météorologiques (ex : agitation de la mer, houle, pluie). Un troisième paramètre influençant la détection pourrait expliquer cette différence, il s'agit du comportement des animaux. Pour une même distance, une baleine ayant un comportement actif de surface telle que des sauts a une plus grande probabilité d'être détectée qu'un individu soufflant sans sortir ses nageoires (Williams *et al.*, 2016). Il a été constaté que la population de baleines à bosse de Hawaï témoigne d'un comportement de repos à l'aube tandis qu'il a été observé un comportement actif de surface à midi avec un maximum de temps passé en surface à 15h (Helweg and Herman, 1994). Ainsi, dans leur étude de cas, la probabilité de détection serait plus faible le matin, les baleines étant également supposées moins attentives au repos (Carrillo and Ritter, 2010). Une analyse des données sur les six ans du projet VS permettra de confirmer ou non cet effet temporel.

3. Influence spatiale

Le risque de collisions est calculé selon plusieurs paramètres et l'effet relatif varie avec le contexte. Sur la route maritime entre Tahiti et Moorea, les deux variables qui influencent particulièrement le risque de collisions sont la vitesse du navire et la zone dans laquelle l'observation intervient.

Jusqu'à 2021, la vitesse des bateaux (Aremiti Ferry 2, Aremiti 6 et Terevau) augmentait globalement, notamment dans le lagon. On observe cependant depuis 2022 une stabilisation générale de la vitesse des navires dans les différentes zones (Tableau 3), hormis pour le Terevau qui a largement diminué sa vitesse sur les différentes zones.

Les zones portuaires sont les zones à plus haut risque de collision. La capacité de manœuvre réduite (espace restreint, haut fond) dans la zone portuaire, tant pour le navire que pour la baleine, pourrait expliquer le nombre de NME et l'indice de risque relatif élevé dans cette zone. La diminution de ces deux paramètres pourrait se faire par la diminution de la vitesse des navires. En effet, une augmentation de la vitesse entraîne une diminution du champ de vision du MMO et une diminution du temps d'action lors de la détection d'un individu. Au niveau de la passe, l'augmentation du nombre de NME, malgré la diminution de la vitesse des navires, semble plutôt lié à la marge de manœuvre limitée pour des navires de cette taille dans cette zone.



Afin de limiter le risque de collision avec les baleines à bosse, il est donc primordial de diminuer la vitesse des navires dans les zones à haut risque. À titre d'exemple, la réduction de la vitesse à 10 nœuds le long de la côte est des Etats-Unis pour les bateaux de plus de 20m a permis de réduire le risque de mort par collision de 80-90% chez les baleines franches de l'Atlantique Nord (*Eubalaena glacialis*) (Conn and Silber, 2013).

Tableau 3 : Tableau récapitulatif de la vitesse moyenne des bateaux (nœuds) selon l'année et le lieu.

| | AREMITI FERRY 2 | | | | | AREMITI 6 | | | | | TEREVAU | | | | |
|--------------|-----------------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|
| | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| <i>Quai</i> | | 5,5 | 6,1 | 3,9 | 5,5 | | 6,5 | 7,7 | 6,6 | 6,2 | | 9,1 | 9,0 | 6,5 | 5,0 |
| <i>Lagon</i> | | 13,9 | 15,2 | 11,8 | 12,6 | | 19,5 | 23,2 | 17,7 | 17,1 | | 20,6 | 22,6 | 16,9 | 13,4 |
| <i>Passe</i> | 20,0 | 19,7 | 20,5 | 18,8 | 18,8 | 31,5 | 31,1 | 33,1 | 26,1 | 27,0 | 28,5 | 28,4 | 29,3 | 27,2 | 20,5 |
| <i>Route</i> | 20,8 | 20,8 | 21,1 | 20,0 | 19,8 | 36,3 | 36,1 | 34,1 | 27,4 | 29,4 | 29,7 | 29,8 | 30,6 | 29,7 | 21,4 |



