

# Projet MELO

## Rapport d'atelier



**2023**



## Résumé

---

### Objectifs de l'atelier :

L'objectif de l'atelier de conception du projet MELO, qui s'est déroulé sur deux jours, était de réunir des experts issus de différents domaines de la conception de navires, de l'océanographie et de la biologie marine afin qu'ils élaborent ensemble des solutions visant à réduire l'incidence du bruit sous-marin sur les mammifères marins.

### Principales leçons retenues :

- Les occasions d'échanger des connaissances interdisciplinaires comme celles offertes par cet atelier sont rares. Les échanges entre les participants ont donc été particulièrement précieux et ont permis d'accroître la connaissance et la compréhension collectives, ce qui favorisera l'innovation dans les travaux qui suivront.
- Les concepteurs de navires connaissent mal les mammifères marins et leur sensibilité au bruit. Des recherches supplémentaires et une mobilisation des connaissances sont nécessaires pour combler cette lacune.
- Il existe encore de très nombreuses possibilités de réduire le bruit provenant des navires grâce à une conception améliorée, mais les compromis tels que la consommation de carburant et les émissions de gaz à effet de serre devront être gérés avec soin.
- Il est également nécessaire de mieux comprendre les mécanismes physiques fondamentaux liés à la dynamique des tourbillons turbulents et de la cavitation, qui jouent un rôle déterminant dans la production de bruits d'hélice tonals et à large bande. Cette compréhension aidera à mettre au point des technologies rentables pour les stratégies de contrôle passives et actives, ainsi que pour la modernisation, afin d'équilibrer le compromis entre les émissions de gaz à effet de serre et l'incidence du bruit rayonné sous l'eau (BRSE).
- L'application de l'intelligence artificielle (IA) et de l'apprentissage machine, en particulier de l'IA générative, à tous les aspects du système navire/océan/mammifère marin dans l'ensemble de son cycle de vie offre d'importants avantages en réduisant les délais de traitement, ce qui permet d'accomplir presque en temps réel des tâches que l'on pensait auparavant trop difficiles.
- La centralisation des données dans des formats accessibles à partir de toutes les sources, y compris les données acoustiques, la bathymétrie, les données sur les navires et les réactions des mammifères marins, est une nécessité urgente pour accélérer la compréhension et l'innovation.
- Enfin, une combinaison optimale de mesures technologiques et d'un ralentissement et d'une distanciation induits par l'IA peut s'avérer un moyen gratifiant et efficace de gérer l'incidence du bruit des navires sur les mammifères marins.



---

**Résultats de l'atelier et prochaines étapes :**

- Échange de connaissances et possibilités de réseautage pour les participants issus de milieux divers.
- L'équipe du projet MELO continuera de peaufiner la boîte à outils d'analyse et de publier les résultats.
- L'équipe du projet MELO recueillera des données sur le terrain et publiera les résultats.
- L'équipe du projet MELO continuera de peaufiner le concept de système de navire intelligent et adaptatif en s'appuyant sur les contributions des participants à l'atelier :
  - i. Concept d'optimisation de l'ensemble de la zone pour tous les navires et mammifères présents; et
  - ii. Détermination des mesures à court terme qui pourraient inclure le « mode silencieux » et le « mode transit » pour les navires existants.

## Table des matières

Résumé .....	2
1.0 Introduction.....	6
1.1 Contexte et objectifs.....	6
1.2 Approche de l’atelier .....	7
2.0 Résumé de la première journée de l’atelier .....	9
2.1 Ouverture .....	9
2.2 Résumés des présentations .....	9
2.3 Principales leçons tirées de la première journée.....	20
3.0 Résumé de la deuxième journée de l’atelier .....	21
3.1 Résumés des présentations .....	21
3.2 Jour 2 – Séances en petits groupes.....	22
3.3 Exercice 1 – Évaluer les liens, les faits nouveaux et les lacunes de compréhension.....	23
3.4 Exercice 2 – Élaboration conjointe d’un cadre pour un système intelligent et adaptatif de gestion du bruit des navires33	
4.0 Mot de la fin .....	35
Liste des figures .....	36
Annexes .....	37

# Rapport de l'atelier de conception du projet MELO 2023

## 1.0 Introduction

Les 1<sup>er</sup> et 2 juin 2023, l'atelier de conception du projet MELO s'est tenu en présentiel à l'Université de la Colombie-Britannique, sur le territoire traditionnel, ancestral et non cédé de la Première Nation x<sup>w</sup>məθk<sup>w</sup>əyəm (Musqueam). Le projet MELO est une initiative de recherche universitaire pluriannuelle qui vise à mettre au point une boîte à outils de prédiction du bruit sous-marin qui permettra aux navires d'ajuster leur signature acoustique en temps réel. Le projet est codirigé par des chercheurs de l'Université de la Colombie-Britannique et par Clear Seas, une organisation canadienne sans but lucratif qui promeut un transport maritime sécuritaire, durable et inclusif. L'atelier a été organisé par l'équipe du projet MELO.

L'objectif de l'atelier de conception du projet MELO était de réunir des experts de différents horizons afin qu'ils élaborent ensemble des solutions à l'incidence du bruit sous-marin sur les mammifères marins. Les résumés des présentations des conférenciers et les points saillants des périodes de discussion et des petits groupes sont inclus dans le présent rapport.

L'ordre du jour de l'atelier figure à l'annexe A. Des copies numériques des affiches des petits groupes sont fournies à l'annexe B, et une liste des participants à l'atelier et de leurs coordonnées se trouve à l'annexe C. Enfin, l'annexe D contient un résumé du projet de recherche intitulé « *Uplifting Traditional Indigenous Knowledge in Solving Underwater Noise Pollution* » (élever le savoir autochtone traditionnel dans la réduction de la pollution par le bruit sous-marin), préparé par Chanessa Perry, une stagiaire en recherche du Programme de stages destiné aux étudiantes et étudiants autochtones de Clear Seas. Les présentations des conférenciers sont disponibles sur le site Web de Clear Seas.

Cet atelier a été financé en partie par Transports Canada dans le cadre de l'Initiative pour des navires silencieux et par Mitacs, avec un soutien supplémentaire de Clear Seas et de l'Université de la Colombie-Britannique.

## 1.1 Contexte et objectifs

Le bruit anthropique provenant du transport maritime et d'autres sources constitue une grave menace pour les mammifères marins et l'environnement océanique. Les progrès de l'architecture navale révèlent des possibilités d'atténuation du bruit par la conception et l'exploitation des navires, tandis que les recherches menées parallèlement par les biologistes marins et les océanographes ont permis des avancées significatives dans la compréhension de

la sensibilité des différentes espèces au bruit. Malheureusement, il s'agit souvent d'efforts très différents. L'élaboration de solutions au bruit sous-marin causé par les navires nécessitera une collaboration étendue entre les disciplines et une compréhension globale des systèmes existants.

Le [projet MELO](#) tente de relier les flux de connaissances de la conception navale et de l'écologie marine pour créer des solutions innovantes aux répercussions du bruit sous-marin sur les mammifères marins, en utilisant une approche axée sur les systèmes. L'objectif du projet MELO est de mettre au point un cadre d'apprentissage machine basé sur la physique pour prédire le bruit provenant de sources distribuées, puis, sur la base d'une compréhension de la sensibilité des mammifères marins au bruit, de démontrer son application en tant que stratégie adaptative d'atténuation du bruit pour les navires en activité. En permettant de réimaginer ce à quoi les navires pourraient ressembler, les résultats du projet MELO pourraient encourager la prochaine génération de concepteurs de navires à se demander si ces derniers pourraient devenir un élément véritablement favorable pour l'environnement marin.

Pendant deux jours de présentations, de discussions et de collaboration en petits groupes, l'atelier de conception du projet MELO a rassemblé des personnes qui ont échangé leurs connaissances et discuté des différentes manières de résoudre les problèmes liés au bruit sous-marin. L'échange de connaissances avec d'autres chercheurs est un élément essentiel de la méthodologie du projet MELO, et l'organisation de l'atelier de conception est un moyen pour l'équipe de mobiliser des experts de différentes disciplines. L'atelier a été conçu pour permettre un dialogue constructif et un « remue-méninges » sur des sujets innovants, notamment :

- Exploiter les technologies émergentes de différentes disciplines afin d'élaborer de nouvelles solutions pour réduire les perturbations causées aux mammifères marins par les bruits sous-marins;
- Comprendre comment l'intelligence artificielle sous forme d'apprentissage machine peut servir à traiter les données plus efficacement, p. ex. pour prédire le bruit en temps réel à bord des navires; et
- Explorer comment améliorer notre compréhension de la sensibilité et de la réaction des mammifères marins aux bruits sous-marins en utilisant les données recueillies par les navires, les hydrophones et d'autres méthodes d'observation.

## 1.2 Approche de l'atelier

Composante essentielle du projet MELO, l'atelier de conception avait pour but de réunir des experts de différents domaines et d'obtenir une rétroaction sur la méthodologie du projet. Des

invitations à participer ont été envoyées à des personnes du monde entier dont le travail ou les recherches portaient sur la conception navale, la biologie marine, l'acoustique sous-marine et d'autres domaines. Les intervenants ont été invités sur la base de leur expertise dans des domaines précis ou sur recommandation d'autres experts. L'équipe a tenu à s'assurer que différentes disciplines étaient représentées parmi les intervenants et les participants. Une quarantaine de personnes ont pris part à l'atelier, dont des étudiants, des universitaires, des fonctionnaires, des représentants de l'industrie et une personne travaillant pour une collectivité des Premières Nations.

Le premier jour de l'atelier visait à établir une compréhension commune des problèmes et des possibilités liés au bruit sous-marin entre les différentes disciplines. Sept intervenants, issus du monde universitaire et de l'industrie, ont présenté des exposés sur leurs domaines de recherche respectifs. Les conférenciers ont tenu à présenter leurs idées et le contenu de leurs présentations d'une manière accessible à tous les participants, quelle que soit leur expertise sur le sujet. Chaque séance de présentation comprenait une période de discussion au cours de laquelle les participants pouvaient poser des questions ou susciter des conversations au sein du groupe. Au cours de la première journée, l'équipe du projet MELO a présenté les résultats préliminaires de son travail, y compris les résultats d'une analyse documentaire sur les réactions des mammifères marins au bruit sous-marin et une séance sur les progrès de la modélisation informatique du bruit des navires.

Le deuxième jour de l'atelier comprenait des séances dirigées visant à permettre aux participants de tisser des liens entre eux, de discuter des possibilités d'innovation et de cerner les lacunes de connaissances dans différents domaines de recherche. Les participants ont été répartis en petits groupes de 10 à 12 personnes et guidés dans l'exécution de deux exercices. L'objectif de ces séances en petits groupes était d'élaborer conjointement des systèmes de conception pour tenir compte des différentes interactions entre les utilisateurs et les habitants des océans. En plus de ces séances, l'équipe du projet MELO a fait une démonstration de la fonctionnalité initiale de la boîte à outils d'analyse.

