



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2025/038

Région de la Capitale Nationale

Évaluation d'une approche proposée pour compenser les ajouts de bruit sous-marin causés par le transport maritime d'après des données sur l'épaulard résident du sud

Rianna Burnham¹, Svein Vagle¹, Max Lauch¹, Sheila J. Thornton², Scott Toews²

¹ Pêches et Océans Canada
Institut des sciences de la mer
9860, chemin Saanich Ouest
Sidney (Colombie-Britannique)
V8L 4B2

² Centre d'entreprise des sciences du Pacifique
4160, promenade Marine
West Vancouver (Colombie-Britannique)
V7V 1N6

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien des avis scientifiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

<http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/>
DFO.CSAS-SCAS.MPO@dfo-mpo.gc.ca



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2025

Ce rapport est publié sous la [Licence du gouvernement ouvert – Canada](#)

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-77426-8 N° cat. Fs70-5/2025-038F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Burnham, R., Vagle, S., Lauch, M., Thornton, S.J. et Toews, S. 2025. Évaluation d'une approche proposée pour compenser les ajouts de bruit sous-marin causés par le transport maritime d'après des données sur l'épaulard résident du sud. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2025/038. xii + 99 p.

Also available in English :

Burnham, R., Vagle, S., Lauch, M., Thornton, S.J., and Toews, S. 2025. Evaluation of a Proposed Approach for Offsetting Increases in Underwater Noise from Marine Shipping Using Information on Southern Resident Killer Whales. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2025/038. xii + 90 p.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS	x
RÉSUMÉ	xii
1. INTRODUCTION	1
2. ÉLABORATION D'UN CADRE DE COMPENSATION	4
3. SCÉNARIO D'ESSAI DE L'APPROCHE DE COMPENSATION EN LIEN AVEC L'ERS ET LE PROJET TMX	8
3.1. HISTORIQUE DU PROJET TMX.....	8
3.2. RECOMMANDATIONS 5 ET 6	9
3.3. INITIATIVES DU GOUVERNEMENT DU CANADA.....	10
3.4. RÉSULTATS DE L'ATELIER.....	11
3.5. BESOINS EN MATIÈRE DE DONNÉES	13
3.5.1. Données sur l'espèce focale.....	13
3.5.1.1. ERS dans la mer des Salish	14
3.5.2. Surveillance acoustique passive.....	18
3.5.3. Modélisation de la propagation sous-marine du bruit des navires.....	20
3.5.3.1. Intrants du modèle	21
3.5.3.2. Extrants du modèle.....	23
3.5.3.3. Validation du modèle	24
3.6. CHANGEMENTS DU PAYSAGE SONORE PROPRE À L'ESPÈCE	27
3.6.1. Fréquences acoustiques d'intérêt.....	28
3.6.1.1. Extrapolation aux fréquences propres à l'espèce.....	29
3.7. DÉFINITION DE L'ÉTENDUE DE LA ZONE D'ÉTUDE ET DES SOUS-RÉGIONS	31
3.7.1. Zone d'étude	31
3.7.2. Échelles spatiotemporelles	32
3.7.2.1. Sous-régions	33
3.7.2.2. Division fondée sur la trame du modèle	40
3.8. DÉFINIR UNE BASE DE RÉFÉRENCE ACOUSTIQUE	40
3.8.1. Niveaux sonores ambiants minimaux	45
3.9. CALCUL DE LA VARIATION PAR RAPPORT AU NIVEAU DE RÉFÉRENCE	47
3.9.1. Ajouts du bruit provenant des navires liés au projet.....	47
3.9.2. Décrire les zones d'impact.....	50
3.10. VARIATIONS DES NIVEAUX SONORES RÉSULTANT DES MESURES DE COMPENSATION	51
3.10.1. Ralentissement de tous les navires : scénario conceptuel de compensation proposé	52
3.10.1.1. Faisabilité	55

3.11. CALCUL ET ÉCHANGE DES CRÉDITS.....	56
3.11.1. Variation du niveau sonore	58
3.11.2. Élaboration de facteurs de pondération de la compensation propres à l'espèce (β)	66
3.11.2.1. Attribution des facteurs de pondération dans le cas d'essai	68
3.11.2.2. Attribution des facteurs de pondération aux sous-régions.....	72
3.11.2.3. Expression de la variabilité des valeurs de pondération des sous-régions	74
3.11.2.4. Points chauds et corridors	76
3.11.3. Application des facteurs de pondération de la compensation (β) au calcul des crédits	77
3.11.4. Utilisation d'un multiplicateur	80
3.12. ÉCHANGE DE CRÉDITS COMPENSATOIRES	81
3.12.1. Résultats du cas d'essai	83
3.12.2. Autres considérations	84
3.13. APPLICATION DE LA COMPENSATION	85
3.13.1. Résultats	87
4. CONCLUSION	89
5. REMERCIEMENTS.....	89
6. RÉFÉRENCES CITÉES.....	89

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Liste des intrants du modèle de bruit des navires et de l'extrapolation, des sources de données, des hypothèses encadrant l'application des données et de la sensibilité du modèle à chaque intrant.	21
Tableau 2a. Proportion des sous-régions définies par le comportement où les valeurs sont élevées par rapport à la base de référence en raison des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX (colonne « Impact (%) ») et excès de bruit médian dans une sous-région donnée (en dB), calculés à partir des données de 2015 aux profondeurs de 7, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées »).....	59
Tableau 2b. Proportion des sous-régions définies par le paysage sonore où les valeurs sont élevées par rapport à la base de référence en raison des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX (colonne « Impact (%) ») et excès de bruit médian dans une sous-région donnée (en dB), calculés à partir des données de 2015 aux profondeurs de 7, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées »).....	60
Tableau 3a. Proportion des sous-régions définies par le comportement où les niveaux sonores ont été réduits par rapport à la base de référence par la mesure de ralentissement (colonne « Impact (%) »). Les sous-régions qui subiraient également des augmentations sont indiquées par un astérisque (*). La variation du niveau sonore médian dans une sous-région donnée (en dB) a été calculée à partir des données de 2015 aux profondeurs de 7, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées »).	61
Tableau 3b. Proportion des sous-régions définies par le paysage sonore où les niveaux sonores ont été réduits par rapport à la base de référence par la mesure de ralentissement (colonne « Impact (%) »). Les sous-régions qui subiraient également des augmentations sont indiquées par un astérisque (*). La variation du niveau sonore médian dans une sous-région donnée (en dB) a été calculée à partir des données de 2015 aux profondeurs de 7, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Combinées »).....	62
Tableau 4a. Variation moyenne globale du niveau sonore pour chaque pixel des sous-régions (en dB), calculée à partir des données de 2015 aux profondeurs de 7,5, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées ») pour les sous-régions définies d'après les données sur la présence et le comportement des baleines pour la base de référence plus le trafic des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX, avec un ralentissement de tous les navires commerciaux. Les valeurs négatives indiquent une diminution globale des niveaux de bruit et les valeurs positives, une augmentation globale.....	63
Tableau 4b. Variation moyenne globale du niveau sonore pour chaque pixel des sous-régions (en dB), calculée à partir des données de 2015 aux profondeurs de 7,5, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées ») pour les sous-régions définies d'après les données sur le paysage sonore pour la base de référence plus le trafic des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX, avec un ralentissement de tous les navires commerciaux. Les valeurs négatives indiquent une diminution globale des niveaux de bruit et les valeurs positives, une augmentation globale.....	64

Tableau 5. Facteurs de pondération, β , pour les sous-régions définies selon (A) les données sur la présence et le comportement des ERS (ligne « Comportement ») et (B) les données sur le paysage sonore, compte tenu des valeurs matricielles de la fréquence d'occurrence (colonne « Occurrence ») ou de l'affinement avec l'inclusion de la présence dans la zone d'alimentation (colonne « Occurrence et alimentation »). Dans cet exemple, les facteurs de pondération ont été estimés à l'aide d'une approche additive et non de l'approche multiplicative plus solide sur le plan scientifique.	72
Tableau 6. Valeurs de l'asymétrie et de l'aplatissement pour les sous-régions définies selon (A) les données sur la présence et le comportement des ERS (ligne « Comportement ») et (B) les données sur le paysage sonore, compte tenu des valeurs matricielles de la fréquence d'occurrence (figure 5).	75
Tableau 7. Valeurs de l'asymétrie et de l'aplatissement pour les sous-régions définies selon (A) les données sur la présence et le comportement des ERS (ligne « Comportement ») et (B) les données sur le paysage sonore, compte tenu des valeurs matricielles de la fréquence d'occurrence et de l'affinement avec l'inclusion de la présence dans la zone d'alimentation (figures 5 à 7).	75
Tableau 8a. Compensations pondérées, ou « crédits », ϕ , pour les sous-régions définies selon les données sur la présence et le comportement des ERS, en tenant compte des valeurs matricielles de la fréquence d'occurrence (colonne « Occurrence »), ou de l'affinement avec l'inclusion de la présence dans la zone d'alimentation (colonne « Occurrence et alimentation ») aux profondeurs de 7,5, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées »). Les valeurs négatives indiquent un déficit global de crédits et les valeurs positives, un excédent global. Les crédits ont été déterminés à partir des ajouts de bruit provenant des navires du projet TMX et des réductions découlant du scénario de ralentissement à 10 nœuds de tous les navires commerciaux qui transitent par la zone d'étude.	78
Tableau 8b. Compensations pondérées, ou « crédits », ϕ , pour les sous-régions définies selon les données sur le paysage sonore, en tenant compte des valeurs matricielles de la fréquence d'occurrence (colonne « Occurrence »), ou de l'affinement avec l'inclusion de la présence dans la zone d'alimentation (colonne « Occurrence et alimentation ») aux profondeurs de 7,5, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées »). Les valeurs négatives indiquent un déficit global de crédits et les valeurs positives, un excédent global. Les crédits ont été déterminés à partir des ajouts de bruit provenant des navires du projet TMX et des réductions découlant du scénario de ralentissement à 10 nœuds de tous les navires commerciaux qui transitent par la zone d'étude.	79