VI. ANNEXES

ANNEXE 1

Grands cétacés observés suite à une collision



ANNEXE 2

Coordonnées géographiques de la zone d'étude

| POINT | LONGITUDE | LATITUDE |
|-------|-------------|------------|
| 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 |

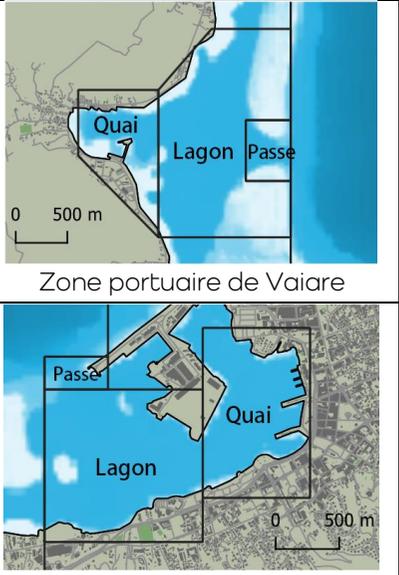


ANNEXE 3

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 |
|--|----------------|----------------------|--|---|----------------------------|
| Vdo = distance d'observation entre le MMO et la baleine à bosse à l'instant de la détection (en mètres) | 0-100m | 4 | Cdo = Certitude de s'approcher de la distance réelle d'observation | Si distance de l'obs est entre : 0-300m | 3 |
| | 100-200m | 3 | | 300-3000m | 2 |
| | 200-300m | 2 | Cexp = Certitude de l'évaluation en fonction de l'expérience du MMO | Si obs réalisée au mois d'août | 2 |
| | 300-3000m | 1 | | Si obs réalisée entre sep-nov Si obs entre 0-300m | 3 4 |
| Vind = nombre d'individus observés au moment de la détection | 1 individu | 1 | Cind = Certitude d'avoir estimé le nombre réel d'individus | Si distance d'obs est entre : 0-300m | 3 |
| | 2 | 2 | | 300-3000m | 2 |
| | 3 | 3 | Cexp = Certitude de l'évaluation en fonction de l'expérience du MMO | Si obs réalisée au moins d'août | 2 |
| | >4 | 4 | | Si obs réalisée entre septembre, et novembre Si obs entre 0-300m | 3 4 |
| Vvisi = visibilité du plan d'eau en fonction de la météo au moment de la détection | 0 ou 1 = nulle | 4 | Cmmmo = en fonction du jugement du MMO | MMO 1 | 4 |
| | 2 = mauvaise | 3 | | MMO 2 | 3 |
| | 3 = moyenne | 2 | | MMO 3 et 4 | 2 |
| | >4 = bonne | 1 | | | |
| | | | Cvisi = en fonction du site internet Windguru et Marine Traffic | Quel que soit la visibilité évaluée | 4 |



| | | | | | |
|---|---|------------------|---|--|---|
| Vvent = 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 nœuds | 1 2 3 4 | Cvent = en fonction du site internet Windguru et Marine Traffic | Quel que soit la vitesse du vent évaluée | 4 |
| Vvit = vitesse du navire à chaque point GPS relevé le long du trajet entre le port de Papeete et Vaiare (en nœuds) | 0 à 5 5-10 10-15 >15 nœuds | 1 2 3 4 | Cvit = précision des calculs de vitesse réalisé par le logiciel OBSenMER | Quel que soit la vitesse du navire | 3 |
| Vpnav = position GPS du navire à l'instant t en fonction de l'espace disponible pour faire une manœuvre d'évitement |  | | Cpnav = certitude de la sélection des zones de risques en fonction de l'espace disponible pour la manœuvre d'évitement | Quel que soit l'emplacement des points | 3 |
| Vtm = 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 | Ctm = Certitude de cette mesure qui dépend de la précision de la vitesse de chaque navire ayant traversé la maille | Quel que soit l'emplacement des points | 3 |



VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amara, R. (2010). Impact de l'anthropisation sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes marins. Exemple de la Manche-mer du nord. *Vertigo - Rev. Électronique En Sci. Environ.* doi: 10.4000/vertigo.10129
- Arcangeli, A., Marini, L., and Crosti, R. (2013). Changes in cetacean presence, relative abundance and distribution over 20 years along a trans-regional fixed line transect in the Central Tyrrhenian Sea. *Mar. Ecol.* 34, 112–121. doi: 10.1111/maec.12006
- Buckland, S. T., and Turnock, B. J. (1992). A robust line transect method. *Biometrics*, 901–909.
- Carrillo, M., and Ritter, F. (2010). Increasing numbers of ship strikes in the Canary Islands: proposals for immediate action to reduce risk of vessel-whale collisions. *J Cetacean Res Manage* 11, 131–138.
- Chami, R., Cosimano, T., Fullenkamp, C., and Oztosun, S. (2019). Nature's solution to climate change. *Finance Dev.* 56, 34–38.
- Childerhouse, S., Jackson, J., Baker, C. S., Gales, N., Clapham, P. J., and P.J. & Brownell Jr., R. L. (2008). IUCN Red List of Threatened Species: Megaptera novaeangliae Oceania subpopulation. *IUCN Red List Threat. Species*. Available at: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T132832A3463914.en> (Accessed March 31, 2024).
- Conn, P. B., and Silber, G. K. (2013). Vessel speed restrictions reduce risk of collision-related mortality for North Atlantic right whales. *Ecosphere* 4, 1–16. doi: 10.1890/ES13-00004.1
- Constantine, R., Johnson, M., Riekkola, L., Jervis, S., Kozmian-Ledward, L., Dennis, T., et al. (2015). Mitigation of vessel-strike mortality of endangered Bryde's whales in the Hauraki Gulf, New Zealand. *Biol. Conserv.* 186, 149–157.
- Cooke, J. G. (2018). *Megaptera novaeangliae*: The IUCN Red List of Threatened Species 2018. doi: 10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T13006A50362794.en
- Créocéan (2015). Etat de l'environnement en Polynésie française 2007/2014. Direction de l'environnement, Polynésie française, Tahiti, 381p. *Créocéan*



Coord F Seguin 2015 Etat L'environnement En Polynésie Fr. 20072014 Dir. L'environnement Polynésie Fr. Tahiti 387p, 381.

David, L., Di-Méglio, N., and Roul, M. (2016). Monitoring ferry: 2014/2016. Available at: <https://miraceti.org/wp-content/uploads/2022/04/Monitoring-Ferry-Suivi-de-labondance-des-populations-de-mammife%CC%80res-marins-dans-le-Sanctuaire-Pelagos.pdf> (Accessed March 28, 2024).

De Stephanis, R., and Urquiola, E. (2006). Collisions between ships and cetaceans in Spain. *Int Whal Commn Sci. Comm. SC58BC5*.

de Vere, A. J., Lilley, M. K., and Frick, E. E. (2018). Anthropogenic Impacts on the Welfare of Wild Marine Mammals. *Aquat. Mamm.* 44, 150–180. doi: 10.1578/AM.44.2.2018.150

Di-Meglio, N., and David, L. (2010). Suivi temporel du sanctuaire Pelagos par transects mensuels au large et réflexion sur des méthodologies de monitoring. Available at: <https://miraceti.org/wp-content/uploads/2022/04/Suivi-temporel-par-transects-mensuels-au-large-et-re%CC%81flexion-sur-des-me%CC%81thodologies-de-monitoring.-2007-2009.pdf> (Accessed March 28, 2024).

Dolman, S. J., Weir, C. R., and Jasny, M. (2009). Comparative review of marine mammal guidance implemented during naval exercises. *Mar. Pollut. Bull.* 58, 465–477. doi: 10.1016/j.marpolbul.2008.11.013

Esposito, C., Bichet, O., and Meola, B. (2020). Rapport scientifique du projet Vigie Sanctuaire – 2ème édition. “Honorons ces grands migrants et limitons le risque de collision.” Papetoai, Moorea, French Polynesia: Association Oceania, Étude des cétacés de Polynésie française.