## 2.0 Résumé de la première journée de l'atelier

### 2.1 Ouverture

Paul Blomerus, directeur exécutif de Clear Seas, a ouvert l'atelier en transmettant un message de bienvenue rédigé par Richard Sparrow, conseiller de la bande indienne de Musqueam et membre du conseil d'administration de Clear Seas :

*« J'aimerais vous souhaiter la bienvenue, en particulier à ceux qui sont venus de loin, sur le territoire traditionnel, non cédé et ancestral du peuple Musqueam. Nous gérons les eaux et les terres de notre territoire depuis des milliers d'années et, en tant que peuple côtier, notre bien-être est étroitement lié à la santé des espèces marines qui habitent ces eaux. J'espère que les conversations de cet atelier seront mises à profit pour protéger et préserver l'environnement marin pour les générations futures ».*

On a également passé en revue l'ordre du jour et les objectifs de l'atelier, et fourni des renseignements logistiques sur l'espace de réunion.

Andrew Trites, directeur de l'Unité de recherche sur les mammifères marins de l'Université de la Colombie-Britannique et l'un des responsables de la recherche dans le cadre du projet MELO, a prononcé les remarques d'ouverture. Il a souligné l'importance de réunir des gens pour mener des recherches multidisciplinaires et a fait remarquer que c'était la première fois que l'équipe du projet MELO avait l'occasion de se rencontrer en personne après des années de réunions virtuelles. Ensuite, les participants à l'atelier ont été invités à se présenter et à dire quelques mots sur leur domaine d'intérêt en ce qui concerne le bruit sous-marin et son incidence sur les mammifères marins. Le reste de la première journée de l'atelier a consisté en des présentations et des périodes de discussion entre les participants.

### 2.2 Résumés des présentations



#### Comprendre l'incidence du bruit des navires sur les mammifères marins

**Dave Rosen**

Professeur adjoint, Unité de recherche sur les mammifères marins, U.C.-B.

Dans sa présentation, M. Rosen a abordé l'incidence du bruit sous-marin sur les mammifères marins, en explorant diverses méthodes pour quantifier cette incidence. Il a présenté la classification des mammifères marins en différents groupes auditifs ayant une sensibilité acoustique similaire, en donnant un bref aperçu des mammifères locaux dans la région de la mer des Salish.

## Hearing groups

Southall et al. (2019) grouped species into 8 marine mammal hearing groups

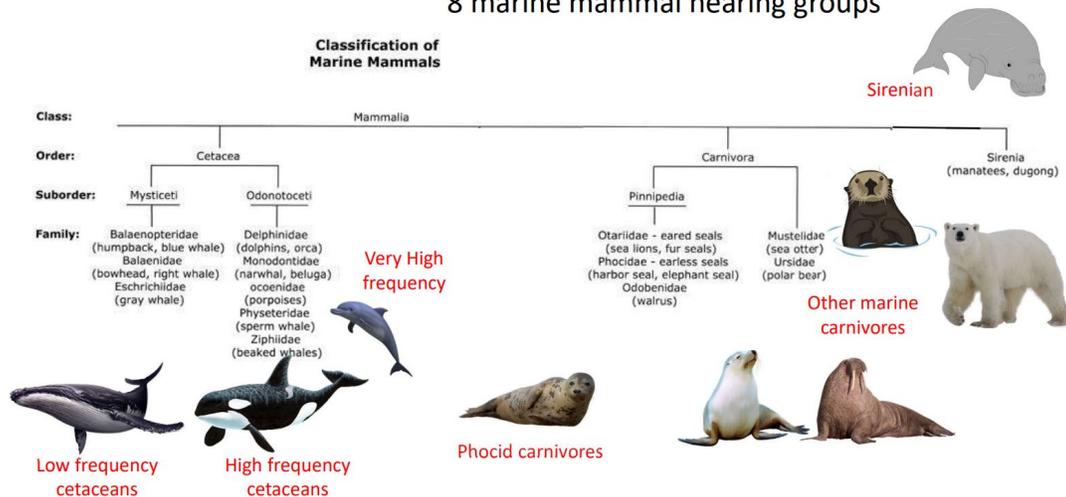


Figure 1. Diapositive de la présentation de David Rosen montrant les groupes auditifs des mammifères marins.

M. Rosen a souligné l'importance de cibler les stratégies d'atténuation sur des fréquences précises, classées par ordre de priorité en fonction de facteurs tels que les effets biologiques, les intérêts des espèces locales, les fonctions d'exposition au bruit et les audiogrammes. Il a aussi discuté des limites associées à l'utilisation des audiogrammes comme base de hiérarchisation des solutions. Il a présenté une fonction efficace de pondération des audiogrammes afin de mettre l'accent sur la sensibilité au bruit par l'entremise de filtres spécifiques aux fréquences. Il a également exploré les fonctions biologiques des mammifères marins, en les classant selon des répercussions potentielles à court et à long terme dans des bandes de fréquences particulières. Il a en outre brièvement abordé les concepts de phénomène de masquage et de fonctions d'exposition au bruit comme deux effets pour lesquels des données sont raisonnablement disponibles.

Faits saillants de la période de discussion :

- Intérêt pour la compréhension de l'incidence sur les mammifères marins de plusieurs navires plus silencieux plutôt que d'un seul navire plus bruyant (p. ex., une exposition à long terme mais de moindre intensité par rapport à une exposition à court terme mais

de plus forte intensité) et pour savoir lequel des deux scénarios est pire? La réponse n'est pas claire.

- Les participants ont discuté des renseignements et des méthodes disponibles pour évaluer l'incidence du bruit sur les mammifères. Les audiogrammes ont été effectués sur très peu d'espèces, sur très peu d'individus, et souvent sous surveillance humaine (moins représentative de l'audition réelle).
  - Autres types de surveillance (étiquettes numériques, autres équipements permettant de mesurer la réponse neurologique plutôt que le comportement).
  - Les modèles de conséquences des perturbations acoustiques pour les populations peuvent être utiles pour déterminer le coût réel de l'exposition au bruit des mammifères marins, mais il reste encore du travail à faire dans ce domaine.
- Certains participants se sont dits intéressés à cerner et à comprendre les niveaux de bruit qui ne sont pas seulement neutres mais positifs pour les mammifères marins.
  - on a proposé l'idée de cibler les creux dans les audiogrammes, ou
  - on pourrait faire valoir que les sons connus ou prévisibles sont les meilleurs;
  - cerné comme une occasion de recherche potentielle.
- Les seuils sont importants pour les architectes et les ingénieurs navals, car ils fournissent une mesure permettant de définir dans quelle mesure les efforts visant à rendre les navires plus silencieux ont porté fruit. Cependant, les seuils acoustiques sont difficiles à déterminer car ils varient selon les espèces, les populations et les individus.
- Intérêt pour l'accoutumance des mammifères marins à certains types de bruit. Les participants à l'atelier ont posé la question ouverte suivante : « Est-il préférable de remplacer un navire bruyant par un nouveau navire plus silencieux qui produit moins de bruit mais un bruit différent? »
- Inquiétudes quant à l'augmentation des collisions entre navires et mammifères marins en cas de réduction trop importante du bruit.



## Mesurer et comprendre le bruit sous-marin provenant des navires (projet MARS)

**Jean-Christophe Gauthier Marquis**

Chercheur, Innovation maritime (IMAR)

Cette présentation portait sur le projet de Station de recherche en acoustique marine (MARS). On y a donné un aperçu des activités de recherche, des méthodologies et des résultats du projet. Située dans la Voie maritime du Saint-Laurent, la station MARS surveille plus de 22 navires par jour, dont des vraquiers, des navires de charge,

des pétroliers et des porte-conteneurs. Deux activités particulières du projet MARS – les diagnostics vibratoires à bord et les signatures BRSE (bruit rayonné sous l’eau) – ont été discutées en détail. On a également décrit les instruments acoustiques utilisés dans le projet, en particulier les réseaux verticaux en forme de I et de N [insérer l’image de la présentation ici], en expliquant leurs configurations de conception, leurs avantages et leurs inconvénients.

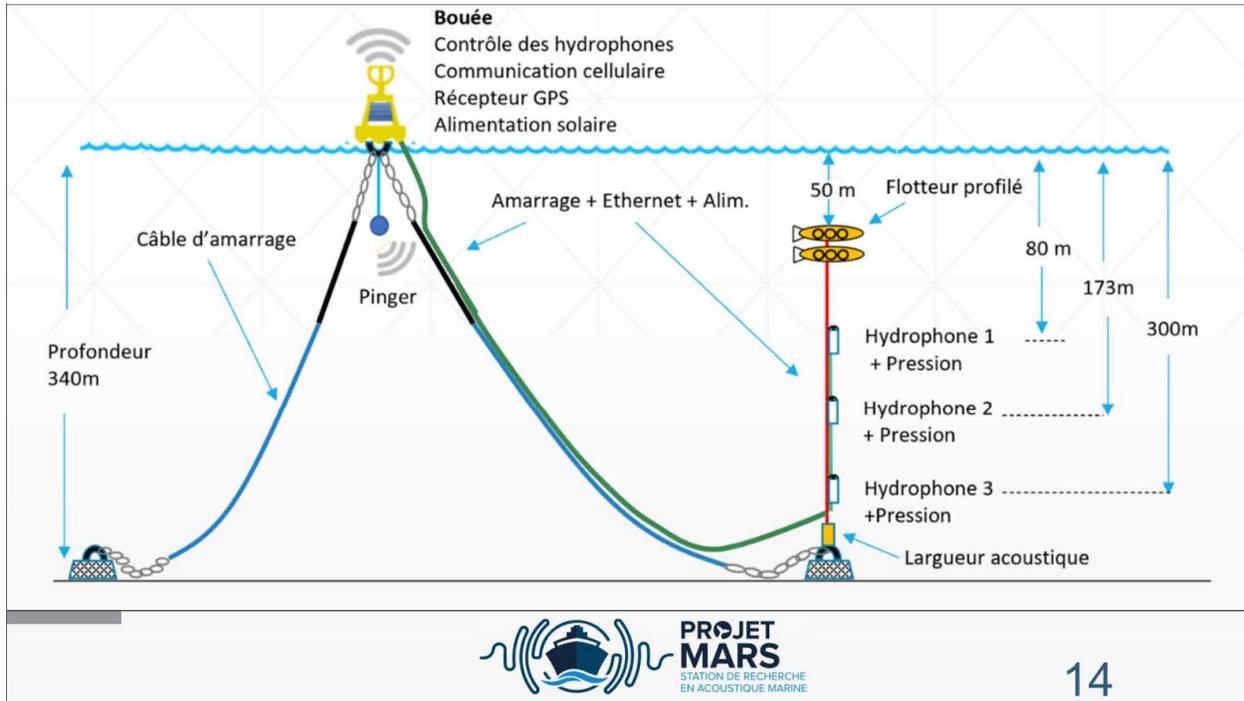


Figure 2. Diapositive de la présentation de Jean-Christophe Gauthier Marquis montrant des réseaux d’hydrophones en forme de N.