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Le banc Swiftsure et la mer des Salish. Les éléments suivants sont indiqués : zone d'étude complète et étendue du modèle acoustique (rectangle jaune); emplacements et noms des lieux d'amarrage (cercles noirs); voies maritimes commerciales internationales (lignes pointillées); habitat essentiel de l'ERS (ombrage vert).	2
Figure 2. Diagramme conceptuel de la hiérarchie des mesures, adapté de la Politique de compensation.....	6
Figure 3. Le concept théorique de compensation, où les zones touchées par plus d'une base de référence sont contrebalancées par celles où l'impact est réduit pour n'entraîner aucun changement net.	7
Figure 4. Le cadre de compensation proposé. Les cases grises et les flèches représentent des aspects qui seraient pris en compte chaque fois que les compensations sont calculées. Les cases bleues énumèrent les mises à jour qui pourraient être prises en compte pour chaque itération du calcul.	8
Figure 5. L'occurrence spatiale cumulée de l'ERS de mai à octobre montre la préférence en matière d'habitat de l'espèce dans son habitat essentiel. La probabilité d'occurrence de l'ERS est indiquée par l'échelle de tons bleus. Les zones en blanc sont à l'extérieur de la portée géographique du modèle. Figure adaptée de données de Thornton et al. (2022a).....	16
Figure 6. Zones d'alimentation courantes (ZAC) de l'ERS déterminées à partir d'observations visuelles et de la classification des comportements (voir Stredulinsky et al., 2023). Les ZAC sont prédites par les modèles spatiotemporels les mieux classés pour les régions du banc Swiftsure et du détroit de Haro. La probabilité qu'une zone soit une ZAC (valeur de dépassement de 0,25) est indiquée par l'échelle de tons verts. Les zones en blanc sont à l'extérieur de la portée géographique du modèle. Figure adaptée de Stredulinsky et al. (2023).....	17
Figure 7. Zones d'alimentation fréquentes (ZAF) de l'ERS déterminées à partir d'observations visuelles et de la classification des comportements (voir Stredulinsky et al., 2023). Les ZAF sont prédites par les modèles spatiotemporels les mieux classés pour les régions du banc Swiftsure et du détroit de Haro. La probabilité qu'une zone soit une ZAF (valeur de dépassement de 0,5) est indiquée par l'échelle de tons verts. Les zones en blanc sont à l'extérieur de la portée géographique du modèle. Figure adaptée de Stredulinsky et al. (2023).....	18
Figure 8. Comparaison entre les extrants du modèle simulé (en bleu) et les niveaux de pression acoustique enregistrés aux points d'amarrage au banc Swiftsure, à Port Renfrew, dans la rivière Jordan, au banc de Sooke, dans le détroit de Haro et dans le passage Boundary (en rouge) en mai 2018, exprimée comme une densité de probabilité empirique.	26
Figure 9. Niveau moyen de la source monopôle de pétroliers naviguant dans la mer des Salish, établi d'après plusieurs passages. Figure adaptée de MacGillvray et Li (2018). La courbe est employée pour extrapoler les extrants du modèle à 125 Hz aux plages de communication (500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (15 à 100 kHz) de l'ERS.....	29
Figure 10. Carte montrant la distance entre chaque point de la grille et le point le plus près de la route maritime (R_{SL}), utilisée pour calculer l'absorption en fonction de la distance et de la fréquence pendant l'extrapolation des résultats pour 125 Hz aux fréquences d'intérêt plus élevées. Voir Burnham et al., 2023.	30
Figure 11. Les huit sous-régions définies en fonction des comportements, encadrées de vert. Zone 1 : La Pérouse; zone 2 : banc Swiftsure; zone 3 : détroit de Juan de Fuca; zone 4 : détroit de Haro; zone 5 : bras Admiralty; zone 6 : îles Gulf; zone 7 : détroit de Georgia Sud; zone 8 :	

détroit de Georgia Nord. Le rectangle jaune représente l'ensemble de la zone d'étude, à l'intérieur de laquelle les données du système d'identification automatique (SIA) ont été examinées. La limite de la zone 1 se trouve à 12 milles marins de la côte. Les lignes pointillées représentent les voies maritimes.....	35
Figure 12. Niveaux de dépassement du L_{99} des niveaux de bruit ambiant de chaque site, après agrégation sur la période de mai à septembre pour les années 2018 à 2020. Figure tirée de Vagle et al. (2021).....	37
Figure 13. Densités de probabilité empiriques des niveaux de bruit dans la bande de 10 à 100 000 Hz (A, B), la bande de tiers d'octave centrée sur 63 Hz (C, D) et la bande de tiers d'octave centrée sur 125 Hz (E, F) pour les périodes hivernale et estivale de 2019. Les flèches vers le bas représentent les niveaux L_{95} et L_5 , et les flèches vers le haut, le niveau L_{50} correspondant. Figure tirée de Burnham et al. (2021b).	38
Figure 14. Les six zones définies en fonction du paysage sonore ambiant, encadrées de rouge. Zone 1 : banc Swiftsure; zone 2 : détroit de Juan de Fuca Ouest; zone 3 : détroit de Juan de Fuca Est; zone 4 : détroit de Haro-passage Boundary; zone 5 : îles Gulf; zone 6 : détroit de Georgia. Le rectangle jaune représente l'ensemble de la zone d'étude, à l'intérieur de laquelle les données du système d'identification automatique (SIA) ont été examinées. La limite de la zone 1 se trouve à 12 milles marins de la côte. Les lignes pointillées représentent les voies maritimes.	39
Figure 15. Modélisation des niveaux de bruit médians dans la plage des vocalisations de communication des ERS (de 500 Hz à 15 kHz) à l'aide des données du système d'identification automatique (SIA) de mai à octobre 2015 à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.	43
Figure 16. Modélisation des niveaux de bruit médians dans la plage des signaux d'écholocalisation des ERS (de 15 à 100 kHz) à l'aide des données du système d'identification automatique (SIA) de mai à octobre 2015 à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.	44
Figure 17. Courbe de densité spectrale de puissance (DSP) pour les niveaux de dépassement L_{99} pour les données regroupées des emplacements de six amarrages de mai à octobre pour la période 2018 à 2020. Le niveau sonore ambiant minimal (ligne noire) a été formé à partir de la moyenne du détroit de Haro et du passage Boundary. La ligne tiretée représente le niveau dérivé pour la fréquence possible de l'écholocalisation de 50 kHz (34 dB).	46
Figure 18. Modélisation des niveaux de bruit médians (en dB) dans la plage des vocalisations de communication des ERS (de 500 Hz à 15 kHz) à l'aide de données synthétiques du système d'identification automatique (SIA) de mai à octobre 2015, ajustées pour inclure les transits prévus des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m....	48
Figure 19. Modélisation des niveaux de bruit médians (en dB) dans la plage des vocalisations d'écholocalisation des ERS (de 15 à 100 kHz) à l'aide de données synthétiques du système d'identification automatique (SIA) de mai à octobre 2015, ajustées pour inclure les transits prévus de pétroliers et de remorqueurs du projet TMX à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.	49
Figure 20. À GAUCHE : Modélisation des variations du niveau de bruit médian (en dB) dans la plage des vocalisations de communication des ERS (de 500 Hz à 15 kHz) par rapport au scénario utilisant des données synthétiques du système d'identification automatique (SIA) de mai à octobre 2015, ajustées pour inclure les transits prévus des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX. À DROITE : Mise en évidence des variations sous forme de sortie binaire, où rouge = niveaux sonores accrus et bleu = aucune variation résultant de la présence du trafic du projet TMX à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.....	50

Figure 21. À GAUCHE : Modélisation des variations du niveau de bruit médian (en dB) dans la plage des signaux d'écholocalisation des ERS (de 15 à 100 kHz) entre la base de référence et le scénario utilisant des données synthétiques du système d'identification automatique (SIA) de mai à octobre 2015, ajustées pour inclure les transits prévus des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX. À DROITE : Mise en évidence des variations sous forme de sortie binaire, où rouge = niveaux sonores accrus et bleu = aucune variation résultant de la présence du trafic du projet TMX à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.....	51
Figure 22. À GAUCHE : Modélisation des variations du niveau de bruit médian (en dB) dans la plage des vocalisations de communication des ERS (de 500 Hz à 15 kHz) par rapport à la base de référence de mai à octobre 2015 et au scénario de ralentissement complet où tous les navires commerciaux se déplacent à 10 nœuds. À DROITE : Mise en évidence des variations sous forme de sortie binaire, où rouge = niveaux sonores accrus et bleu = aucune variation résultant de la présence du trafic du projet TMX à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.....	54
Figure 23. À GAUCHE : Modélisation des variations du niveau de bruit médian (en dB) dans la plage des signaux d'écholocalisation des ERS (de 15 à 100 kHz) par rapport à la base de référence de mai à octobre 2015 et au scénario de ralentissement complet où tous les navires commerciaux se déplacent à 10 nœuds. À DROITE : Mise en évidence des variations sous forme de sortie binaire, où rouge = niveaux sonores accrus et bleu = aucune variation résultant de la présence du trafic du projet TMX à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.	55
Figure 24. Visualisation des endroits où le bruit résiduel augmente et diminue par rapport à la base de référence pour le scénario (base de référence + navires du projet TMX) + ralentissement de tous les navires à 10 nœuds. Rouge = augmentation du niveau sonore; bleu = diminution du niveau sonore; ligne tiretée noire et hachures grises = occurrence prévue des ERS à un niveau de confiance de 70 %; rectangle jaune = étendue du modèle de bruit des navires. À GAUCHE : gamme de fréquences de communication des ERS; À DROITE : gamme d'écholocalisation des ERS; A = 7,5 m de profondeur; B = 50 m de profondeur; C = 100 m de profondeur. Exemple préliminaire à des fins de démonstration uniquement, il ne s'agit pas de résultats au point.....	57
Figure 25. Exemple de calcul de la pondération pour une région de 4 unités de surface pour démontrer comment les compensations ont été déterminées et appliquées dans le calcul des crédits.	69
Figure 26. Exemples de scénarios relatifs au calcul de la pondération de chaque unité de surface pour démontrer comment les compensations peuvent être calculées et appliquées dans le calcul des crédits. L'approche additive est utilisée pour le calcul des facteurs de pondération. Selon les participants, une approche multiplicative pourrait être plus appropriée.	70
Figure 27. Facteurs de pondération déterminés à l'aide des données sur la fréquence d'occurrence et le comportement des ERS.	71
Figure 28. Comparaison entre les valeurs moyennes des facteurs de pondération calculées à l'aide d'une approche additive plutôt que multiplicative, lorsque l'on utilise (A) les sous-régions définies selon les données sur l'ERS (sorties sur l'occurrence et le comportement) et (B) les sous-régions définies selon le paysage sonore.	73

LISTE DES ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

AMAR : enregistreurs acoustiques multicanaux autonomes
COSEPAC : Comité sur la situation des espèces en péril au Canada
CPAP : conséquences des perturbations acoustiques sur la population
CPP : conséquences des perturbations sur la population
CTD : conductivité, température et profondeur
dB : décibel
DSP : densité spectrale de puissance
DST : dispositif de séparation du trafic
ECHO : Programme Enhancing Cetacean Habitat and Observation de l'Administration portuaire de Vancouver Fraser
EIQ : écart interquartile mesuré du 25^e au 75^e percentile.
ERS : épaulard résident du sud
GPS : système mondial de positionnement
Hz : Hertz
ISMM : numéro d'identité dans le service mobile maritime
kHz : kilohertz
LCEE : *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (2012)*
LEP : *Loi sur les espèces en péril*
L_{eq} : Niveau de pression acoustique continu équivalent, aussi appelé niveau sonore moyen
m : mètre
MPO : Pêches et Océans Canada
NB : niveau de bruit
NEB : niveau d'exposition au bruit
NR : niveau de bruit reçu
NS : niveau de source
OMI : Organisation maritime internationale
PLE : port en lourd d'été
PPPHP : Programme de protection du poisson et de l'habitat du poisson
RAM : modèle acoustique dépendant de la portée
REC : Régie de l'énergie du Canada
rms : valeur efficace
SCCS : Secrétariat canadien de consultation scientifique
SIA : système d'identification automatique
SPD : densité de probabilité spectrale