Esposito, C., and Schneider, R. (2019). Rapport scientifique du projet Vigie Sanctuaire – 1ère édition. “Honorons ces grands migrants et limitons le risque de collision.” Papetoai, Moorea, French Polynesia: Association Oceania, Étude des cétacés de Polynésie française.

Gannier (2000). Distribution of cetaceans off the Society Islands (French Polynesia) as obtained from dedicated surveys. *Aquat. Mamm.* 26, 111–126.

Gannier (2004). The Large-Scale Distribution of Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*) Wintering in French Polynesia During 1997–2002. *Aquat. Mamm.* 30, 227–236. doi: 10.1578/AM.30.2.2004.227



- Gannier, A. (1999). Détermination du peuplement de cétacés des îles Marquises (Polynésie française).
- Gannier, A. (2002). Cetaceans of the Marquesas Islands (French Polynesia): distribution and relative abundance as obtained from a small boat dedicated survey. 13.
- Gende, S. M., Vose, L., Baken, J., Gabriele, C. M., Preston, R., and Hendrix, A. N. (2019). Active Whale Avoidance by Large Ships: Components and Constraints of a Complementary Approach to Reducing Ship Strike Risk. *Front. Mar. Sci.* 6. doi: 10.3389/fmars.2019.00592
- Gonsard, H., and Periou (2016). L'économie bleue en Polynésie française : Un atout et des opportunités de croissance.
- Halpern, B. S., Selkoe, K. A., Micheli, F., and Kappel, C. V. (2007). Evaluating and Ranking the Vulnerability of Global Marine Ecosystems to Anthropogenic Threats. *Conserv. Biol.* 21, 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., et al. (2008). A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science* 319, 948–952. doi: 10.1126/science.1149345
- Helweg, D. A., and Herman, L. M. (1994). Diurnal Patterns of Behaviour and Group Membership of Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*) Wintering in Hawaiian Waters. *Ethology* 98, 298–311. doi: 10.1111/j.1439-0310.1994.tb01078.x
- IEOM (2022). Rapport annuel économique - Polynésie française 2021. Institut d'Émission d'Outre-mer. Available at: https://www.ieom.fr/IMG/rapport_annuel_ieom_polynesie_francaise_2021/
- Jensen, A. S., and Silber, G. K. (2004). Large Whale Ship Strike Database. 202.
- Laist, D. W., Knowlton, A. R., Mead, J. G., Collet, A. S., and Podesta, M. (2001). Collisions between ships and whales. *Mar. Mammal Sci.* 17, 35–75. doi: 10.1111/j.1748-7692.2001.tb00980.x
- Laran, S., and Gannier, A. (2001). Distribution of cetaceans in the Marquesas Islands (French Polynesia). *Eur. Res. Cetaceans* 15, 426–430.
- Laran, S., Van Canneyt, O., Dorémus, G., Massart, W., Ridoux, V., and Watremez, P. (2012). Distribution et abondance de la mégafaune marine en Polynésie