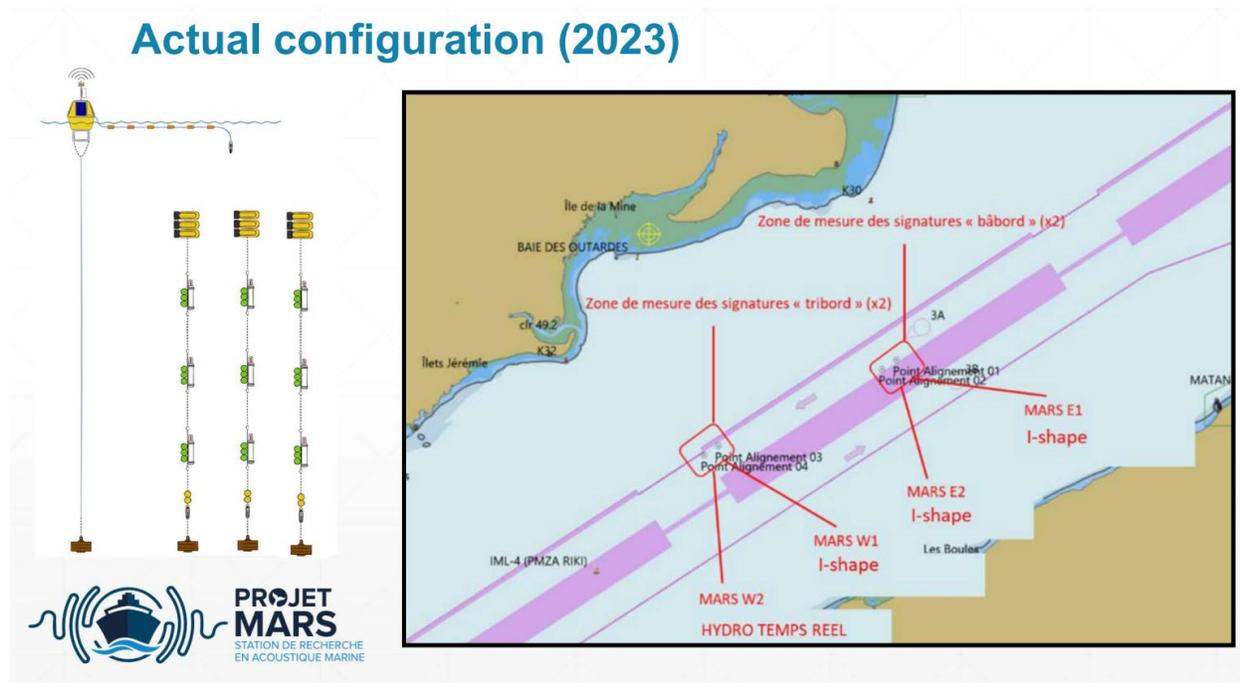


Figure 3. Diapositive de la présentation de Jean-Christophe Gauthier Marquis montrant des réseaux d'hydrophones en forme de I dans la configuration actuelle du projet MARS.

On a expliqué le processus de repérage du bruit des machines à l'aide de dispositifs embarqués, en mettant l'accent sur l'emplacement des accéléromètres et des microphones sur le navire, et sur l'utilisation de la technologie IdO (Internet des objets). Le spectre de bruit de ces diagnostics, qui caractérise le bruit et détermine les effets de cavitation des navires, a aussi été présenté dans le cadre des résultats de la recherche.

Faits saillants de la période de discussion :

- Questions sur la manière dont les signatures acoustiques diffèrent entre les navires et les voyages en fonction de différents facteurs (p. ex., âge du navire, ballast/charge, vitesse, etc.)
- Complexité de la comparaison entre le BRSE prédit et le BRSE mesuré,
  - Il faut les bons accéléromètres et un bon hydrophone, et l'emplacement de l'équipement est crucial.
  - Le fait de placer l'accéléromètre à proximité de la membrure du navire entraîne une plus grande variabilité dans les données recueillies. Le rapport signal/bruit est meilleur quand l'accéléromètre est placé au centre de la coque, loin de la membrure.

- D'autres études sont prévues pour mieux comprendre ce sujet et l'on prévoit réaliser une étude en vue de l'approfondir.
- De nombreuses données ont été recueillies dans le cadre du projet MARS et on envisage de conclure des ententes d'échange de données avec d'autres équipes de projets similaires. Enthousiasme des participants quant aux possibilités de collaboration.
- Discussion sur les défis liés à la mesure fiable du bruit des navires à l'aide de réseaux verticaux d'hydrophones.
- Question sur la manière dont les données recueillies dans le cadre du projet MARS sont communiquées aux armateurs.
  - À la fin de l'année, les armateurs reçoivent un rapport contenant des renseignements sur les signatures sonores de leurs navires d'après les mesures effectuées à bord, mais aucune donnée brute n'est fournie. Le rapport comprend une comparaison des signatures sonores des différents navires de leur flotte.
  - L'objectif visé est de transmettre les renseignements de la station acoustique aux armateurs quelques jours après le passage du navire, mais ce n'est pas le cas actuellement.
- Facteurs liés au calcul de la contribution du BRSE des navires/flottes : parfois, les navires sont si différents qu'il n'est pas possible de comparer les signatures.



## Cartographie spatiale du bruit sous-marin

**Vanessa Zobell**

Doctorante, Université de la Californie à San Diego

La présentation portait principalement sur la modélisation des niveaux de bruit des navires dans le sanctuaire marin national des îles Anglo-Normandes, en tenant compte des aspects spatiaux et temporels. La recherche présentée a utilisé RAMGeo, un outil de modélisation, pour estimer les niveaux de bruit des navires dans la zone. Les données relatives aux navires obtenues à partir du Système d'identification automatique (SIA) et les niveaux de source monopolaire des navires provenant du modèle JOMOPANS-ECHO ont été intégrés au processus de modélisation. Outre les données relatives aux navires, des renseignements océanographiques comme les propriétés des sédiments, les caractéristiques de la colonne d'eau et la vitesse du vent ont été pris en compte. On a présenté un modèle empirique pour prendre en compte le bruit du vent, qui a été superposé aux niveaux de bruit des navires. Les résultats ont démontré la variation temporelle du niveau

de pression acoustique à différentes résolutions, et on a fourni une validation assortie de mesures sur place pour évaluer la précision de la modélisation.

Faits saillants de la période de discussion :

- La comparaison des mesures et des résultats des modèles était un sujet de discussion récurrent.
- Complexité de la modélisation de la dynamique des océans – le fait de prendre une moyenne des conditions océaniques pour l’intégrer à un modèle peut être radicalement différent de ce qui se passe dans l’océan à un endroit donné et à un moment donné.
  - Questions concernant la période de calcul de la moyenne la plus efficace à utiliser pour évaluer les effets sur les mammifères marins. Cela dépend de la question de recherche posée.
  - L’évaluation de l’incidence du bruit sur le comportement de plongée des mammifères marins pourrait nécessiter une période de données d’une heure, tandis que la mesure du stress physique chronique pourrait être mieux adaptée à une moyenne mensuelle de données.
- Repérage d’une lacune dans la recherche sur les études de population des baleines bleues, liée aux répercussions du bruit sous-marin et à d’autres effets cumulatifs de l’activité humaine.
- Discussion sur le comportement des mammifères marins lorsqu’ils rencontrent un navire : les baleines bleues donnent généralement la priorité à l’alimentation plutôt que d’éviter les navires ou leur bruit. Mais il est important de comprendre que les chercheurs ne savent pas trop dans quelle mesure il s’agit d’un « choix », car les baleines n’évaluent peut-être pas les situations de la même manière que les humains et on ne peut pas supposer qu’elles le font.



## Modélisation de l’acoustique des océans et défis connexes en matière de détection et de prévision

**David Dowling**

Professeur d’architecture navale et de génie maritime, Université du Michigan

La séance visait principalement à présenter un modèle de réseau neuronal conçu pour prédire efficacement l’incertitude de la perte de transmission lorsque le son se propage dans l’océan. Le présentateur a commencé par donner un aperçu des principes fondamentaux du phénomène acoustique et de la détermination du niveau de bruit. Il a brièvement passé en

revue diverses méthodes d'estimation de l'incertitude, notamment Monte Carlo, chaos polynomial, variations du champ et statistiques sur les zones. Il a ensuite présenté un modèle de réseau neuronal capable de prédire les fonctions de densité de probabilité (FDP) de la perte de transmission. Le modèle a été formé sur la base de la FDP de Monte Carlo. Le présentateur a conclu sa séance en faisant ressortir les avantages du modèle de réseau neuronal, en insistant sur sa rentabilité et sa précision dans la quantification de l'incertitude associée à la perte de transmission.

Faits saillants de la période de discussion :

- Demande de clarification sur le fait que les modèles sont construits pour une seule fréquence et discussion sur la manière de prendre en compte des fréquences multiples.
- La bathymétrie du fond marin a une influence majeure sur les résultats du modèle. Une différence de 10 cm peut influencer les résultats de manière significative. La thermocline pour les sources peu profondes est également importante, car la couche superficielle peu profonde piège le bruit.
- Discussion sur la faisabilité d'une prédiction du bruit en temps réel là où les mammifères marins pourraient se trouver. Si toutes les géométries de l'environnement marin étaient connues, cela serait possible. Difficile à réaliser en raison de la nature vaste et dynamique de l'océan.



## Tendances actuelles en matière de modélisation acoustique des océans

**Jonathan Vallarta**

Responsable de l'acoustique sous-marine, SLR Consulting

La présentation portait sur la modélisation des niveaux de bruit sous-marin dans la région de Cook Inlet en Alaska. Plus précisément, l'étude a examiné les niveaux de bruit produits par les navires porte-conteneurs à différentes distances de deux sites fixes.



## Modeling Scenarios

Bathymetric map, middle Cook Inlet, Alaska. A containership with a broadband radiated noise level (RNL) of 191.4 dB re 1  $\mu$ Pa was positioned in the shipping channel at two locations (orange markers).

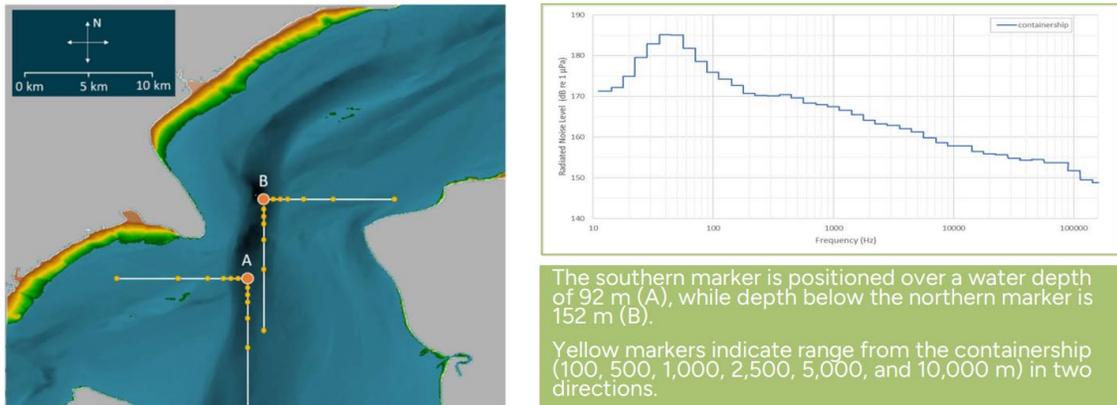


Figure 4. Diapositive de la présentation de Jonathan Vallarta montrant un scénario de modélisation du bruit sous-marin produit par les porte-conteneurs à Cook Inlet, en Alaska.

Ce projet de recherche visait à étudier les effets de masquage dans les bandes de communication et d'écholocalisation des bélugas. Les résultats ont révélé que le masquage auditif chez les bélugas était le plus important dans un rayon de 5 km dans la bande de communication et de 2,5 km dans la bande d'écholocalisation. Cela suggère que le bruit provenant des gros navires peut avoir une incidence appréciable sur la capacité des baleines à communiquer efficacement et à naviguer dans ces gammes de fréquences particulières.