SPL : niveau de pression acoustique

TMX : Projet d'agrandissement du réseau de Trans Mountain

UE : Union européenne

VE : vitesse dans l'eau

VRF : vitesse par rapport au fond

ZAF : zone d'alimentation fréquente

ZIEB : zone d'importance écologique et biologique

ZSP : zone de sanctuaire provisoire

RÉSUMÉ

On a demandé l'avis au Secteur des sciences du ministère des Pêches et Océans sur l'évaluation d'un cadre proposé de compensation qui pourrait être appliqué aux ajouts de bruit sous-marin liés au projet. Pour ce faire, des experts en la matière ont examiné un scénario d'essai théorique fondé sur des données au sujet de l'épaulard résident du sud (*Orcinus orca*, ERS) dans la mer des Salish et à proximité. On a demandé des conseils sur plusieurs aspects de l'approche, notamment les limites spatiales et temporelles du cadre; la mesure des ajouts de bruit provenant des navires liés au projet et l'efficacité des mesures de gestion par rapport à une base de référence; l'utilisation de ratios de compensation ou de facteurs de pondération pour exprimer les aspects de l'utilisation de l'habitat par l'espèce focale; la façon dont les crédits compensatoires seraient calculés et échangés. Sur le plan conceptuel, les participants sont raisonnablement d'accord pour dire qu'une approche de compensation pourrait être appliquée afin de tenir compte des augmentations résiduelles de bruit causé par les navires sur des espèces de mammifères marins si les mesures d'atténuation existantes s'avéraient insuffisantes. Toutefois, ni le cadre de compensation proposé, ni la démonstration de son utilisation dans le scénario d'essai n'ont été recommandés par les participants à cause de préoccupations concernant la quantité de données nécessaires et les risques et incertitudes liés à l'application des données dans un cadre de compensation. De façon générale, les questions n'ont pas encore été réglées quant à la façon dont le concept pourrait être mis en œuvre, particulièrement en ce qui concerne le calcul et l'échange des crédits, ainsi que la compréhension des avantages connexes de l'approche de compensation pour l'espèce focale en péril. De forts risques et incertitudes ont également été notés à cet égard, en particulier pour ce qui est de la dérivation et l'utilisation de facteurs de pondération pour reconnaître les zones plus importantes ou utilisées par l'espèce focale. Les principes directeurs de l'échange de crédits ont été abordés, dont la nécessité de déterminer l'équivalence de l'habitat entre les régions en fonction des données sur les espèces focales, afin de permettre un échange « comparable ». Les participants ont proposé des améliorations substantielles et essentielles pour appuyer les considérations futures de ce concept.

1. INTRODUCTION

La croissance des économies mondiales et l'expansion des voies de navigation ont fait augmenter les niveaux sonores ambiants dans l'eau (Andrew *et al.*, 2002; Malakoff, 2010; Frisk, 2012). Plus de 80 % du commerce mondial se fait par voie de navigation, et le nombre et la taille des navires devraient augmenter. Les augmentations du niveau sonore sont concentrées autour des voies de navigation et dans les eaux côtières peu profondes autour des principaux ports, mais les ajouts de bruit, en particulier aux fréquences plus basses, peuvent s'étendre sur de plus grandes distances (Jasny, 2005; CNRC, 2005; Hildebrand, 2009; Frisk, 2012; Gillespie, 2016, Mikis-Olds et Nichols, 2016).

À mesure que le bruit anthropique augmente dans les paysages sonores océaniques, il en va de même pour les répercussions sur la vie marine, y compris les mammifères marins. Leur sensibilité acoustique signifie que les sons provenant de l'activité humaine peuvent entraîner des répercussions physiologiques, psychophysiologiques ou comportementaux. Les processus du cycle vital, comme la navigation, l'alimentation, l'attraction des partenaires d'accouplement, l'évitement des prédateurs, la cohérence du groupe et d'autres comportements sociaux dépendent de l'échange d'information acoustique (Nowacek *et al.*, 2007; Weilgart, 2007; Cure *et al.*, 2013; Erbe *et al.*, 2016). L'interférence avec l'utilisation de l'acoustique par un individu pourrait avoir des répercussions sur l'efficacité de ces comportements et, si elle se prolonge, réduire sa probabilité de survie; il pourrait aussi s'agir d'un facteur dans la disparition d'une population (Weilgart, 2007; Erbe *et al.*, 2016). Le masquage acoustique des signaux se produit lorsqu'un bruit externe obscurcit un signal d'intérêt, ce qui réduit la perceptibilité et l'interprétation de sons pertinents sur le plan biologique, ainsi que la portée sur laquelle un individu peut envoyer et recevoir des signaux acoustiques (Clark *et al.*, 2009; Hatch *et al.*, 2012; Burnham et Vagle, 2023a, Burnham *et al.*, 2023). Si la source de bruit dépasse certains niveaux d'amplitude, des lésions auditives ou des changements permanents ou temporaires de la capacité auditive peuvent en résulter (Southall *et al.*, 2007, 2008, 2019, 2021; NMFS, 2018, 2024). Il a été démontré que le bruit anthropique causait des dommages morphologiques (voir par exemple Ketten *et al.*, 1993). En effet, le bruit des navires augmente les niveaux de stress physiologique chez les baleines (Wright *et al.*, 2007; Rolland *et al.*, 2012), modifie les comportements de nage, de plongée et de vocalisation (voir par exemple Holt *et al.*, 2009, 2011; Parks *et al.*, 2007; Lusseau *et al.*, 2009, Williams *et al.*, 2014; Dahlheim et Castellote, 2016; Gomez *et al.*, 2016) et réduit la fécondité (voir par exemple Villegas-Amtmann *et al.*, 2015, 2017; Lacy *et al.*, 2017). Ces répercussions s'ajoutent à d'autres réponses possibles qui pourraient être observées à cause de la présence physique des navires (voir par exemple Lusseau *et al.*, 2009; Holt *et al.*, 2021). Le risque de répercussions est souvent estimé en fonction de la probabilité et de la gravité de l'exposition au bruit, compte tenu de la cooccurrence d'un animal avec la source du bruit (voir Southall *et al.*, 2007, 2019, 2021).

Les niveaux élevés de bruit sous-marin sont de plus en plus considérés comme une menace pour le rétablissement des populations, ainsi que pour la réussite et la survie des espèces en péril (Simmonds *et al.*, 2004; Weilgart, 2007). Pour les épaulards résidents du sud (*Orcinus orca*, ERS), la perturbation acoustique, en particulier causée par les navires, est l'une des quatre principales menaces au rétablissement et à la survie de la population (DFO, 2017a, b, 2021; Lacy *et al.*, 2017; Raverty *et al.*, 2019; Williams *et al.*, 2024). On pense qu'il a des répercussions sur la qualité de l'habitat (Williams *et al.*, 2014) et sur la capacité des épaulards à se nourrir efficacement (Sato *et al.*, 2021). En tant qu'espèce très acoustique, l'ERS compte sur l'utilisation d'appels communicatifs, sociaux et d'écholocalisation pour naviguer, maintenir la cohésion du groupe, de même que pour trouver, capturer et partager des proies (Ford, 1987, 1989, 1991; Riesch *et al.*, 2006). Reconnue pour la première fois comme un écotype distinct

en 2003, l'espèce a depuis été inscrite à la liste des espèces en péril de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP) à cause du faible effectif de la population (L.C. 2002, ch. 29). Selon le dénombrement le plus récent, la population d'ERS était de 74 individus (janvier 2024; CWR, 2024).

L'aire de répartition de l'ERS s'étend sur plus de 2 000 km de la Colombie-Britannique à la Californie, avec des observations en Colombie-Britannique principalement sur le banc Swiftsure et dans le détroit de Juan de Fuca et les eaux intérieures autour du sud de l'île de Vancouver et du nord de l'État de Washington, collectivement appelées la mer des Salish (figure 1). Les épaulards sont plus fréquents dans cette région du début du printemps à l'automne (mai-octobre; Olson *et al.*, 2018; Thornton *et al.*, 2022a; Shields, 2023), où ils suivent les voies migratoires du saumon chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) vers les frayères du fleuve Fraser (Hanson *et al.*, 2010, 2021). On note un chevauchement important entre les sites d'alimentation de l'ERS et les zones de forte circulation maritime (Cominelli *et al.*, 2018), où des navires commerciaux empruntent des voies de navigation internationales vers des ports comme Vancouver, Victoria et Nanaimo, au Canada, ainsi que Port Angeles, Tacoma et Seattle, aux États-Unis (figure 1). À mesure que la dépendance à l'égard des voies de navigation s'accroît, la demande pour ces ports dans le nord-ouest du Pacifique augmente également (WSP, 2020).