- française (REMMOA-Polynésie). *Rapp. Final Pour L'agence Aires Mar. Protégées* 127.
- Lavery, T. J., Roudnew, B., Gill, P., Seymour, J., Seuront, L., Johnson, G., et al. (2010). Iron defecation by sperm whales stimulates carbon export in the Southern Ocean. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 277, 3527–3531. doi: 10.1098/rspb.2010.0863
- Leone, F., and Vinet, F. (2006). La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. *Univ. Paul-Valéry Montpel. III* 1, 1–71.
- Nicol, C., Bejder, L., Green, L., Johnson, C., Keeling, L., Noren, D., et al. (2020). Anthropogenic Threats to Wild Cetacean Welfare and a Tool to Inform Policy in This Area. *Front. Vet. Sci.* 7, 57. doi: 10.3389/fvets.2020.00057
- NOAA Fisheries (n.d.). Understanding Vessel Strikes. *Natl. Ocean. Atmospheric Adm.* Available at: <https://www.fisheries.noaa.gov/insight/understanding-vessel-strikes> (Accessed April 5, 2021).
- Organisation Maritime Internationale (2004). AIS transponders. Available at: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/AIS.aspx> (Accessed March 31, 2024).
- Peltier, H., Beaufils, A., Cesarini, C., Dabin, W., Dars, C., Demaret, F., et al. (2019). Monitoring of Marine Mammal Strandings Along French Coasts Reveals the Importance of Ship Strikes on Large Cetaceans: A Challenge for the European Marine Strategy Framework Directive. *Front. Mar. Sci.* 6, 486. doi: 10.3389/fmars.2019.00486
- Poole (2002). Occurrence of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in French Polynesia in 1988-2001. *SC54 H* 14.
- Poole, M. (2013). SC/65a/SM09-Expedition Marquesas: First intensive photo-identification and biopsy sampling of small cetaceans in northern French Polynesia., in *Scientific Committee Annual Meeting 2013 (SC65A)*.
- Poole, M., Oremus, M., Albertson, R., and Scott Baker, C. (2013). Expedition Marquesas: Photo-identification surveys and biopsy sampling of small cetaceans in northern French Polynesia.
- Reeves, R. R. (1999). *Marine mammals in the area served by the South Pacific Regional Environment Programme (SPREP)*. South Pacific Regional Environment Programme.



- Ritter, F. (2009). Référence non complète.
- Rosenbaum, H. C., Maxwell, S. M., Kershaw, F., and Mate, B. (2014). Long-Range Movement of Humpback Whales and Their Overlap with Anthropogenic Activity in the South Atlantic Ocean. *Conserv. Biol.* 28, 604–615. doi: 10.1111/cobi.12225
- Smulter, M. A. (1994). Segregation by humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) cows with a calf in coastal habitat near the island of Hawaii. *Can. J. Zool.* 72, 805–811. doi: 10.1139/z94-109
- Van Waerebeek, K., Baker, A. N., Félix, F., Gedamke, J., Iñiguez, M., Sanino, G. P., et al. (2007). Vessel collisions with small cetaceans worldwide and with large whales in the Southern Hemisphere, an initial assessment. *Lat. Am. J. Aquat. Mamm.* 6, 43–69. doi: 10.5597/lajam00109
- Van Waerebeek, K., and Leaper, R. (2008). Second report of the IWC vessel strike data standardisation working group. *IWC Sci. Comm. Doc. SC60BC5* 620. Available at: https://www.academia.edu/download/40385146/Second_Report_of_the_IWC_Vessel_Strike_D20151125-5689-rptv0o.pdf (Accessed March 28, 2024).
- Vanderlaan, A. S. M., and Taggart, C. T. (2007). Vessel collisions with whales: the probability of lethal injury based on vessel speed. *Mar. Mammal Sci.* 23, 144–156. doi: 10.1111/j.1748-7692.2006.00098.x
- Villemin, G. (2022). Distance à l’horizon. *Distance À Horiz.* Available at: <http://villemin.gerard.free.fr/aScience/Physique/OPTIQUE/Horizon.htm> (Accessed March 31, 2024).
- Weinrich, M., Pekarcik, C., and Tackaberry, J. (2010). The effectiveness of dedicated observers in reducing risks of marine mammal collisions with ferries: A test of the technique. *Mar. Mammal Sci.* 26, 460.
- Weir, C. R., and Pierce, G. J. (2013). A review of the human activities impacting cetaceans in the eastern tropical Atlantic: Threats to eastern tropical Atlantic cetaceans. *Mammal Rev.* 43, 258–274. doi: 10.1111/j.1365-2907.2012.00222.x
- Williams, S. H., Gende, S. M., Lukacs, P. M., and Webb, K. (2016). Factors affecting whale detection from large ships in Alaska with implications for whale avoidance. *Endanger. Species Res.* 30, 209–223.



Wilson, K., Pressey, R. L., Newton, A., Burgman, M., Possingham, H., and Weston, C. (2005). Measuring and Incorporating Vulnerability into Conservation Planning. *Environ. Manage.* 35, 527-543. doi: 10.1007/s00267-004-0095-9