Faits saillants de la période de discussion :

- Conversations sur l'incidence de la salinité sur la propagation du bruit dans l'eau – différents profils de salinité peuvent réduire ou absorber plus de bruit. Il s'agit d'un facteur important dans les zones qui abritent des eaux saumâtres, telles que Cook Inlet, car les niveaux de salinité varient selon les saisons.
- Lacunes en matière de recherche : régime alimentaire et répartition des espèces proies des mammifères marins et corrélation de leur présence avec le bruit, les sources de nourriture, etc.
- Dans cette étude de cas, il est possible d'envisager d'autres types de bruits causés par les navires, tels que les collisions avec la glace et la rupture de celle-ci.



## Réseau d'autoencodeurs récurrents à convolution pour l'apprentissage de la propagation des ondes : application à la bathymétrie variable

**Rajeev Jaiman**

Université de la Colombie-Britannique, génie mécanique

Le présentateur a donné un aperçu de la méthodologie de modélisation des conditions environnementales océaniques et de prévision du bruit acoustique sous-marin en utilisant une combinaison de simulations numériques de haute précision basées sur la physique et de techniques d'apprentissage machine fondées sur les données. Les membres de son équipe à l'U.C.-B. effectuent des tests pour déterminer comment les solveurs basés sur la physique peuvent servir à étudier le bruit des hélices de bateaux dû à la cavitation et à divers autres phénomènes physiques. Il a présenté quelques points saillants de pratiques exemplaires de modélisation, de la validation et des mécanismes physiques fondamentaux liés à la dynamique des tourbillons turbulents et de la cavitation, qui jouent un rôle important dans la génération de bruits d'hélice tonals et à large bande. La boîte à outils axée sur les données facilite la création d'un solveur qui s'interface de manière transparente avec des données haute fidélité afin de prédire en temps réel la perte de transmission pour la propagation du bruit en champ lointain. Enfin, un cadre robuste a été élaboré pour la modélisation et la prévision du bruit sous-marin pour la transmission en champ proche et en champ lointain dans divers environnements océaniques.

Faits saillants de la période de discussion :

- L'effet de l'écoulement du sillage de la coque sera pris en compte dans la modélisation de la cavitation de l'hélice pour réaliser les configurations à l'échelle réelle. De nouvelles conceptions d'hélices, telles que la configuration toroïdale, doivent être étudiées plus en détail. Pour mettre au point des technologies rentables, il faudra explorer de nouvelles stratégies de contrôle passives et actives ainsi que des modernisations afin de gérer le compromis entre les émissions de gaz à effet de serre et le BRSE.
- Du point de vue du génie mécanique et de l'architecture navale, Rajeev pense qu'il est possible de réduire le brut des navires de 20 décibels.
  - Un navire plus silencieux devra peut-être consommer plus de carburant. C'est un compromis qui doit être pris en compte – les navires plus efficaces ne sont pas nécessairement plus silencieux, et les navires plus silencieux ne sont pas nécessairement plus efficaces. Idéalement, les futurs navires seront à la fois plus

silencieux et plus économes en carburant. L'IA pourrait servir à tenir compte des paramètres d'exploitation du navire et évaluer le compromis.

- Quand le bruit des hélices est réduit, le bruit des autres machines s'amplifie et peut être plus difficile à atténuer. Une combinaison appropriée de mesures technologiques et d'un ralentissement et d'une distanciation induits par l'IA peut être un moyen efficace de gérer l'incidence du bruit des navires sur les mammifères marins.



## Acquisition des données de la station d'écoute de Boundary Pass pour le projet MELO

**David Hannay**

Directeur scientifique, JASCO

La présentation portait sur la station d'écoute sous-marine déployée à Boundary Pass, où se trouve un couloir de navigation très fréquenté. Le projet visait à mesurer automatiquement les émissions sonores de milliers de navires commerciaux et à les traiter en temps réel à l'aide de l'application Web PortListen. La présentation a mis en évidence les efforts considérables de mesure menés pendant une décennie, y compris les mesures du niveau de bruit reçu et du niveau source de 32 259 passages de navires, qui ont été stockées dans des bases de données dans le cadre du programme ECHO avec le port de Vancouver. On a également discuté du plan d'exécution de la mesure du BRSE du Navire de la Garde côtière canadienne (NGCC) *Sir John Franklin* pour l'été 2023, y compris le suivi systématique de la trajectoire du navire et les emplacements des capteurs. On a aussi présenté les travaux préliminaires sur la localisation des mammifères marins, le suivi de la vitesse et du mouvement, en soulignant les efforts en cours dans ce domaine.

Faits saillants de la période de discussion :

- De nombreuses études sont en cours dans cette région, notamment des analyses multivariées (émissions en fonction du tirant d'eau, de la vitesse, du vent, etc.), l'identification de navires particuliers grâce aux signatures sonores, etc.
  - Grande bibliothèque de données provenant du réseau d'hydrophones de Boundary Pass.
- Occasion : Les sociétés de classification pourraient attribuer une cote « silencieux » aux navires plus silencieux.
- Une représentation graphique de la localisation des orques, créée par JASCO à partir des données de la station d'écoute de Boundary Pass, qui repère la position des individus au sein d'un groupe, a suscité l'intérêt de plusieurs participants.

## 2.3 Principales leçons tirées de la première journée

Les présentations du premier jour de l'atelier ont suscité diverses conversations, souvent de nature interdisciplinaire. Les périodes de discussion en commun ont permis aux participants de côtoyer d'autres personnes travaillant sur des projets connexes et de cerner des synergies et des occasions de collaborations potentielles en matière de recherche. Toutes les disciplines s'accordent à dire que les objectifs de réduction du bruit sont importants pour les concepteurs de navires et que des recherches et des données supplémentaires sont nécessaires pour définir ces objectifs. Des incertitudes planent dans toutes les disciplines, et les participants ont été encouragés par le fait que, malgré cela, on réalise des progrès et la recherche avance.

Il existe de nombreuses possibilités d'approfondir les recherches sur les réactions des mammifères marins aux bruits sous-marins, d'autant plus que ces réactions diffèrent selon les espèces, les populations et les individus. De nombreux participants se sont intéressés au nouveau concept consistant à modifier le bruit des navires pour qu'il soit bénéfique – plutôt que négatif ou neutre – pour les mammifères marins. L'effet de la profondeur sur la propagation du bruit a été cité comme une occasion de recherche, particulièrement en ce qui concerne les espèces marines qui, en tant que mammifères plongeurs, utilisent principalement la surface et le fond de l'océan. De façon générale, les participants se sont accordés sur le fait que des navires plus silencieux causent moins de stress aux mammifères marins, et que la conception de navires aussi silencieux que possible est donc un objectif valable. Toutefois, certaines fréquences sont plus nocives que d'autres, de sorte que les objectifs qui ne réduisent que les niveaux de bruit moyens doivent être adoptés avec prudence. Une meilleure compréhension de l'accoutumance des mammifères marins au bruit est nécessaire pour déterminer l'effet de nouveaux navires plus silencieux.

Les technologies émergentes, telles que l'observation non invasive des mammifères marins, l'intelligence artificielle (IA) et l'apprentissage machine, sont des outils utiles à exploiter lors de l'élaboration de solutions aux répercussions du bruit sous-marin sur les mammifères marins. La collecte de données de bonne qualité et la création de plateformes d'échange de données accessibles et interdisciplinaires sont des éléments essentiels de ces solutions, car des données provenant de toutes les disciplines sont nécessaires pour élaborer des modèles complets et puissants.

Les compromis en matière de consommation de carburant et d'autres mesures d'efficacité pour les navires plus silencieux ont été mentionnés à plusieurs reprises au cours de la première journée de l'atelier. Il sera important d'évaluer et de comprendre l'incidence de ces compromis à

différentes échelles de temps, tout en étant capable de s'appuyer sur l'IA et d'autres technologies pour évaluer ces compromis pendant l'exploitation du navire en temps réel. Le paramétrage des activités des navires a été cernée comme une étape clé de ce processus.

Les participants ont apprécié la capacité des conférenciers à présenter des travaux très détaillés sur des sujets complexes à un niveau que des personnes venant d'autres horizons de recherche peuvent comprendre. Le contenu relatif à l'incidence du bruit des navires sur les mammifères marins doit être assimilable pour un vaste public, car les experts universitaires et les architectes navals ne sont pas les seuls acteurs qui participent à la création de solutions. Les connaissances traditionnelles des détenteurs de droits doivent être intégrées en tant que forme valorisée d'information et de données dans les modèles et les processus de cartographie des systèmes.

## 3.0 Résumé de la deuxième journée de l'atelier

### 3.1 Résumés des présentations

Pour ouvrir la deuxième journée de l'atelier, l'équipe du projet MELO a fait une démonstration des fonctionnalités initiales de la boîte à outils d'analyse.

#### **Démonstration de la boîte à outils du projet MELO – Akash Venkateshwaran, étudiant en maîtrise, Université de la Colombie-Britannique**

Pendant la présentation, on a dévoilé une boîte à outils d'optimisation permettant d'atténuer efficacement le BRSE provenant des navires. En optimisant la vitesse du navire en fonction de la trajectoire du voyage et de l'emplacement des mammifères marins le long de la trajectoire, les navires peuvent s'adapter à leur environnement opérationnel. Les bruits des navires ont été modélisés à l'aide de la méthode empirique de Ross' et la propagation des niveaux de bruit a été réalisée à l'aide de modèles Bellhop. L'objectif principal était de maintenir les niveaux de bruit en dessous d'un seuil précisé (défini par un audiogramme) tout en respectant les contraintes opérationnelles comme l'arrivée en temps voulu du navire à destination. Cette approche innovante favorise une exploitation plus réfléchie des navires, grâce à une réduction de l'incidence de ces derniers sur la vie marine. On a également discuté des perspectives d'avenir du projet, en mettant l'accent sur l'estimation du niveau de bruit à la source en utilisant la dynamique des fluides numérique (CFD) pour remplacer les modèles empiriques,

ainsi que sur l'utilisation de modèles d'apprentissage machine pour la propagation du bruit dans l'environnement. Ces avancées devraient permettre d'améliorer la précision et la fiabilité.

### 3.2 Jour 2 – Séances en petits groupes

Le deuxième jour de l'atelier, des séances en petits groupes ont été organisées afin de favoriser des discussions plus ciblées et plus approfondies entre les participants. Ces séances guidées devaient permettre aux participants d'établir des liens avec d'autres personnes, de discuter des possibilités d'innovation et de cerner les lacunes de connaissances dans différents domaines de recherche. Les participants ont été répartis en petits groupes (nommés d'après les espèces qui les intéressent – baleine noire, orque et béluga) de 10 à 12 personnes et ont été guidés dans la réalisation de deux exercices.

Dans le premier exercice, les groupes de discussion ont été invités à débattre des trois questions suivantes et à en rendre compte :

1. Liens : Quel est votre principal domaine d'intérêt?
2. Faits nouveaux : Quelles sont les percées technologiques ou en recherche les plus intéressantes dont vous avez connaissance dans ce domaine?
3. Lacunes de connaissances : Quelles nouvelles données, capacités d'analyse ou améliorations de la compréhension sont nécessaires?

Pour chacune des questions, les participants ont été invités à préciser si leur réponse était principalement axée sur le navire, l'océan ou les mammifères marins, et si leurs idées se situaient davantage dans le domaine numérique ou physique. Avec l'aide d'un animateur, les groupes ont discuté des questions et ont noté leurs réponses sur une affiche qui présentait un diagramme de Venn composé de cercles superposés, chacun portant le nom du navire, de l'océan ou du mammifère marin. Le fait d'inscrire les réponses sur ce modèle d'affiche a permis de guider la conversation et de repérer facilement les thèmes communs, ainsi que les domaines qui méritent une attention plus soutenue. Une fois les séances en petits groupes terminées, les participants sont retournés à la séance principale où le porte-parole de chaque groupe a présenté les points saillants de leur discussion.