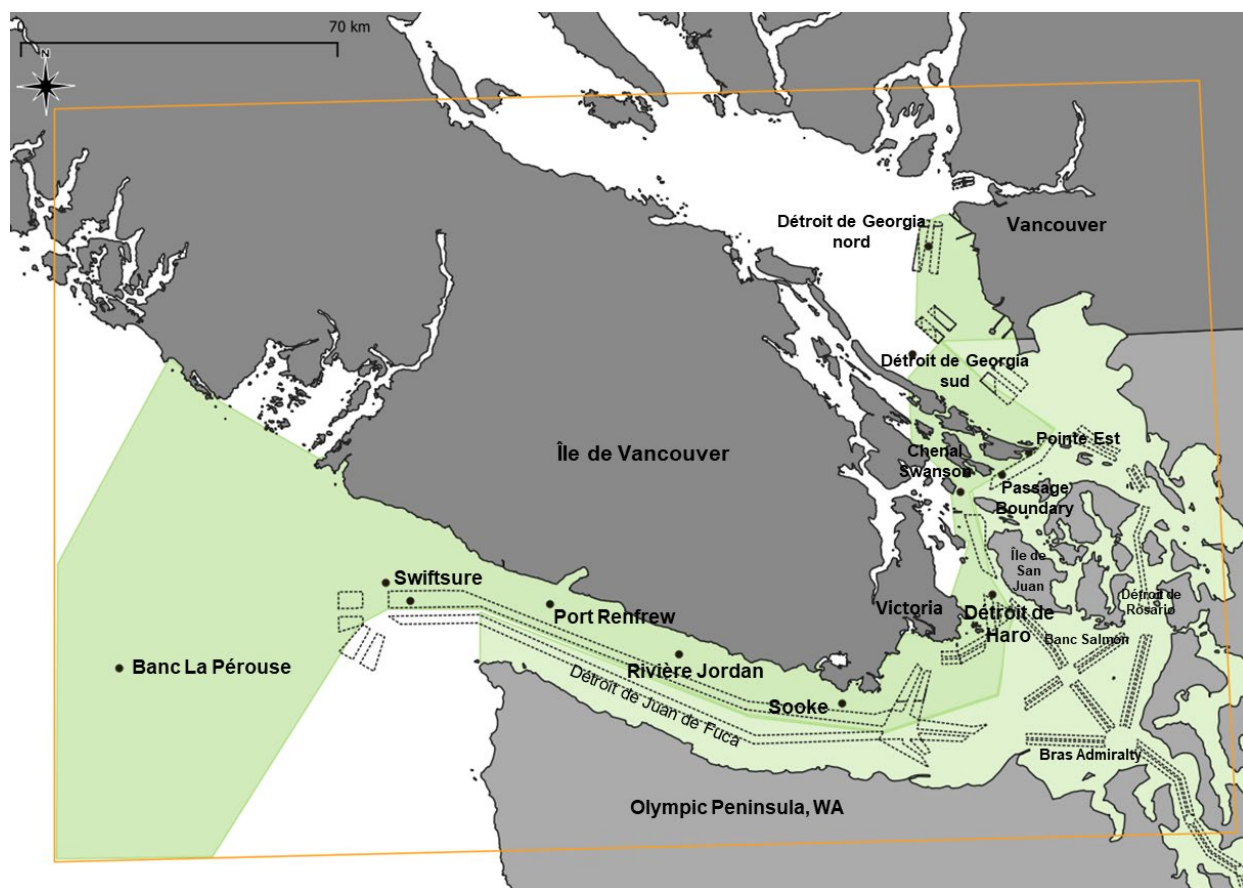


Figure 1. Le banc Swiftsure et la mer des Salish. Les éléments suivants sont indiqués : zone d'étude complète et étendue du modèle acoustique (rectangle jaune); emplacements et noms des lieux d'amarrage (cercles noirs); voies maritimes commerciales internationales (lignes pointillées); habitat essentiel de l'ERS (ombrage vert).

Les mesures visant à réduire le bruit sous-marin causé par les navires peuvent consister en des approches opérationnelles, l'amélioration des pratiques d'entretien ou l'utilisation de

technologies d'atténuation à la source. Les approches opérationnelles comprennent celles qui modifient la façon dont les navires sont exploités et utilisés, ou les zones où ils se trouvent. Il peut s'agir du ralentissement des navires, de changements de la configuration des voies de navigation, de la modification des voies pour contourner un habitat important, ou encore, dans certains cas, de l'exclusion complète des navires dans une zone. Les modifications apportées à la conception des navires, comme la modernisation, la reconception ou l'augmentation de l'entretien, peuvent réduire les émissions de bruit à la source (Veirs *et al.*, 2021). Les approches opérationnelles peuvent être mises en œuvre sur des périodes plus courtes, et sont donc utilisées plus fréquemment comme mesures de gestion visant à atténuer les ajouts de bruit causés par les navires.

La compensation du bruit a été proposée comme approche pour orienter les mesures de gestion visant à réduire les répercussions du bruit sous-marin causé par la circulation accrue de navires dans le cadre de projets de développement commercial. L'application d'une telle approche a été évaluée selon des données sur l'ERS dans les eaux de la mer des Salish et des environs et sur les ajouts de bruit sous-marin provenant du projet d'agrandissement du pipeline Trans Mountain (TMX). Ce projet devrait multiplier par environ sept les déplacements de pétroliers, qui passeraient de 5 à 34 par mois au terminal maritime de Westridge, à Vancouver. On comptera également une hausse du nombre de remorqueurs et de navires d'escorte pour aider ces pétroliers dans les zones de pilotage. Les premiers passages de pétroliers liés au projet TMX dans la mer des Salish ont eu lieu en mai 2024.

La compensation (décrite plus loin à la section 2) est de plus en plus utilisée dans les politiques environnementales et les mesures correctives à l'échelle mondiale. Il s'agit toutefois de la première utilisation du concept dans le cadre de la réduction de la qualité acoustique de l'habitat que l'on suppose être le résultat des ajouts de bruit découlant de la circulation maritime lié au projet. L'objectif de la compensation est « aucune perte nette »; dans l'utilisation proposée de la compensation, il s'agit d'aucune perte nette nulle d'habitat acoustique. On suppose que des mesures de gestion de compensation parviendraient à une absence d'augmentation nette, voire à une diminution, du bruit des navires. La compensation vise à remédier à tout effet résiduel ou toute perte d'habitat après l'application de mesures d'atténuation. Dans cet exemple, elle viserait à tenir compte de toute augmentation restante du bruit suite à l'utilisation de mesures visant à réduire les perturbations acoustiques, comme la limitation de vitesse et le changement d'itinéraire des navires, et n'est envisagée que si les mesures n'ont pas donné tous les résultats escomptés.

Les travaux décrits dans le présent document s'appuient sur les discussions d'un atelier initial organisé en décembre 2021, au cours duquel des experts en la matière ont été invités à évaluer de façon critique l'approche proposée et les aspects préliminaires d'un cadre de compensation. Le document présente également les résultats d'une réunion du Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS), du 12 au 14 mars 2024, qui a réuni des experts en la matière. Les participants à cette réunion ont été invités à donner leur avis sur le calcul et les principes régissant l'échange de crédits compensatoires. On y a traité d'orientations sur les aspects spatiaux et temporels de l'approche; de la nécessité et de la définition de sous-régions pour l'échange de crédits; de la détermination d'une base de référence par rapport à laquelle les changements de niveaux sonores des navires liés au projet et les mesures de gestion compensatoires peuvent être comparés; de l'utilisation et du calcul de rapports de compensation ou de facteurs de pondération pour représenter l'utilisation de l'habitat et son importance pour l'ERS; de l'établissement de l'équivalence de l'habitat.

Dans cette évaluation initiale de l'approche, le cadre de compensation théorique proposé a été appliqué à un scénario d'essai. Ce scénario a pris en compte les ajouts de bruit sous-marin provenant des navires liés au projet TMX, et évalué la façon dont une approche de

compensation pourrait remédier aux effets résiduels prévus après l'application des mesures d'atténuation propres au projet. L'approche porte uniquement sur les ajouts acoustiques provenant des navires du projet; il ne tient pas compte des ajouts provenant de la construction ou d'autres sources de bruit liées aux phases opérationnelles du projet. L'évaluation ne cible que les changements de niveaux sonores dans la mer des Salish et ne tient pas compte directement des répercussions comportementales ou physiologiques des ajouts de bruit ni des répercussions que cela pourrait avoir sur l'espèce focale ou d'autres mammifères marins de la région, y compris le risque accru de collision avec des navires. De plus, à cette étape préliminaire, l'approche de compensation est envisagée pour les navires dans le cadre d'un seul projet (c.-à-d. TMX seulement) et ne fait pas partie d'un cadre des effets cumulatifs visant à gérer les répercussions liées au projet. De plus, les mesures de gestion des compensations mises à l'essai ne représentent pas la façon dont le gouvernement du Canada a abordé la question du bruit lié au projet TMX; le scénario d'essai est un exemple théorique de la façon dont une compensation pourrait fonctionner sur le plan conceptuel. L'analyse a porté sur les ERS de la mer des Salish, bien que cette région représente également un habitat important pour d'autres espèces de mammifères marins (McMillian *et al.*, 2022).

Les données du présent rapport sont uniquement destinées à servir d'exemple d'application de l'information au cadre proposé et à présenter les recommandations des experts en la matière en ce qui concerne l'utilisation de la compensation. Le scénario d'essai sert à représenter les progrès réalisés jusqu'à présent dans l'utilisation de l'approche de compensation pour réduire le bruit sous-marin lié au projet, et pour mettre en évidence les secteurs où des travaux supplémentaires sont nécessaires, surtout lorsqu'ils sont envisagés pour d'autres espèces ou régions. Toutes les analyses présentées dans le rapport pour le scénario d'essai, y compris les figures et les tableaux, sont préliminaires et sont destinées à des fins de démonstration du cadre proposé seulement. On prévoit des modifications et des améliorations avant que le rapport ne soit finalisé.

2. ÉLABORATION D'UN CADRE DE COMPENSATION

La compensation vise à tenir compte des changements de la qualité de l'habitat ou de la destruction causée par l'activité anthropique, en suivant la hiérarchie des mesures, où tous les efforts sont déployés pour prévenir le plus possible les répercussions sur l'habitat ou les espèces. Lorsque cela n'est pas possible, les mesures d'atténuation (réduction des répercussions) sont d'abord mises à l'essai avant d'envisager des mesures de compensation (effet de contrepoids, figure 2). La compensation n'est donc envisagée que lorsque les répercussions du projet sont inévitables et que des effets résiduels subsistent après l'application de mesures d'atténuation (Gardner *et al.*, 2013). Les pertes sont compensées par l'amélioration, la création ou la remise en état d'habitat convenable supplémentaire dans des zones adjacentes ou à proximité. En fin de compte, les mesures compensatoires visent à obtenir au moins une augmentation nette nulle de la perte d'habitat ou une répercussion nulle sur les espèces en remédiant à tout effet résiduel. Les mesures de gestion de la compensation doivent donc dépasser les mesures d'atténuation propres au projet. Dans le cas de l'application de compensation proposée dans le scénario d'essai, la compensation servirait à obtenir un changement net dans l'environnement acoustique ou aucune augmentation du bruit sous-marin.

Outre les mesures d'atténuation du projet, les mesures de compensation permettent d'obtenir une répercussion nulle sur l'habitat en réduisant les effets non liés au projet. Cela peut se faire par l'échange de crédits entre les zones où les mesures de gestion ont réduit les effets du projet et celles où il reste des ajouts de bruit résiduel. Toutefois, lors de l'élaboration d'une approche de compensation, il faut également se demander si certaines zones ont une valeur intrinsèque qui empêcherait l'échange de crédits provenant de ces zones. Il se peut que des zones qui

fournissent un habitat unique pour les comportements vitaux ou les événements du cycle vital des espèces visées, par exemple le sevrage, devraient être exclues du calcul et de l'échange des crédits, et ciblées uniquement pour les réductions du bruit. De plus, une évaluation du niveau des pertes admissibles et acceptables dans une zone d'habitat donnée, bien qu'elle soit équilibrée dans les calculs de compensation, est nécessaire (Ives et Bekessy, 2015). Un plan de compensation devrait comprendre une description des mesures de gestion devant être utilisées pour contrebalancer les effets résiduels sur l'habitat; décrire comment ces mesures seront mises en œuvre et suivies pour en assurer l'efficacité; présenter les mesures d'urgence actuelles qui pourraient être mises en œuvre si les mesures de compensation n'atteignent pas l'objectif d'aucune perte nette d'habitat; définir le calendrier de mise en œuvre et d'examen. Cela comprend un calendrier de réévaluation et de validation de l'estimation des répercussions, de l'efficacité des mesures de compensation prises et de la mise à jour du processus de calcul et d'échange des crédits à mesure que d'autres données deviennent disponibles. Bien que la compensation comme approche ait été appliquée à plusieurs enjeux de conservation à l'échelle mondiale (voir par exemple Kiesecker *et al.*, 2009; Palmer et Filoso, 2009; Madsen *et al.*, 2010), elle n'a jamais été utilisée pour remédier aux ajouts de bruit sous-marin, ou plus précisément les ajouts inévitables du bruit des navires liés au projet, et la réduction de la qualité de l'habitat acoustique des mammifères marins qui résulte de l'élévation des niveaux de bruit dans le paysage sonore. L'élaboration et l'application d'une approche de compensation à utiliser dans ce cas sont facilitées par les politiques et les documents d'orientation existants, y compris la *Politique sur l'application de mesures visant à compenser les effets néfastes sur le poisson et son habitat en vertu de la Loi sur les pêches* (« Politique de compensation », DFO, 2019), avec des adaptations pour mieux convenir à l'utilisation envisagée. Le recours à la compensation n'est nécessaire que lorsque les effets sont inévitables et que les mesures d'atténuation propres au projet ne tiennent pas pleinement compte des ajouts de bruit.

Dans le scénario d'essai, l'objectif d'aucune perte nette d'habitat acoustique serait réalisé en tenant compte des effets résiduels prévus du bruit causé par les navires dans la mer des Salish. Il convient de noter que les niveaux de bruit dans la région avant le projet TMX étaient déjà considérés comme ayant une incidence sur le potentiel de rétablissement de l'ERS, et que les ajouts de bruit, en particulier le bruit des navires, figuraient parmi les principales menaces pesant sur l'espèce (DFO, 2018). Toutefois, l'élaboration de l'approche de compensation pour le scénario d'essai vise uniquement à contrebalancer les effets du bruit des navires lié au projet sur une espèce en voie de disparition dans l'habitat essentiel.

Les mesures visant à réduire le harcèlement ou les dommages causés à l'espèce, ou la destruction d'habitat important, devraient être prises en utilisant les meilleures données scientifiques disponibles et devraient être guidées par une approche de précaution, écosystémique ou fondée sur le risque, s'il y a lieu. La compensation est une approche potentielle qui pourrait être appliquée pour contrer le harcèlement ou les dommages prévus à l'ERS, ou la destruction de l'habitat important de l'ERS dans la mer des Salish, suite à de nouveaux projets d'envergure.

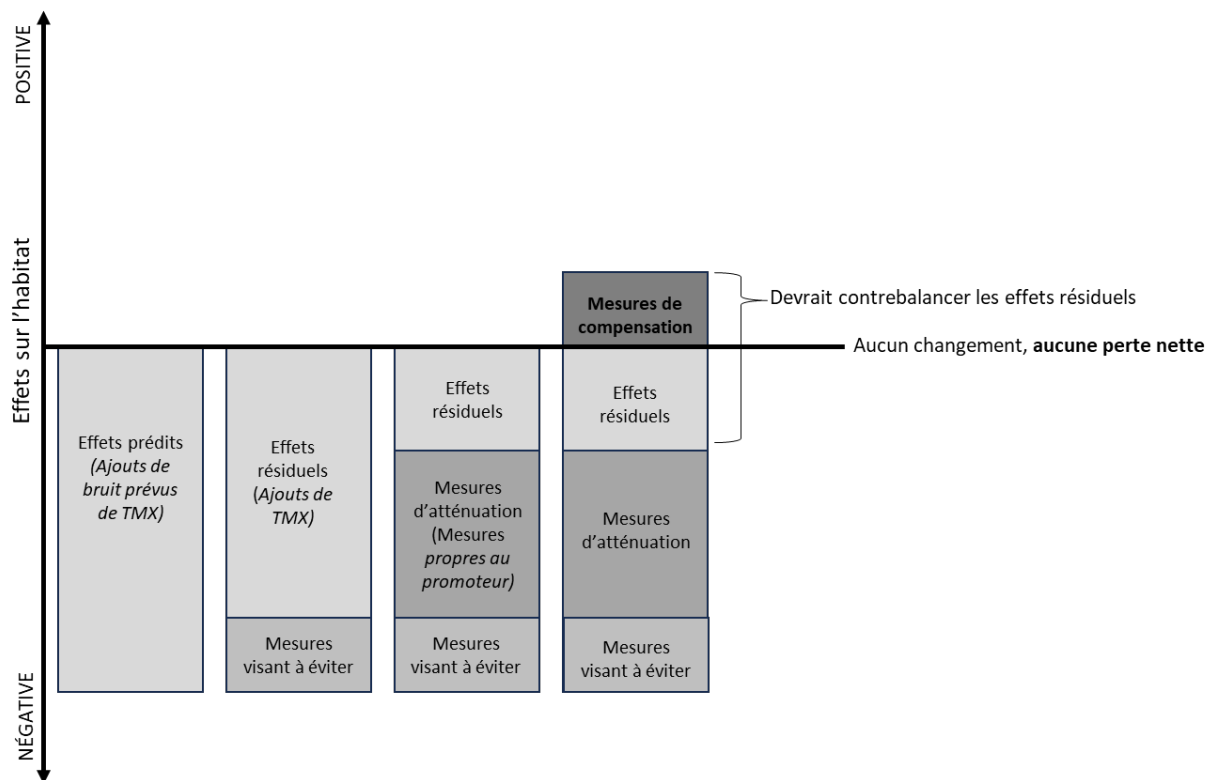


Figure 2. Diagramme conceptuel de la hiérarchie des mesures, adapté de la [Politique de compensation](#).

Dans sa forme la plus simple, la compensation permet aux zones les plus touchées d'être contrebalancées par des zones moins touchées ou qui ont subi un impact réduit suite à des mesures de gestion compensatoires, de sorte qu'il n'y ait pas d'effet global ou de perte d'habitat découlant d'un projet proposé (figure 3). La compensation dépasse l'atténuation directe des répercussions liées au projet ou propres au promoteur, la quantité de compensation requise étant proportionnelle aux effets négatifs qui n'ont pas encore été atténués par d'autres mesures. Elle devrait également tenir suffisamment compte de toute incertitude quant à l'efficacité des mesures mises en œuvre pour éviter, atténuer ou compenser les effets résiduels des activités liées au projet, ainsi que du délai entre la mise en œuvre des mesures et la réalisation des avantages. Par conséquent, les efforts de compensation visent souvent à réduire les effets de la perte de l'habitat d'une façon qui dépasse ce qui est nécessaire pour traiter uniquement les répercussions résiduelles sur l'habitat au moyen des mesures de gestion mises en place. Dans le cas de l'application proposée au bruit sous-marin, la compensation nécessaire serait au moins proportionnelle à l'augmentation des navires liés au projet qui ne sont pas visés par les mesures d'atténuation. Les zones où les niveaux de bruit (NB) sont élevés en raison des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX ($NB >$ base de référence, figure 3) seraient contrées par des réductions découlant des mesures de gestion compensatoires dans les régions adjacentes ($NB <$ base de référence, figure 3). La superficie de l'habitat dont les niveaux de bruit sont inférieurs à la valeur de référence correspondrait au moins, sinon dépasserait les zones touchées par le bruit des navires. Dans cette forme la plus simple, on suppose que toutes les unités d'habitat sont également disponibles et qu'elles ont la même importance pour l'espèce focale. Cela ne tient pas compte des préférences en matière d'habitat, de la fidélité au site ou des variables qui rendent une unité d'habitat plus importante qu'une autre, par exemple la présence de proies convenables. Si l'utilisation de l'habitat n'est pas uniforme, un facteur de pondération ou un rapport de compensation est utilisé pour prendre en

compte et exprimer ces disparités. Cela permettrait aux calculs de crédits d'exprimer l'importance des changements au sein de l'habitat. De cette façon, les pertes d'habitat dans les zones de plus grande importance sont amplifiées, tout comme les gains ou les mesures de remise en état découlant d'une compensation réussie. La quantité de compensation requise dans les zones d'importance accrue pour les espèces focales afin de contrer les pertes d'habitat est donc augmentée par rapport à la quantité d'habitat touché. Les calculs de crédits supposent que le plus grand avantage serait ressenti par une espèce dans des zones à forte utilisation et/ou qui soutiennent des comportements importants comme l'alimentation ou le sevrage. Pour ce qui est de l'application du bruit sous-marin, cela signifie que des réductions plus importantes seraient nécessaires dans d'autres secteurs afin de compenser l'augmentation du bruit dans ces secteurs fortement pondérés.

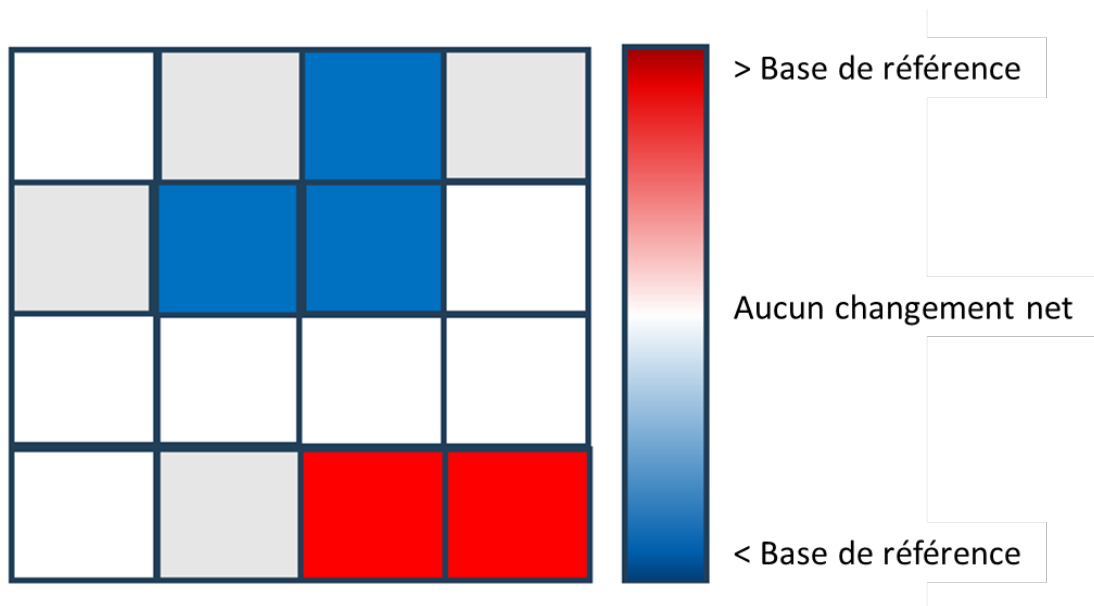


Figure 3. Le concept théorique de compensation, où les zones touchées par plus d'une base de référence sont contrebalancées par celles où l'impact est réduit pour n'entraîner aucun changement net.

De plus, l'utilisation de ces facteurs de pondération aide à orienter l'échange de crédits entre les zones qui présentent une équivalence. Cet échange « comparable » n'est pas seulement entre des zones d'habitat de grande qualité pour l'espèce focale, mais devrait être représentatif des comportements ou des fonctions vitales soutenus par l'unité d'habitat. En plus des facteurs de pondération, une variable supplémentaire, un « multiplicateur », peut être utilisée dans le calcul du crédit afin de tenir compte de l'incertitude; il s'agit également d'un moyen d'exprimer toute marge d'erreur qui aurait pu être reportée dans les calculs du crédit. Les multiplicateurs peuvent être utilisés pour exprimer le risque, en tant que ratio entre la zone touchée et la zone faisant l'objet de la compensation; saisir la variabilité de l'approche proposée (comme l'efficacité ou le respect des mesures d'atténuation); tenir compte de tout retard dans l'application des mesures ou le calcul de la compensation; être utilisé comme espace réservé pour toute autre considération nécessaire au calcul de la perte nette nulle d'habitat.