## THE UNDERWATER NOISE DOMAIN

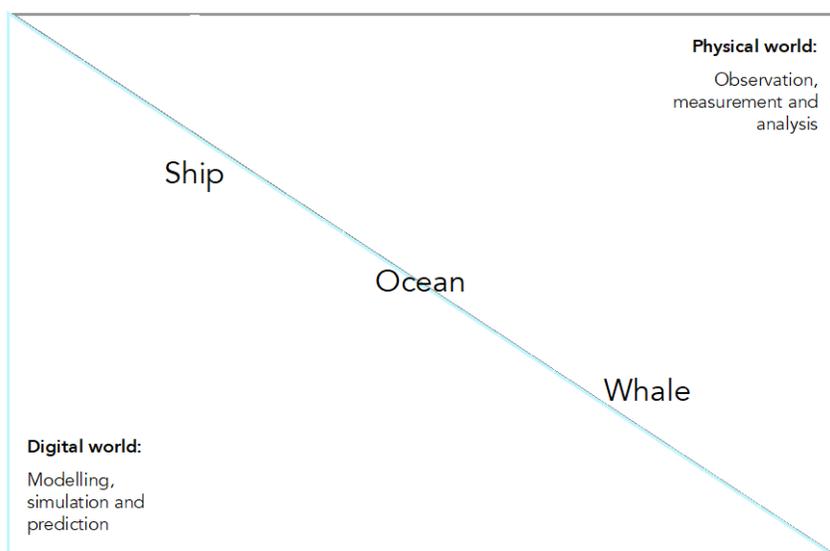


Figure 5. Modèle d’affiche utilisé dans l’exercice 1.

Dans le deuxième exercice, on a demandé aux participants d’élaborer conjointement des systèmes de conception pour tenir compte des différentes interactions entre les utilisateurs et les habitants des océans. Le cadre d’un système interactif en boucle basé sur les navires a été imprimé sur des affiches pour chaque groupe. Les participants ont collaboré pour apporter des modifications et des ajouts au système afin de conceptualiser sa fonctionnalité en tant qu’option pour atténuer les répercussions du bruit des navires sur les mammifères marins.

Les discussions et les résultats de ces exercices sont résumés par groupe de discussion (baleine noire, orque et béluga) dans la section suivante. Des copies des affiches de la deuxième séance ont été recréées après l’atelier à l’aide de PowerPoint et se trouvent à l’annexe B.

### 3.3 Exercice 1 – Évaluer les liens, les faits nouveaux et les lacunes de compréhension

#### Groupe de discussion 1 – Baleine noire

1. Liens : Quel est votre principal domaine d'intérêt?

Nom	Intérêt de recherche	Thème
Bruce Paterson	BC Ferries	Navire
Simone Philpot	Institut des ressources, de l'environnement et du développement durable de l'U.C.-B.	Navire/Océan
Rajeev Jaiman	Génie mécanique, U.C.-B.	Navire/Océan
Sam Mansfield	Transports Canada	Navire/Océan
Lorenzo Moro	Université Memorial de Terre-Neuve	Navire/Océan
Vanessa ZoBell	Scripps UC San Diego	Océan
Emma Gillies	MPO	Océan/Baleine
Jonathan Vallarta	SLR Consulting	Baleine
Dave Rosen	Biologie marine, U.C.-B.	Baleine

2. Faits nouveaux : Quelles sont les percées technologiques ou en recherche les plus intéressantes dont vous avez connaissance dans ce domaine?

Navire	Océan	Baleine
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nouvelles technologies de propulsion, telles que les propulseurs verticaux</li> <li>- La réalité virtuelle pour un diagnostic et des réparations rapides sur les navires</li> <li>- Commande active des hélices</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Application des connaissances autochtones</li> <li>- Planeurs</li> <li>- Aires marines protégées</li> <li>- Surveillance acoustique pour la détection et la localisation des navires</li> <li>- Mégadonnées</li> <li>- Contrôle du son en temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modélisation animale</li> <li>- Modélisation des conséquences des perturbations sonores</li> <li>- ADN électronique</li> <li>- Imagerie satellite/aérienne</li> <li>- Technologie infrarouge pour l'observation nocturne</li> <li>- Étiquettes numériques et étiquettes vidéo</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accès aux connaissances de la collectivité : pêcheurs, remorqueurs</li> <li>- Systèmes d'aide à la décision fondés sur la théorie des systèmes</li> <li>- La réalité virtuelle au service de la communication et de l'empathie</li> <li>- Des techniques de modélisation plus efficaces</li> <li>- Modélisation numérique/dynamique des fluides numérique (CFD)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Systèmes modulaires de mesure à bord : outils de conseil</li> <li>- Utilisation de l'IA pour traiter de grands volumes de données afin d'obtenir une meilleure compréhension</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modélisation de l'habitat/de la distribution</li> <li>- Rétablissement de la population après la chasse à la baleine</li> <li>- Nouvelles recherches sur les collisions dans le territoire Gitga'at (rorquals communs, baleines à bosse)</li> </ul>
---	--	--

3. Lacunes : Quelles nouvelles données, capacités d'analyse ou améliorations de la compréhension sont nécessaires?

<b>Navire</b>	<b>Océan</b>	<b>Baleine</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Décalage entre les flottes actuelles et l'adoption de nouvelles technologies</li> <li>- Meilleure technologie pour les navires à carburant de remplacement (c.-à-d., navires électriques, navires à hydrogène)</li> <li>- Atténuation du BRSE et des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)</li> <li>- Modélisation et simulation précises de la cavitation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meilleure compréhension de la contribution des petits navires au BRSE</li> <li>- Base de données universelle sur l'acoustique des océans et les mammifères marins</li> <li>- Comprendre les effets cumulatifs</li> <li>- Une modélisation plus précise</li> <li>- Modèles d'IA générative pour l'interaction entre navires et baleines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprendre les seuils de bruit pour les différentes espèces</li> <li>- Comprendre l'abondance/la recherche de nourriture en général et selon les saisons</li> <li>- Les espèces de mammifères marins sont regroupées en fonction de l'incidence du BRSE et non de leurs capacités auditives</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprendre comment gérer, contrôler et appliquer l'atténuation du BRSE dans les zones reculées</li> <li>- Modèles de niveau source plus précis</li> <li>- Effet du Terminal 2 à Roberts Bank sur les mesures</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indications quantitatives sur la qualité du son</li> <li>- Effets du bruit à l'échelle de la population</li> <li>- Bruit de masquage</li> <li>- Modèles numériques des systèmes acoustiques des baleines</li> </ul>
--	--	--

## Groupe de discussion 2 – Orque

1. Liens : Quel est votre principal domaine d'intérêt?

Nom	Intérêt de recherche	Thème
Dimitrios Mylonas	VARD Marine Inc	Navire
Jean-Christophe Gauthier Marquis	IMAR et Projet MARS	Navire/Océan
Paul Blomerus	Clear Seas	Navire/Océan
Vivian Mo	MPO	Navire
Indu Kant Deo	Génie mécanique, U.C.-B.	Navire/Océan
David Dowling	Architecture navale – Université du Michigan	Navire/Océan
Dominic Tollit	SMRU Consulting	Océan/Baleine
Catherine Maeve O'Connell	MPO	Océan/Baleine

2. Faits nouveaux : Quelles sont les percées technologiques ou en recherche les plus intéressantes dont vous avez connaissance dans ce domaine?

Navire	Océan	Baleine
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nouveaux revêtements de coque en cours d'essai susceptibles de réduire le</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travaux de l'Organisation maritime internationale (OMI), travaux de l'Union</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Science citoyenne</li> <li>- Bureau des mammifères marins et système d'alerte</li> </ul>

<p>bruit (p. ex., revêtement en graphite)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractérisation des sources de bruit et prédiction des pertes de transmission fondées sur l'apprentissage machine (article de la JASA)</li> <li>- Nouvelle conception de l'hélice</li> <li>- Modélisation de la forme de la coque</li> <li>- Modernisation des navires</li> <li>- Dispositif de séparation du trafic pour éviter l'habitat de l'épaulard résident du Sud</li> </ul>	<p>européenne (UE) (progrès internationaux)</p>	<p>et d'avertissement concernant les baleines</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nouveau document de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) sur les effets du bruit sur l'épaulard résident du Sud</li> <li>- Surveillance acoustique passive (SAP)</li> <li>- Modèle de prévision des mouvements des épaulards résidents du Sud</li> </ul>
--	---	--

3. Lacunes : Quelles nouvelles données, capacités d'analyse ou améliorations de la compréhension sont nécessaires?

Navire	Océan	Baleine
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hélices conçues avec un « mode silencieux »</li> <li>- Utilisation de la marée pour déplacer les navires plus efficacement et avec moins de bruit</li> <li>- Progrès dans la détermination des exigences de conception en matière de bruit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Logistique : questions de coûts, dilemme de l'efficacité, phase d'approvisionnement</li> <li>- Financement pour l'optimisation des hélices</li> <li>- Mesure et prédiction du BRSE à bord</li> <li>- Disponibilité des données ouvertes et interdisciplinaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meilleure compréhension de la présence hivernale de l'épaulard résident du Sud</li> <li>- Identification des espèces en temps réel grâce à l'apprentissage machine</li> <li>- Audiogrammes des espèces</li> <li>- Corrélation entre le niveau de bruit reçu et le niveau de bruit perçu</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jumeau numérique complet des navires pour prédire le bruit</li> <li>- Optimisation de l'arrivée de la chaîne d'approvisionnement</li> <li>- Modernisation ou amélioration des navires existants</li> <li>- Essais en conditions réelles des méthodes de réduction de la cavitation</li> <li>- Objectif clair en matière de bruit pour les navires et les baleines</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relation entre la forme d'onde et le bruit perçu</li> <li>- Seuil de perturbation robuste pour l'épaulard résident du Sud</li> </ul>
---	--	---

### Groupe de discussion 3 – Béluga

1. Liens : Quel est votre principal domaine d'intérêt?

Nom	Intérêt de recherche	Thème
Dan McGreer	Architecture navale, U.C-B.	Navire
Jasmin Jelovica	Architecture navale / Génie mécanique, U.C-B.	Navire
Saman Lak	Génie mécanique, U.C-B.	Navire
Chanwoo Bae	BC Ferries	Navire
Khaled Helal	Université Memorial	Navire
Akash Venkateshwaran	Génie mécanique, U.C-B.	Navire
Josh van Berkel	DHI	Bateau/Océan/Baleine (numérique)
David Hannay	JASCO	Océan
Andrew Trites	Biologie marine, U.C-B.	Baleine
Vasiliki Karpouzi	MPO	Baleine

2. Faits nouveaux : Quelles sont les percées technologiques ou en recherche les plus intéressantes dont vous avez connaissance dans ce domaine?