Le cadre de compensation proposé élaboré par le Programme de protection du poisson et de l'habitat du poisson (PPPHP, le « client ») est axé sur les données et peut être mis à jour de manière itérative, et les calculs de crédits peuvent être effectués à intervalles réguliers afin d'établir l'efficacité des mesures visant à réduire le bruit causé par les navires dans le cadre du projet (figure 4). L'examen et la réévaluation des paramètres sont prévus si la compensation se poursuit en tant qu'outil pour gérer les perturbations acoustiques, et chaque étape du processus

est ajustée à mesure que d'autres données deviennent disponibles (figure 4). La compensation en tant que technique compensatoire susceptible de remédier aux effets négatifs a été introduite suite à des modifications apportées à la *Loi sur les pêches* en 2012. Dans l'application décrite ici, la technique vise à établir les changements dans l'état acoustique de l'habitat découlant des activités liées au projet, mais ne va pas jusqu'à évaluer comment ces changements peuvent avoir une incidence sur les taux de mortalité ou de croissance d'une population, ou la fécondité et les taux vitaux des individus. Dans des applications antérieures, un cadre de compensation a été utilisé lors de l'évaluation des dommages admissibles et dans les processus de prise de décisions pour évaluer les projets, les travaux, les entreprises ou les activités dans les zones utilisées par les espèces aquatiques inscrites à la liste de la LEP, bien que l'utilisation de ce cadre soit encore largement conceptuelle (voir DFO, 2022). Les limites de l'application de cette approche ont été cernées, dont le manque de données sur le cycle biologique propres aux espèces sur lesquelles fonder le cadre (DFO, 2022). Des incertitudes et des lacunes en matière de connaissances ont été cernées pour chaque composante du cadre. Appliquée aux espèces en péril, aucune mesure supplémentaire de critères défendables n'a été suggérée dans la mise en œuvre de mesures ou de stratégies supplémentaires pour atténuer ces incertitudes (voir DFO, 2022).

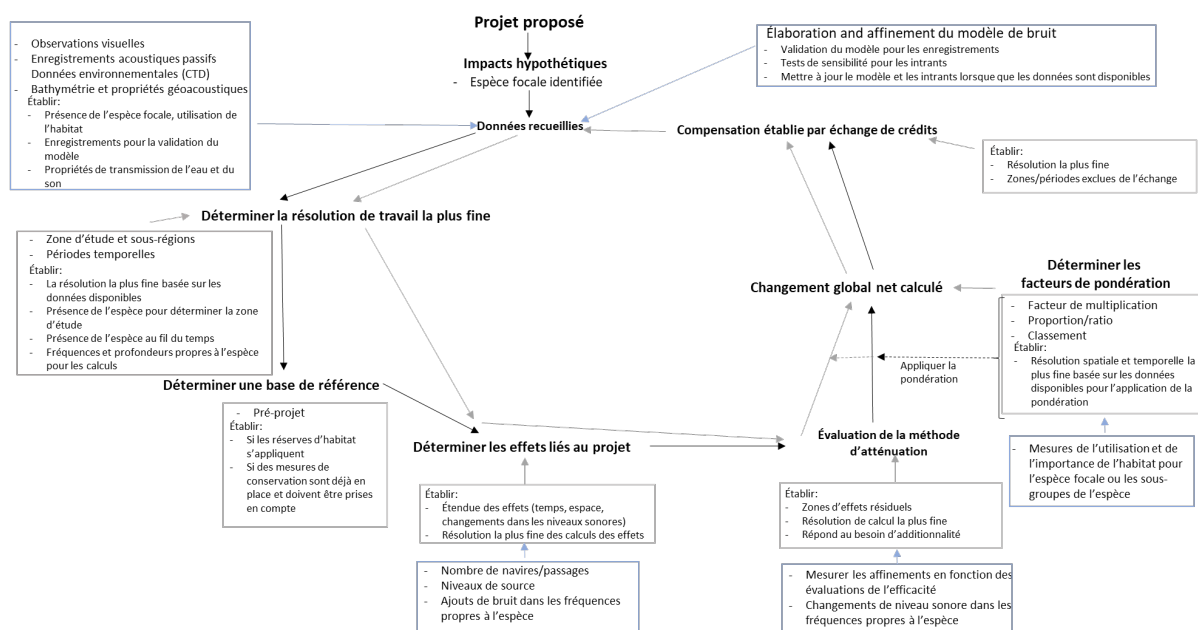


Figure 4. Le cadre de compensation proposé. Les cases grises et les flèches représentent des aspects qui seraient pris en compte chaque fois que les compensations sont calculées. Les cases bleues énumèrent les mises à jour qui pourraient être prises en compte pour chaque itération du calcul.

3. SCÉNARIO D'ESSAI DE L'APPROCHE DE COMPENSATION EN LIEN AVEC L'ERS ET LE PROJET TMX

3.1. HISTORIQUE DU PROJET TMX

Trans Mountain Corporation (propriétaire et exploitant du pipeline existant et du projet TMX) a présenté sa demande de certificat de projet à la Régie de l'énergie du Canada (REC, anciennement l'Office national de l'énergie) en décembre 2013. L'expansion (appelée projet TMX tout au long du présent document) augmenterait par près de trois fois la capacité du réseau de pipelines existant, qui passerait de 300 000 à 890 000 barils par jour. Il faudrait

augmenter le nombre de passages de navires pour soutenir cette augmentation du débit sortant de pétrole. L'augmentation prévue du trafic, qui passerait de 5 à 34 pétroliers par mois, représenterait une hausse d'environ 13,4 % du trafic total dans l'inlet Burrard et de 5,5 % dans le détroit de Juan de Fuca (voir la figure 1). Suite à la première approbation du projet TMX en mai 2016, le gouvernement du Canada s'est engagé à gérer les incidences d'un trafic supplémentaire dans le cadre du projet et du bruit causé par les navires sur l'ERS (DFO, 2017a, b). Ce certificat initial était assujéti à 157 conditions. Les travaux d'évaluation, d'élaboration et de mise en œuvre de mesures visant à éviter toute augmentation nette du bruit causée par les navires qui circulent dans le cadre du projet TMX ont débuté en 2016, et le gouvernement du Canada s'est engagé à faire plus que d'atténuer les répercussions sur l'ERS (NEB, 2019).

Une deuxième audience de réexamen a été tenue au sujet du projet TMX en 2018. Par la suite, la REC a conclu que les activités du projet contribueraient à d'autres effets connus qui compromettent déjà le succès de reproduction, la survie et le rétablissement de la population d'ERS. La Régie a conclu que les opérations étaient susceptibles d'avoir des effets négatifs importants sur l'espèce. Elle prévoyait également que l'utilisation culturelle autochtone de la mer des Salish associée à l'ERS serait touchée. Par conséquent, elle a recommandé que le projet soit approuvé sous réserve de 156 conditions et de 16 recommandations visant à atténuer ou à éviter ces effets.

3.2. RECOMMANDATIONS 5 ET 6

Sur les 156 conditions et les 16 recommandations formulées par la REC, 2 recommandations (recommandations 5 et 6) portent spécifiquement sur l'élaboration d'un programme de compensation pour faire face aux augmentations prévues du bruit sous-marin et des risques de collision avec des navires circulant dans le cadre du projet TMX. La recommandation 5 proposait l'élaboration d'un programme pour compenser à la fois l'augmentation du bruit sous-marin et le risque de collision que représente le transport maritime lié au projet pour les espèces de mammifères marins et de poissons inscrites à la liste de la LEP, avec des rapports périodiques sur l'efficacité des mesures. La recommandation 6 proposait en outre l'évaluation de mesures particulières à envisager dans le cadre du programme de compensation. Des mesures seraient nécessaires pour répondre aux besoins décrits au paragraphe 79(2) de la LEP et dans la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (2012)* (LCEE) afin d'examiner et de surveiller les effets du transport maritime lié au projet. L'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation de mesures visant à éviter ou à réduire ces effets dans le cadre d'un plan de gestion adaptative étaient également nécessaires.

En formulant la recommandation 5, la REC a souligné que les initiatives gouvernementales existantes « visent à réduire les effets cumulatifs sur les baleines et sont conçues pour plus que compenser les répercussions du transport maritime lié au projet, dont le bruit et les collisions ». Elle a ajouté que « le gouvernement du Canada continuera de miser sur les investissements actuels pour aborder les impacts du projet et des mesures supplémentaires continuent d'être élaborées et introduites à mesure que de nouveaux renseignements et résultats deviennent disponibles ». L'engagement à cet égard a été réitéré, le gouvernement affirmant son soutien continu à la mise en œuvre de mesures de gestion du bruit afin d'éviter ou, le cas échéant, d'atténuer les effets liés au projet, et de surveiller ou de mettre en œuvre de manière adaptative des mesures compatibles avec les stratégies de rétablissement et les plans d'action sur les espèces en péril. La REC a recommandé que les mesures prises pour atténuer le bruit soient appliquées à tous les navires appropriés, et pas seulement aux navires liés au projet, car cela serait nécessaire pour compenser efficacement les impacts. Elle s'est montrée confiante dans le fait que des mesures techniquement et économiquement réalisables pouvaient être mises au

point pour parvenir à une compensation sur la base des éléments de preuve présentés lors de l'audience de réexamen.

Cette évaluation de l'application de la compensation porte principalement sur l'ERS, une espèce pour laquelle on possède beaucoup de données. Cependant, d'autres espèces de mammifères marins dans la mer des Salish pourraient également être touchées, comme le rorqual à bosse (*Megaptera novaeangliae*), la baleine grise (*Eschrichtius robustus*), le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*), l'épaulard de Bigg (population migratrice), le marsouin commun (*Phocoena phocoena*), le marsouin de Dall (*Phocoenoides Dalli*), le phoque commun (*Phoca vitulina*), l'otarie de Steller (*Eumetopias jubatus*) et le dauphin à flancs blancs du Pacifique (*Lagenorhynchus obliquidens*) (McMillian *et al.*, 2022). Le rorqual à bosse et la baleine grise sont inscrits comme espèces préoccupantes, et l'épaulard de Bigg, comme espèce menacée en vertu de la LEP (COSEWIC, 2008, 2017, 2022). De plus, la mer des Salish comprend des zones de protection du sébaste, le sébaste aux yeux jaunes (*Sebastes ruberrimus*) étant inscrit comme espèce menacée en vertu de la LEP (COSEWIC, 2020). L'application de l'approche de compensation en tant qu'outil visant plusieurs espèces a été prise en compte dans l'examen des documents relatifs au scénario d'essai, mais l'application du cadre dans ce cas n'a pas été déterminée. La nature omniprésente du son, qui traverse les sous-régions différemment selon les types de signaux et l'océanographie, signifie également que les effets sur les différentes espèces dotées de capacités auditives distinctes doivent être mesurés. Les données pour chaque espèce devraient être intégrées à l'approche de compensation. Par conséquent, l'examen de la recommandation 5 et l'élaboration du cadre de compensation se sont d'abord concentrés sur l'ERS à ce stade, toute réduction des niveaux de bruit étant censée profiter à d'autres espèces en améliorant la qualité de l'habitat acoustique.