Navire	Océan	Baleine
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mode silencieux pour les navires de recherche</li> <li>- Création d'un modèle de bruit particulier pour chaque navire à partir de plusieurs mesures</li> <li>- Optimisation multi-objets des navires</li> <li>- Optimisation et IA</li> <li>- Nouveaux systèmes de matériaux</li> <li>- La CFD pour la prédiction du bruit</li> <li>- Méta-matériaux</li> <li>- Utilisation de trains sous-marins plutôt que de navires de surface pour le transport maritime</li> <li>- Nouvelles sources de carburant/d'énergie</li> <li>- Navires antibruit</li> <li>- Apprentissage machine : réseaux neuronaux graphiques</li> <li>- Systèmes d'atténuation du bruit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'apprentissage machine appliqué au modèle des conséquences des perturbations sur les populations (CPP)</li> <li>- L'apprentissage machine appliqué au calcul de la transmission du bruit</li> <li>- Réseau de capteurs mobiles utilisant des planeurs océaniques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation de l'apprentissage machine pour la détection en temps réel</li> <li>- Nouvelles méthodes d'évaluation : espace d'écoute, espace d'écholocalisation</li> <li>- Nouveaux modèles statistiques pour traiter les données sur les mouvements et le comportement</li> <li>- Systèmes de modélisation intégrés</li> <li>- Une clôture invisible pour empêcher les mammifères marins de pénétrer dans les couloirs de navigation</li> <li>- Données sonores pour le suivi des baleines</li> <li>- Bio-logging : enregistrement des sons reçus, télédétection des sons</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limites de bruit dans la réglementation/certification</li> <li>- Combinaison de différentes technologies</li> <li>- Modélisation du bruit propagé par les navires</li> </ul>		
---	--	--

3. Lacunes : Quelles nouvelles données, capacités d'analyse ou améliorations de la compréhension sont nécessaires?

Navire	Océan	Baleine
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprendre la contribution des petits navires (non SIA) au bruit ambiant de l'océan</li> <li>- Mise au point de structures légères efficaces pour l'isolation acoustique et vibratoire des navires</li> <li>- Difficultés quant au dévoilement de la géométrie de l'hélice ou la conception du navire (problème de propriété intellectuelle)</li> <li>- Navires bimodes : mode silencieux et mode transit, nécessité d'optimiser chaque mode</li> <li>- Nouvelles technologies de propulsion</li> <li>- Amélioration des modèles de sources de bruit en champ proche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Une IA plus avancée liée aux données océaniques</li> <li>- Plus de tests sur les mesures d'atténuation du bruit afin de comprendre leur efficacité</li> <li>- Meilleures plateformes d'échange de données disponibles dans toutes les disciplines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Méthodes d'évaluation pour comprendre les effets biologiques du bruit</li> <li>- Recherche sur l'aversion</li> <li>- Meilleure compréhension de l'incidence du bruit sur les baleines</li> <li>- Amélioration de la détection et du suivi des baleines pour s'assurer que les navires restent à l'écart d'elles – système de suivi en temps réel</li> <li>- Nécessité de prévoir l'emplacement des espèces préoccupantes et de comprendre les schémas actuels d'utilisation de l'habitat</li> <li>- Nécessité d'évaluer l'efficacité des modifications apportées aux navires et de convenir</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modèles de niveaux source pour les navires</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>de variables pertinentes à mesurer</li> <li>- Nécessité de contrôles expérimentaux pour évaluer les effets du bruit et des réductions de bruit sur le comportement des baleines</li> <li>- Meilleure compréhension des conséquences ultimes du bruit sur les taux de survie et de reproduction des baleines</li> </ul>
--	--	---

## Réflexions des groupes sur l'exercice 1

### Faits nouveaux

Les participants à l'atelier ont fait part de leur enthousiasme et de leurs espoirs quant aux percées dans divers domaines de la recherche sur le traitement du bruit sous-marin causé par les navires. On a tout d'abord reconnu l'importance des connaissances autochtones et de la collaboration des collectivités pour comprendre les répercussions locales du transport maritime et du BRSE sur les mammifères marins. Les possibilités de relier les connaissances autochtones à l'apprentissage machine et à l'IA ont été discutées, et la valeur des connaissances communautaires, y compris les renseignements anecdotiques, a été soulignée comme une source essentielle de connaissances. On a mis l'accent sur l'avancement des composantes numériques, notamment sur l'augmentation de l'imagerie et de la détection océaniques et sur l'intégration de l'IA pour toutes les composantes (navire, océan, baleine) du système en interaction.

Les progrès dans la conception des navires et les technologies à bord, y compris les carburants de remplacement, ont été discutés dans plusieurs contextes différents en tant que facteurs clés dans l'espace de traitement des répercussions du bruit sous-marin. La prévision des effets des navires à l'aide de modèles de probabilité comme le CPP (conséquences des perturbations sur les populations) ou le PCAD [*Population Consequences of Acoustic Disturbance* (conséquences des perturbations acoustiques pour les populations)] a également été soulignée, ainsi que la modélisation intégrative qui combine plusieurs approches, y compris la modélisation des

hélices et des modes de propagation. La caractérisation des sources de bruit et les études sur la perte de transmission du bruit ont également progressé ces dernières années. L'exploration de nouveaux systèmes de propulsion, tels que l'énergie électrique ou éolienne, a également été considérée comme une percée potentielle prometteuse.

L'utilisation de planeurs, de bouées et de nouvelles stations de surveillance du bruit et de la présence d'animaux a été suggérée, de même que la mise au point d'atténuateurs de bruit à installer sur les navires. Des méthodes innovantes de surveillance des mammifères marins, telles que le marquage numérique, et des techniques d'évaluation des effets, telles que l'évaluation des échos et l'évaluation statistique, ont également été soulignées comme des domaines importants de développement pour traiter l'incidence du bruit sous-marin causé par les navires sur les mammifères marins.

Ces avancées de pointe représentent collectivement une approche à multiples facettes de l'incidence du bruit sous-marin des navires sur les mammifères marins. En intégrant la mobilisation communautaire, les techniques de modélisation, les nouvelles technologies et les systèmes d'aide à la décision, ces innovations peuvent contribuer de manière significative à la préservation des écosystèmes marins et au bien-être des populations de mammifères marins.

### **Lacunes**

Bien que des progrès aient été réalisés en matière d'atténuation du bruit des navires, notre compréhension de l'incidence du bruit sous-marin causé par les navires sur les mammifères marins présente encore d'importantes lacunes. Tout d'abord, il existe une incertitude quant à l'incidence totale du bruit sur les baleines, ce qui souligne la nécessité de confirmer les effets négatifs du son. Pour améliorer la prise de décision, tirer parti de l'IA générative pour les prédictions futures concernant les baleines et le bruit des navires sera un élément clé de ces solutions. Il faut recueillir davantage de données sur l'océan, les mammifères marins et le bruit, et il est essentiel de veiller à la qualité des données recueillies. Les études sur les effets cumulatifs aideront les chercheurs à comprendre les répercussions interdépendantes du bruit sous-marin sur l'environnement marin. L'hypothèse selon laquelle les animaux dépendent du son en raison de la faible propagation de la lumière a été remise en question. Il faut accorder une attention particulière aux épaulards résidents du Sud, surtout en hiver, ce qui nécessite une révision des études afin de comprendre leur véritable répartition au fil des saisons. Enfin, plusieurs participants à l'atelier ont fait remarquer qu'il reste à déterminer si la réduction du bruit des navires aura une incidence sur les mammifères marins, et qu'il faut donc établir des études pour mesurer cette incidence avec précision.

La centralisation des données est considérée comme cruciale pour traiter les répercussions du bruit sous-marin causé par les navires sur les mammifères marins. La création de jumeaux numériques des navires pour mieux comprendre les signatures sonores dans différents contextes est également un domaine qui offre des possibilités. Plusieurs idées ont été formulées concernant la centralisation des données, notamment la participation d'un organisme gouvernemental ou d'une organisation tierce qui pourrait gérer un système en vertu duquel les armateurs seraient avertis lorsqu'ils sont sur le point de rencontrer une baleine. Ce système comprendrait un suivi des navires et des baleines, en utilisant les données SIA pour localiser les navires et d'autres types de données (telles que les observations et les marques numériques) pour suivre les baleines. Le concept suggère également l'utilisation de modèles de prévision des mouvements des mammifères marins pour prédire l'emplacement des baleines. On a en outre proposé la mise en œuvre d'un système de surveillance des navires (SSN) pour avertir les navires et d'un système d'aide à la décision pour déterminer les mesures d'atténuation en fonction de facteurs comme la présence de mammifères marins, la sécurité et la vitesse. Ces idées présentent quelques-unes des façons dont on peut combler les lacunes en matière de connaissances, de données et de communication afin de réduire l'incidence du bruit sur les mammifères marins et de mieux rapprocher les gens qui travaillent avec les différents éléments interdépendants du système navires-baleines-océan.

L'élaboration de nouveaux modèles pour les interactions entre les habitats et les animaux, ainsi que des attestations légales et réglementaires pour les navires silencieux afin de motiver les armateurs, constitue une étape cruciale. On a déterminé qu'il était essentiel d'effectuer davantage d'essais en conditions réelles des technologies d'atténuation du bruit. Il a été recommandé d'envisager des navires dotés d'un « mode silencieux » et d'un « mode transit » afin d'équilibrer la réduction du bruit et l'efficacité énergétique, d'autant plus que les différents sites abritent des espèces dont la sensibilité varie, ce qui nécessite une exploitation adaptée des navires. En outre, l'optimisation des chaînes d'approvisionnement et la réduction du nombre de navires sur l'eau sont d'autres stratégies discutées pour réduire les niveaux de bruit des navires.

### **3.4 Exercice 2 – Élaboration conjointe d'un cadre pour un système intelligent et adaptatif de gestion du bruit des navires**

Pour cet exercice, les groupes ont conçu les cadres d'un système adaptatif qui tient compte des relations dynamiques entre les navires, l'océan et les mammifères marins et qui vise à réduire l'incidence du bruit des navires sur l'environnement marin. Des copies numériques de ces affiches, recréées en PowerPoint, se trouvent à l'annexe B.

### **Résumé de la discussion : Baleine noire**

Au cours des discussions qui ont suivi cet exercice, l'équipe a déterminé qu'il était nécessaire d'élaborer un mécanisme pour organiser des « groupes de réaction au bruit » parmi les mammifères marins, en donnant la priorité aux espèces à risque (comme les épaulards résidents du Sud) pour les évaluations. On a également noté que les notifications en temps réel utilisées pour peaufiner les activités des navires sont essentielles pour surveiller les répercussions du bruit. Toutefois, il a été reconnu que la modification des activités comporte des inconvénients liés à des compromis en ce qui touche les coûts, les calendriers et les carburants. Si l'une des solutions proposées consiste à produire des navires plus silencieux, un appel a également été lancé en faveur d'une planification à long terme afin de prévoir l'avenir des navires et de la vie marine pour les cinq à dix prochaines années, en particulier pour les nouvelles flottes. Il a également été suggéré que la collecte de données soit réalisée par différentes méthodes, notamment les drones individuels, l'imagerie par satellite, la technologie infrarouge et la science citoyenne. La prise en compte de l'ensemble du paysage sonore au cours des différentes saisons de la recherche a été cernée comme un domaine de croissance. La compréhension des répercussions du bruit provenant de toutes les activités – pas seulement des navires marqués par le SIA – et l'intégration des données saisonnières et hivernales seront importantes pour les recherches futures.