3.3. INITIATIVES DU GOUVERNEMENT DU CANADA

Un décret en conseil (C.P. 2018-1352, annoncé en mai 2019; Canada, 2019) et une note explicative (Canada Gazette, 2019) décrivent les effets potentiels et prévus du projet TMX. Le décret présentait les mesures suggérées et les recommandations de la REC au gouvernement du Canada pour atténuer et compenser ces effets, y compris le bruit sous-marin supplémentaire résultant des navires liés au projet (recommandations 5 et 6). Le financement du Plan de protection des océans (PPO) et de l'Initiative de protection des baleines (IPB) a contribué à certains de ces efforts. Des études sur l'efficacité des efforts continus visant à réduire les effets cumulatifs et à plus que compenser les répercussions du trafic lié au projet, y compris le bruit des navires, ont été proposées. On a recommandé la participation des ministères aux programmes visant à lutter contre les émissions, le bruit et les perturbations causés par le transport maritime lié au projet dans l'habitat essentiel de l'ERS, ainsi que l'augmentation des mesures de sécurité et de sûreté maritimes, y compris la préparation en cas de déversement d'hydrocarbures.

Plusieurs mesures de conservation ont été mises en œuvre, y compris l'essai de mesures volontaires pour les grands navires commerciaux dans la mer des Salish. Le ralentissement volontaire sur le banc Swiftsure, dans le détroit de Haro et le passage Boundary, ainsi que le déplacement latéral des remorqueurs loin du littoral canadien ont été supervisés par le programme ECHO (Enhancing Cetacean Habitat and Observation). L'Administration portuaire de Vancouver Fraser a lancé ce programme en 2014 pour mieux comprendre et réduire les effets du transport maritime, reconnaissant que l'activité des navires dans la région est à la hausse et qu'elle pourrait avoir une incidence sur les espèces de baleines en péril. Les mesures ont été mises à l'essai pour la première fois en 2017, avant le PPO et l'IPB du gouvernement du Canada, les mesures volontaires ayant été promulguées dans le cadre d'un accord de conservation non contraignant avec le gouvernement du Canada en 2019, et renouvelées de

nouveau en 2024 pour une période supplémentaire de cinq ans (article 11, LEP). Cet accord engageait les parties à travailler ensemble pour réduire de façon quantifiable les menaces, comme le bruit sous-marin, que représentent les navires commerciaux sur l'ERS. Pour ce faire, il faudrait continuer de participer à des programmes tels que le programme ECHO dirigé par l'Administration portuaire. Il n'y a pas eu de mention précise du projet TMX ou du projet de compensation des ajouts de bruit dans [l'accord](#). Les sites et les vitesses maximales sélectionnés pour les essais ont été choisis par l'entremise de groupes de travail consultatifs, de comités et des intervenants, et se sont élargis depuis la première mise en œuvre. L'essai initial de ralentissement s'est déroulé dans le détroit de Haro (figure 1), et des sections du passage Boundary ont été ajoutées en 2019. En 2020, des demandes de ralentissement ont été présentées sur le banc Swiftsure pour le trafic sortant et, à partir de 2022, la demande de réduction de la vitesse a été étendue au trafic entrant et sortant. L'efficacité des mesures et les niveaux de participation sont mesurés chaque année (voir Vagle et Neves, 2019; Vagle, 2020; Burnham *et al.*, 2021a; Burnham et Vagle, 2023b; [rapports annuels](#) sur le programme ECHO). Des enregistrements *in situ* comparant les périodes d'essai aux périodes de contrôle montrent que les mesures ont permis de réduire le bruit des navires. En particulier, on a constaté que les mesures de ralentissement dans les eaux intérieures de la mer des Salish réduisaient les niveaux sonores (voir Burnham *et al.*, 2021a; Burnham et Vagle, 2023b). Le déplacement latéral a réduit les émissions par passage de navire (Vagle et Neves, 2019; Vagle, 2020; Burnham *et al.*, 2021a; Burnham et Vagle, 2023b), et pourrait également avoir réduit le risque de collision avec les navires.

De plus, les [mesures réglementaires mises en œuvre par le gouvernement du Canada](#) comprennent une augmentation de la distance d'approche minimale pour tous les navires, y compris les navires d'observation des baleines et les navires de plaisance, des zones de sanctuaire provisoire (ZSP), qui excluent le passage de tous les navires dans les aires d'alimentation de l'ERS, et des régions de ralentissement saisonnier sur le banc Swiftsure, qui cible le trafic des navires de pêche et des navires de plaisance. Des fermetures de pêche ont également été mises en place pour accroître les stocks de proies et réduire le bruit des navires dans les zones d'alimentation (voir Burnham et Moore, 2023). Le gouvernement du Canada s'est engagé à surveiller l'efficacité des mesures en place et à élaborer, mettre en œuvre et gérer de façon adaptative les mesures à mesure que de nouveaux renseignements deviennent disponibles (Canada Gazette, 2019).

Afin de répondre à la recommandation 5 et de respecter un engagement visant à faire plus que d'atténuer l'impact acoustique des navires liés au TMX, le gouvernement du Canada a évalué le concept de compensation pour obtenir une augmentation nulle du bruit sous-marin.

L'augmentation du nombre de navires liés au TMX devrait entraîner une hausse des niveaux sonores ambiants dans la mer des Salish; toutefois, on espère que les réductions découlant des mesures de compensation contrebalanceront ces hausses. Pour que l'approche soit appliquée avec succès, il faut d'abord caractériser les ajouts dans le cadre du projet TMX, puis déterminer comment les mesures d'atténuation liées au projet pourraient réduire ces répercussions. Les ajouts de bruit restants seraient ensuite ciblés par des mesures de compensation. À ce jour, les travaux se sont concentrés sur le bruit sous-marin et les répercussions possibles sur l'ERS. Le gouvernement a élaboré, mis en œuvre et géré de façon adaptative plusieurs composantes du programme de compensation.

3.4. RÉSULTATS DE L'ATELIER

Dans le cadre d'un atelier sur la compensation de bruit sous-marin en décembre 2021, des experts en la matière de Pêches et Océans Canada se sont réunis pour examiner les mérites et les limites d'un programme de compensation du bruit. C'était la première fois qu'on envisageait

l'utilisation d'une approche quantitative fondée sur le crédit pour compenser les répercussions du bruit causé par les navires qui devraient découler de l'augmentation du trafic dans la mer des Salish lorsque le projet TMX deviendra opérationnel. En outre, on a demandé à des pairs externes de formuler des commentaires sur certains aspects des travaux. Ceux-ci ont été intégrés au cadre de compensation présenté à l'examen du SCCS.

Les experts en la matière ont convenu que les crédits pourraient, en théorie, être utilisés pour gérer les répercussions du bruit sous-marin sur la communication et l'écholocalisation de l'ERS, ainsi que le masquage potentiel de ces signaux. Les mesures sélectionnées doivent tenir compte de cet aspect ou en être une approximation; toutefois, il n'y a pas eu de consensus sur les fréquences ou les mesures envisagées sur lesquelles les crédits seraient fondés. Les experts ont examiné des ouvrages publiés précédemment pour définir les plages de fréquence de communication et d'écholocalisation (voir Heise *et al.*, 2017; suite à l'atelier : Thornton *et al.*, 2022b; Burnham *et al.*, 2023; Burnham et Vagle, 2023a). Ils ont proposé qu'une seule mesure agrégée puisse être appropriée, tout en essayant d'aborder les compensations au moyen d'une approche propre à l'espèce. Les experts ont reconnu que cette mesure devrait mettre l'accent sur les répercussions liées au bruit et qu'elle pourrait ne pas être appropriée pour comprendre les répercussions comportementales ou physiologiques des changements des niveaux sonores. Les répercussions sur la communication et l'écholocalisation seraient évaluées comme étant tout aussi importantes pour les baleines. Il a été jugé préférable de ne pas inclure dans le calcul des crédits la pondération des variations du niveau sonore en fonction de la fréquence, basée sur des estimations expérimentales de la sensibilité auditive de l'ERS, car elle risque de sousestimer les répercussions du bruit des navires dans les fréquences élevées. Des mesures telles que le niveau de pression acoustique (NPA), le niveau d'exposition au bruit (NEB) et le NEB cumulatif ont été jugées appropriées lorsqu'elles sont calculées sur un mois comme l'échelle de temps minimale pour les fréquences ou les gammes de fréquence d'intérêt. Il a été convenu que la période de mai à octobre serait le point de départ, lorsque la présence de l'ERS dans la mer des Salish est la plus importante. Les variations saisonnières et annuelles pourraient être prises en compte dans les prochaines itérations du cadre. On a jugé qu'il valait mieux envisager des changements des niveaux sonores ambiants en utilisant les niveaux de dépassement L_{90} ou L_{95} , les paramètres devant être utilisés pour tenir compte à la fois de la nature transitoire des navires qui passent et des ajouts plus constants des navires dans les voies de navigation. Les indicateurs des répercussions physiologiques ou des réponses comportementales ont été jugés trop variables et trop incertains dans leur interprétation pour être inclus (voir par exemple Wright *et al.*, 2007; Gomez *et al.*, 2016).

On pensait que l'incertitude quant à l'application du système de crédit serait atténuée par la sous-division de la zone d'étude. Il a été convenu que les sous-régions à utiliser pour l'attribution et le transfert des crédits devaient être basées sur la connaissance du paysage sonore ambiant, en s'appuyant sur l'analyse passée des enregistrements acoustiques et des propriétés connues de transmission du son de la mer de Salish (précédemment décrites dans Burnham *et al.*, 2021b). La détermination des crédits en fonction de la résolution du modèle de bruit des navires (à l'échelle de centaines de mètres) n'a pas été jugée appropriée, et des calculs à plus grande échelle ont été considérés comme préférables pour tenir compte des déplacements de l'ERS dans la zone d'étude. Selon les experts en la matière, l'attribution et le transfert de crédits devraient se faire à des échelles spatiales et temporelles pertinentes sur le plan biologique pour l'ERS, mais les détails de l'échange de crédits n'ont pas été abordés.

Les experts ont proposé l'utilisation de facteurs de pondération pour transmettre de l'information sur l'importance de l'habitat dans le cadre des calculs de compensation, en tenant compte de variables telles que la suivante : l'utilisation préférentielle de l'habitat par l'ERS est déterminée à partir de la fréquence des occurrences observées ou uniquement d'une mesure de présence et

d'absence, de même que les variations des niveaux sonores naturels. L'utilisation comportementale dominante de l'habitat (p. ex. alimentation ou déplacement) d'une sous-région a fait l'objet d'une discussion comme option, mais les experts en la matière ont écarté cette option comme modification du calcul du crédit en raison de l'incertitude et de la nature générale de la classification.