### **Résumé de la discussion : Orque**

Les conversations de ce groupe de discussion se sont principalement concentrées sur les processus de collecte de données sur les mammifères marins et l'environnement marin. On a établi la nécessité de prédire le comportement des animaux, ce qui exige une comparaison des données en temps réel, en utilisant des outils innovants comme les planeurs rechargeables et la science citoyenne. Les améliorations de la technologie de suivi, telles que de meilleures étiquettes numériques et d'autres méthodes de marquage, sont également essentielles pour la collecte de données. On a reconnu l'importance de la qualité des données et des processus d'assurance qualité efficaces. En outre, l'adoption de ces mesures par les exploitants de navires dépend de leurs arguments de vente et de leurs répercussions en termes de coûts, compte tenu des aspects pratiques et de sécurité, comme la capacité d'accélérer et de ralentir les porte-conteneurs. En outre, l'intégration d'outils tels que la boîte à outils du projet MELO et la suppression active du bruit devrait faire partie de la conception des navires dès le départ, compte tenu de l'intensité des données et du traitement de ces approches.

### **Résumé de la discussion : Béluga**

Au cours de cet exercice, la discussion du groupe a tourné autour du concept de centralisation de l'ensemble du système de gestion de l'incidence du bruit des navires sur les mammifères

marins. Au lieu de navires individuels « intelligents », la proposition consistait à créer un système centralisé géré depuis la côte qui recueille les données de tous les navires et génère des décisions adaptées à chacun d'entre eux. Ce système comprendrait des boucles de rétroaction pour la prévision du bruit en temps réel et le suivi des animaux, avec validation des prévisions. Il a été souligné que ce système d'aide à la décision ne devrait pas seulement prendre en compte les répercussions sur les mammifères marins, mais aussi des facteurs comme l'efficacité énergétique, le bruit des dispositifs de contrôle des émissions et les conditions opérationnelles des navires. Il existe cependant des défis reconnus, tels que les questions de propriété intellectuelle et d'échange des données (en particulier en ce qui concerne les conceptions de navires exclusives) et la nécessité d'un consensus sur les niveaux de seuil communs pour la gestion du bruit.

#### 4.0 Mot de la fin

La réflexion sur les périodes de discussion au cours de l'atelier souligne la reconnaissance du fait qu'il reste beaucoup de travail à faire pour aborder la question du bruit causé par les navires dans les environnements marins et son incidence sur les mammifères marins. Il existe des lacunes en matière de connaissances et de données qui doivent être comblées et qui nécessiteront une collaboration entre différents domaines de recherche pour être résolues avec succès. La nécessité d'adopter des approches plus proactives en matière de réduction du bruit est évidente, et l'aspect pratique est considéré comme un facteur critique; toute approche doit être adoptée à grande échelle pour permettre d'atténuer efficacement les répercussions du bruit sous-marin causé par les navires sur les mammifères marins. Toutefois, les diverses contributions interdisciplinaires apportées au cours des discussions de l'atelier ont suscité un sentiment d'encouragement et d'élévation.

## Liste des figures

Figure 1. Diapositive de la présentation de David Rosen montrant les groupes auditifs des mammifères marins.

Figure 2. Diapositive de la présentation de Jean-Christophe Gauthier Marquis montrant des réseaux d'hydrophones en forme de N.

Figure 3. Diapositive de la présentation de Jean-Christophe Gauthier Marquis montrant des réseaux d'hydrophones en forme de I dans la configuration actuelle du projet MARS.

Figure 4. Diapositive de la présentation de Jonathan Vallarta montrant un scénario de modélisation du bruit sous-marin produit par des porte-conteneurs à Cook Inlet, en Alaska.

Figure 5. Modèle d'affiche utilisé dans l'exercice 1.

## Annexes

- ANNEXE A - ORDRE DU JOUR DE L'ATELIER
- ANNEXE B - IMAGES DES SÉANCES EN PETITS GROUPES
- ANNEXE C - COORDONNÉES DES PARTICIPANTS À L'ATELIER
- ANNEXE D - *Élever le savoir autochtone traditionnel dans la réduction de la pollution par le bruit sous-marin* par Chanessa Perry

# MELO Project Design Workshop

Earth Sciences Building, Room 5104, 2207 Main Mall,  
UBC Vancouver Campus, British Columbia, Canada

1-2 June 2023

## AGENDA

### Thursday, 1 June

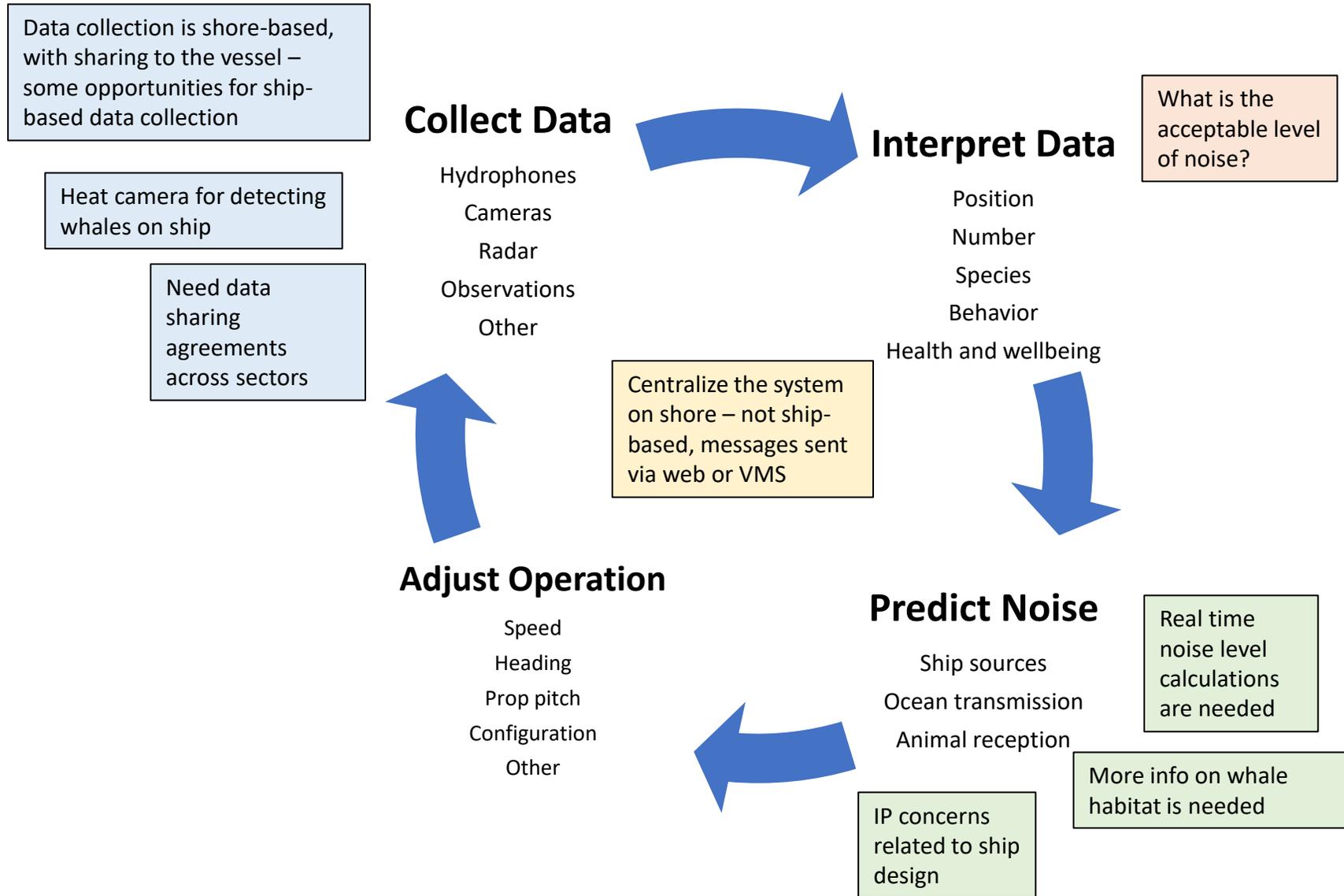
<b>08.30-09.00</b> <b>Check-in</b>	Workshop participants can check-in during this time Coffee and tea will be provided
<b>09.00-09.45</b> <b>Opening</b>	Welcome, opening remarks, and workshop details <ul style="list-style-type: none"><li>• Richard Sparrow, Councillor, Musqueam Indian Band</li><li>• Andrew Trites, Director, Marine Mammal Research Unit, UBC</li><li>• Paul Blomerus, Executive Director, Clear Seas</li></ul>
<b>09.45-10.30</b> <b>Session 1</b>	Understanding the impacts of ship noise on marine mammals & real-time detection of marine mammals <ul style="list-style-type: none"><li>• Dave Rosen, Assistant Professor, Marine Mammal Research Unit, UBC</li></ul>
<b>10.30-11.00</b>	<b>Break</b>
<b>11.00-12.00</b> <b>Session 2</b>	Measuring and understanding underwater noise from ships – Project MARS <ul style="list-style-type: none"><li>• Jean-Christophe Gauthier Marquis, Researcher, Innovation Maritime (IMAR)</li></ul>
<b>12.00-13.00</b>	<b>Lunch break</b>
<b>13.00-14.30</b> <b>Session 3</b>	Panel of international experts on ocean acoustics and underwater noise: Spatial mapping of underwater noise <ul style="list-style-type: none"><li>• Vanessa Zobell, PhD Student, University of California San Diego</li></ul> Modeling ocean acoustics and the accompanying sensing and prediction challenges <ul style="list-style-type: none"><li>• David Dowling, Professor, Naval Architecture &amp; Marine Engineering, University of Michigan</li></ul>

	<p>Current trends in ocean acoustic modeling</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Jonathan Vallarta, Underwater Acoustics Business Lead, SLR Consulting</li> </ul>
<b>14.30-15.00</b>	<b>Break</b>
<b>15.30-16.15</b> <b>Session 4</b>	<p>Advances in computational modelling of ship noise – MELO Project</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rajeev Jaiman, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, UBC</li> </ul> <p>Boundary Pass Listening Station data acquisition for the MELO Project</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>David Hannay, Chief Science Officer, JASCO</li> </ul>
<b>16.15-17.00</b>	Wrap up, reflections, and preview of Friday's session
<b>17.00-19.00</b>	<b>Cocktail reception</b>

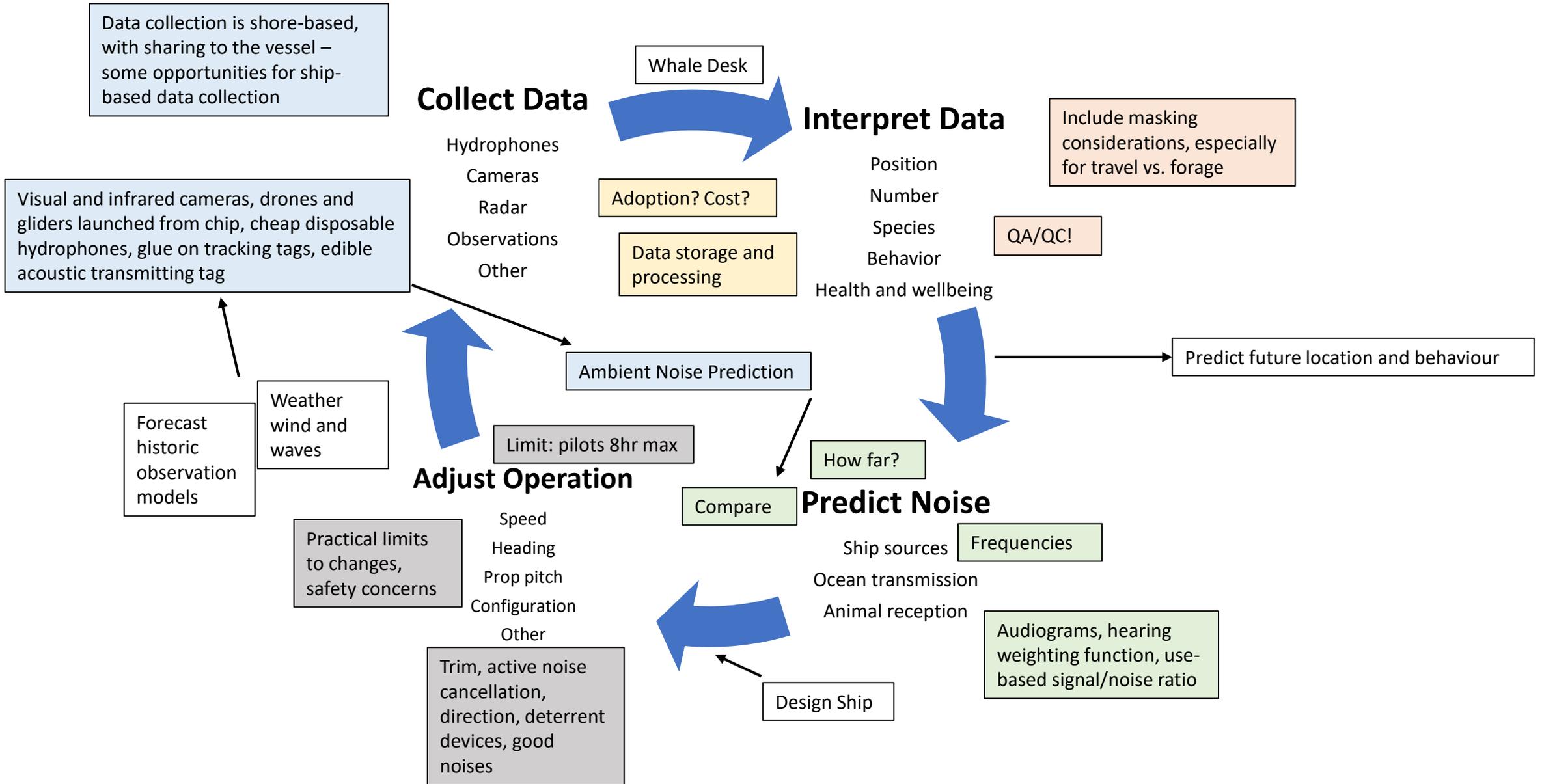
**Friday, 2 June**

<b>09.00-9.30</b> <b>Welcome</b>	Objectives for the day
<b>9.30-10.30</b> <b>Session 1</b>	Design Workshop – how does it all fit together?
<b>10.30-11.00</b>	<b>Break</b>
<b>11.00-11.30</b>	Demo of analysis toolkit from MELO Project team
<b>11.30-12:30</b> <b>Session 2</b>	Design Workshop – what are the challenges we need to overcome?
<b>12.30-13.00</b>	<b>Wrap-up &amp; closure of workshop</b>

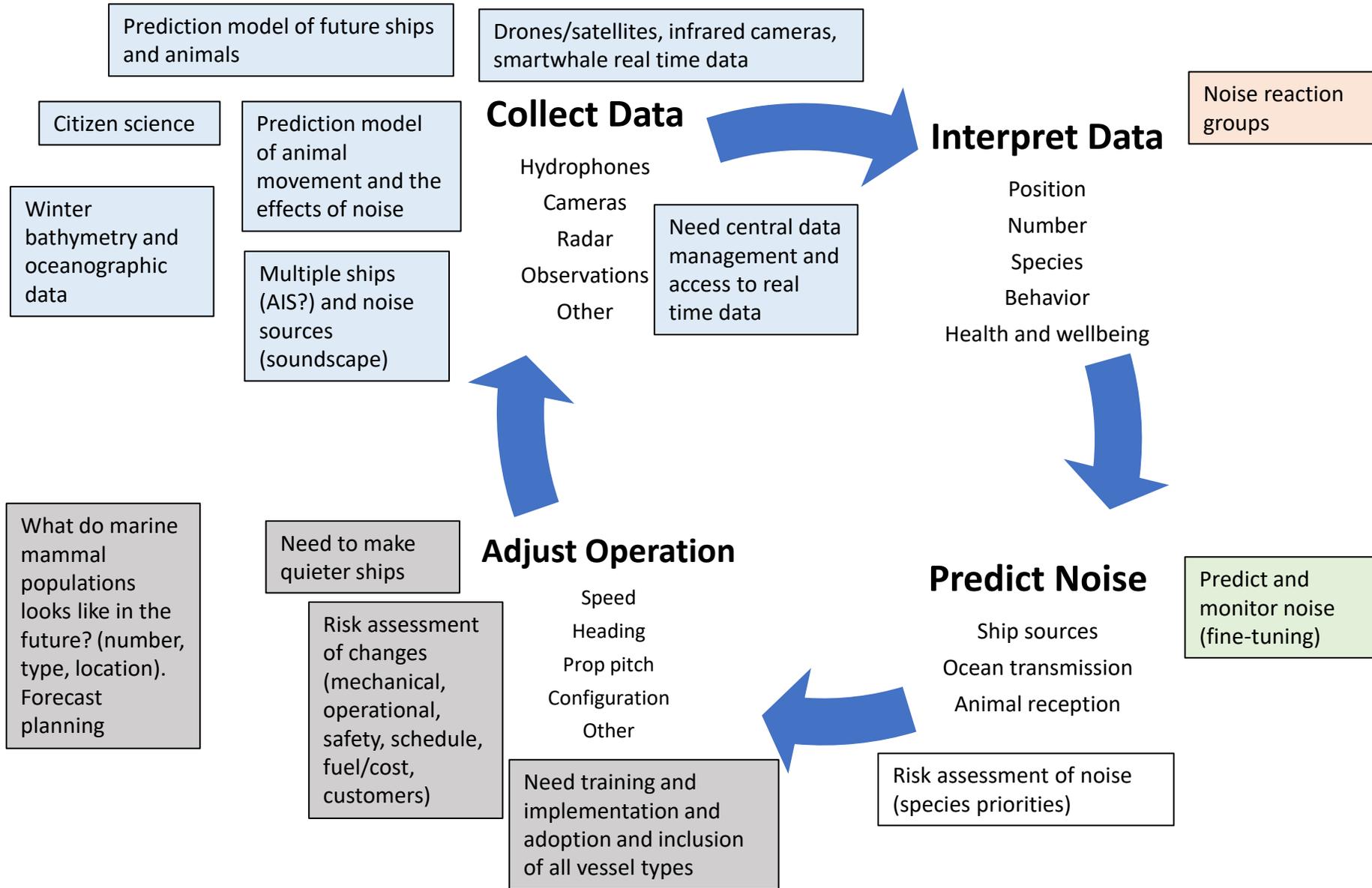
# Smart Adaptive Ship Noise System – Beluga Group Ideas



# Smart Adaptive Ship Noise System – Orca Group Ideas



# Smart Adaptive Ship Noise System – Right Whale Group Ideas



## MELO PROJECT TEAM

<b>Name</b>
Paul Blomerus
Tessa Coulthard
Rajeev Jaiman
Jasmin Jelovica
David Rosen
Andrew Trites
Akash Venkateshwaran
Indu Kant Deo
Zhi Cheng

## WORKSHOP PARTICIPANTS

<b>Name</b>
Alireza Babaei
Chanwoo Bae
Hosseini Bisheh
Jennifer Busler
Yuecheng Cai
Alice Cheung
Tessa Coulthard
David Dowling
Rui Gao
Jean-Christophe Gauthier Marquis
Emma Gillies
Farnoosh Hadizadeh
David Hannay
Khaled Helal
Shayan Heydari
Shameem Islam
Mostafa Jahangiri
Mohammad Reza Karimi

Mahdi Karimi
Vasiliki Karpouzi
Saman Lak
Mohammad M. Keleshteri
Samuel Mansfield
Mike Manuel
Dan McGreer
Vivian Mo
Narges Monhtari
Lorenzo Moro
Dimitrios Mylonas
Catherine Maeve O'Connell
Bruce Paterson
Chanessa Perry
Simone Philpot
Anuradha Rao
Biswajeet Rath
David Rosen
Jennifer Steele
Dom Tollit
Jonathan Vallarta
Josh van Berkel
Shengyu Yan
Vanessa ZoBell

# Uplifting Traditional Indigenous Knowledge in Solving Underwater Noise Pollution

To address the problem of underwater noise pollution and protect the marine mammal populations along the coast of British Columbia, Indigenous knowledge needs to be incorporated in the solution. Indigenous Peoples are deeply connected to the environment around them and have centuries of knowledge on migration patterns, the best hunting spots, and behavioral patterns of marine mammals. This knowledge is essential in developing comprehensive, effective solutions to the impacts of underwater noise on the marine environment.



## Indigenous Stewardship of the Marine Environment

We can look to the Malahat Nation as an example of strong stewardship of the marine environment. The Malahat Nation sought out to understand the interactions between vessels and the local marine mammals, so they invested in an underwater hydrophone station. The Malahat Nation set up hydrophones in order to listen to the underwater noises in their traditional territory. With help from marine scientists to better understand hydrophones, the Malahat has settled on 20 different locations to examine and record the underwater noises in those areas.

Another example of Indigenous-led research initiatives on underwater noise comes from the Gitga'at Nation. The Gitga'at Nation has taken initiative to solve underwater noise pollution through their involvement in the education system and conducting their own soundscape ecology research. The Gitga'at Peoples have been actively protecting their land, social structure, culture, and the marine life that has been a key part in sustaining their Nation for many years.

A Two-Eyed Seeing approach, taught by Mi'kmaw Elder Albert Marshall, could be beneficial in addressing this problem. This approach is explained as **"learning to see from one eye with the strengths of Indigenous knowledges and ways of knowing, and from the other eye with the strengths of mainstream knowledges and ways of knowing, and to use both these eyes together, for the benefit of all"**.

## Case Study: Underwater Noise in the Arctic

The Inuit, meaning the people, originate from Canada's Northwest Territories, Nunavut, Northern Quebec, and Labrador.

The underwater noise pollution issue is very important to the Inuit. The Inuit are dependent on the local marine mammals for food. This kind of noise may disrupt the marine mammals causing changes in hunting for the Inuit. There has been a significant increase in ship traffic in Tallurutiup Manga, a national conservation area at the North end of Baffin Island. With the use of Inuit Knowledge that was collected and combined with Western Science, as well as noise modeling, the Inuit and marine scientists were able to estimate the number of ships passing through the area. The Inuit had the knowledge and resources to contribute to this research in many different ways, including the ability and knowledge to identify and point out areas where marine mammals occupy.

## Some Organizations Taking Action to Incorporate Indigenous Perspectives into Research on Underwater Noise

- Coastal First Nations
- Clear Seas
- Inuit Circumpolar Council
- Malahat Nation
- Raincoast Conservation Foundation
- International Maritime Organization
- Port of Vancouver
- Transport Canada

### United Nations Declaration of Indigenous Rights

#### Article 29.1

Indigenous Peoples have the right to the conservation and protection of the environment and the productive capacity of their lands or territories and resources. States shall establish and implement assistance programmes for indigenous peoples for such conservation and protection, without discrimination.

Chanessa Perry, Clear Seas Intern  
chanessaperry@gmail.com

Chanessa is a citizen of the Nisga'a First Nation and is of mixed European and Nisga'a ancestry.