Suite à l'atelier, et à la demande du PPPHP, l'évaluation de la compensation devait porter sur les mois de mai à octobre, lorsque les ERS sont le plus présents dans la mer des Salish, et elle devait tenir compte :

- des changements par rapport à la référence en utilisant la médiane ou la moyenne algorithmique (L_{eq});
- des changements de bruit ambiant en utilisant le niveau de dépassement L_{99} ;
- des implications pour l'acoustique de l'ERS utilisant les fréquences publiées précédemment pour les appels de communication et l'écholocalisation;
- des changements des niveaux sonores dans la colonne d'eau supérieure seulement, en intégrant les résultats du modèle jusqu'à 25 m;
- le calcul et l'échange de crédits entre sous-régions.

3.5. BESOINS EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les calculs et l'échange de crédits compensatoires devraient être fondés sur des observations sur le terrain et, au besoin, sur des résultats modélisés. Les deux offrent leur propre contribution à certains aspects de l'approche et apportent des considérations sur la façon dont les données peuvent être appliquées. Dans l'examen de l'approche de compensation, où chaque type de données pouvait être ajouté au calcul de compensation, on a tenu compte des exigences minimales en matière de données (voir la figure 4).

Pour le scénario d'essai, l'étendue spatiale de l'analyse a été délimitée par les coordonnées 49,0 °N., 125,5 °O. dans le nord-ouest, 49,0 °N., 123,0 °O. dans le nord-est, 48,0 °N., 125,5 °O. dans le sud-ouest et 48,0 °N., 123,0 °O. dans le sud-est (figure 1). Cette zone englobait des régions d'utilisation connue par l'ERS dans les eaux entourant le banc Swiftsure et dans la mer des Salish (Olson *et al.*, 2018, DFO, 2021). Elle couvrait l'habitat essentiel de l'ERS dans le détroit de Juan de Fuca, le détroit de Haro et le passage Boundary, le sud des îles Gulf et la partie sud du détroit de Georgia. La zone s'étendait également vers l'ouest jusqu'au banc Swiftsure et au banc de La Perouse, ainsi que les canyons environnants et les caractéristiques bathymétriques qui pourraient définir les zones d'alimentation (figure 1). Tous les calculs de crédit et toutes les analyses de compensation ont été limités aux mois de mai à octobre; cette période représente le moment où les ERS sont le plus présents dans la mer des Salish, et celui où la plupart des données sont disponibles sur leur présence, leurs déplacements et leurs comportements.

3.5.1. Données sur l'espèce focale

Le premier aspect à examiner lors d'une évaluation d'impact est la présence de l'espèce focale. On a besoin de données sur la présence de cette espèce, le temps qu'elle passe dans la zone d'étude et son utilisation de l'habitat pour comprendre le niveau et la durée de son exposition. On peut obtenir des données sur la présence de l'espèce au moyen de relevés ciblés ou du regroupement d'observations fortuites. L'échantillonnage systématique peut prendre la forme de relevés aériens ou par bateau qui sont corrigés en fonction de l'effort et des conditions d'observation. Outre l'emplacement, on peut recueillir des données sur le nombre de baleines et

leur comportement, ainsi que sur la durée de séjour et le taux de retour déduit si une étude de marquage-recapture est effectuée, par exemple par des méthodes de photo-identification. On peut également se fonder sur des enregistrements acoustiques passifs, en considérant que les appels indiquent la présence physique de baleines, ce qui donne une idée de la présence minimale de l'espèce focale à l'intérieur de la portée de détection au fil du temps. Dans ce cas, on peut déduire le contexte comportemental de la présence en se basant sur la durée des épisodes ou de la période d'appel enregistrés ainsi que sur des indices liés au type d'appel. On peut ensuite utiliser les statistiques probabilistes, les surfaces de densité prévues ou des modèles de déplacement des animaux pour généraliser les résultats de relevés linéaires ou ponctuels à la zone d'étude et indiquer la probabilité que des baleines soient présentes dans chaque région ainsi que la manière dont l'habitat pourrait être utilisé (Hammond *et al.*, 2021). Si les données sur la présence des baleines proviennent d'observations visuelles, elles sont alors généralement limitées aux heures de clarté et aux périodes où la visibilité permet une détection précise des individus. Les méthodes acoustiques passives peuvent prolonger la période de relevé, mais leur couverture spatiale est généralement moins étendue, et il peut être difficile de déterminer avec certitude le lieu ou le nombre de baleines, surtout si l'on n'utilise qu'un seul hydrophone. En recourant à ces deux types de méthode, on peut combler quelques-unes de ces lacunes, mais il importe de reconnaître les limites et les contraintes associées à l'ampleur de la généralisation que l'on peut faire de ces données dans le temps ou dans l'espace.

La prise en compte des renseignements connus sur l'utilisation de l'habitat au fil du temps par les animaux présents, y compris le contexte comportemental, le temps passé dans la zone et la répartition selon l'âge et le genre, peut aider à déterminer les caractéristiques distinctives de la zone et les éléments qui pourraient inciter les animaux à l'utiliser. En ce qui concerne l'approche de compensation, ces renseignements aident à déterminer les régions dont l'habitat pourrait être utilisé de manière équivalente ainsi que celles qui pourraient servir à l'échange de crédits. Des données de haute résolution, que ce soit dans le temps ou l'espace, sur les comportements notés peuvent fournir des renseignements détaillés sur la présence et les déplacements des baleines dans une zone. Cependant, en adoptant une perspective plus large, par exemple en distinguant les zones d'alimentation des autres zones ou en déterminant les zones d'alimentation courantes ou souvent fréquentées sur une période de six mois, comme nous l'avons fait dans le cas d'essai, on obtient un plus grand nombre de zones considérées comme semblables sur le plan de leur importance pour l'espèce focale. Il importe de déterminer l'utilisation de l'habitat et l'équivalence d'utilisation, c'est-à-dire les cas où les mêmes individus pourraient utiliser différentes zones aux mêmes fins, en même temps et pour la même période, afin d'attribuer des facteurs de pondération exprimant potentiellement l'importance de l'habitat ou son caractère unique. Cette démarche oriente l'échange de crédits entre des régions similaires.

Lorsque de multiples espèces sont présentes, plusieurs approches peuvent être suivies. On peut choisir une espèce prioritaire, comme nous l'avons fait pour le cas d'essai, afin de représenter les espèces considérées comme les plus menacées. Sinon, on peut utiliser comme indicateur l'espèce qui représente le mieux les autres espèces. On peut également exprimer la présence et l'utilisation de l'habitat à l'aide d'un paramètre lié à la diversité des espèces, combiné à un moyen de tenir compte de la variabilité dans le temps et dans l'espace.

3.5.1.1. ERS dans la mer des Salish

L'ERS a été reconnu comme un écotype distinct et inscrit à la LEP comme une espèce en voie de disparition en 2003 (L.C. 2002, ch. 29), en raison des faibles effectifs de la population, qui ont fluctué au cours des quarante dernières années. La population a atteint un sommet de 98 individus en 1995, qui a été suivi d'un déclin. Elle compte aujourd'hui 74 individus (en date de janvier 2024, CWR, 2024). Le programme de rétablissement de l'ERS a été publié en 2008

et a fait l'objet de plusieurs modifications depuis (DFO, 2017a, b, 2018). La version la plus récente énumère quatre principales menaces à la survie et au rétablissement de la population : la disponibilité réduite des proies, la contamination par les polluants organiques persistants, la perturbation acoustique, en particulier par les navires, et le risque de collision avec les navires (DFO, 2017a, b, 2018, 2021; Raverty *et al.*, 2019).

Il est généralement considéré que le répertoire acoustique de l'ERS se divise en deux grandes catégories, soit les appels de communication et les « clics » d'écholocalisation. Les appels de communication comprennent les sifflements et les appels en rafales d'impulsions et ont typiquement une fréquence comprise entre 500 Hz et 15 kHz (Heise *et al.*, 2017). Les sifflements (2 à 17 kHz, Ford, 1989) et les appels en rafale (1 à 15 kHz, Riesch *et al.*, 2006) comprennent des éléments de fréquence inférieure (Miller et Bain, 2000), tandis que l'écholocalisation se fonde sur des signaux de fréquence haute à ultrasonique, généralement comprise entre 15 kHz et 100 kHz (Heise *et al.*, 2017). Ces signaux permettent à la baleine de recevoir de l'information sur son environnement d'après leur écho. Selon les descriptions, ils sont bimodaux (Au *et al.*, 2004) et comportent un pic inférieur à 20 à 30 kHz et un pic supérieur à 40 à 60 kHz. Le masquage acoustique résultant de la création de bruits anthropiques dans le paysage sonore peut causer de l'interférence avec ces appels et réduire leur efficacité (voir Holt *et al.*, 2009, 2011). On craint que l'augmentation des volumes de circulation à destination et en provenance des ports de la mer des Salish élève les niveaux sonores et entraîne une hausse du stress et des perturbations acoustiques pour l'ERS, cette zone présentant les niveaux de bruit ambiant les plus élevés le long de la côte de la Colombie-Britannique (Erbe *et al.*, 2012).

Les eaux productives de la mer des Salish comprennent des zones d'alimentation de plusieurs espèces de mammifères marins, dont l'ERS. Pour les besoins du cas d'essai, nous avons estimé la présence de l'ERS et l'importance de son utilisation de l'habitat à l'aide de 12 années de données sur la rencontre d'individus provenant de relevés ciblés (Noren *et al.*, 2009; Holt *et al.*, 2013; Olson *et al.*, 2018; Thornton *et al.*, 2022a) et de signalements d'exploitants de navires d'observation des baleines. Thornton *et al.* (2022a) ont examiné les données acoustiques et d'observation recueillies pendant l'été, soit de mai à octobre, pour déterminer les zones où les ERS étaient les plus abondants durant cette période. Ils ont regroupé les données de localisation horodatées et supprimé les doublons, ou les observations répétées du même groupe de baleines, au cours du post-traitement (voir Thornton *et al.*, 2022a). Les observations considérées comme des doublons étaient celles faites à moins d'une heure ou de deux milles marins (NM) (3,7 km) l'une de l'autre. Les données d'observation ont été corrigées en fonction des efforts par la superposition d'une grille des efforts sur la zone d'étude, et l'effort de relevé dans chaque maille a été exprimé comme une proportion de l'effort total. Pour permettre l'interpolation, c'est-à-dire la création d'une couche de la fréquence d'occurrence prévue couvrant l'ensemble de la zone d'étude et comportant des valeurs entre les points d'observation, un modèle spatiotemporel fondé sur le nombre d'observations d'ERS par unité d'effort de recherche dans chaque zone unitaire a été appliqué (voir Watson *et al.*, 2021). Le résultat a ensuite été exprimé comme l'intensité d'occurrence prévue à un niveau de confiance de 70 %, ce qui indique les régions les plus fréquentées par l'ERS (figure 5). Une résolution de sortie de 885 m² a été utilisée.

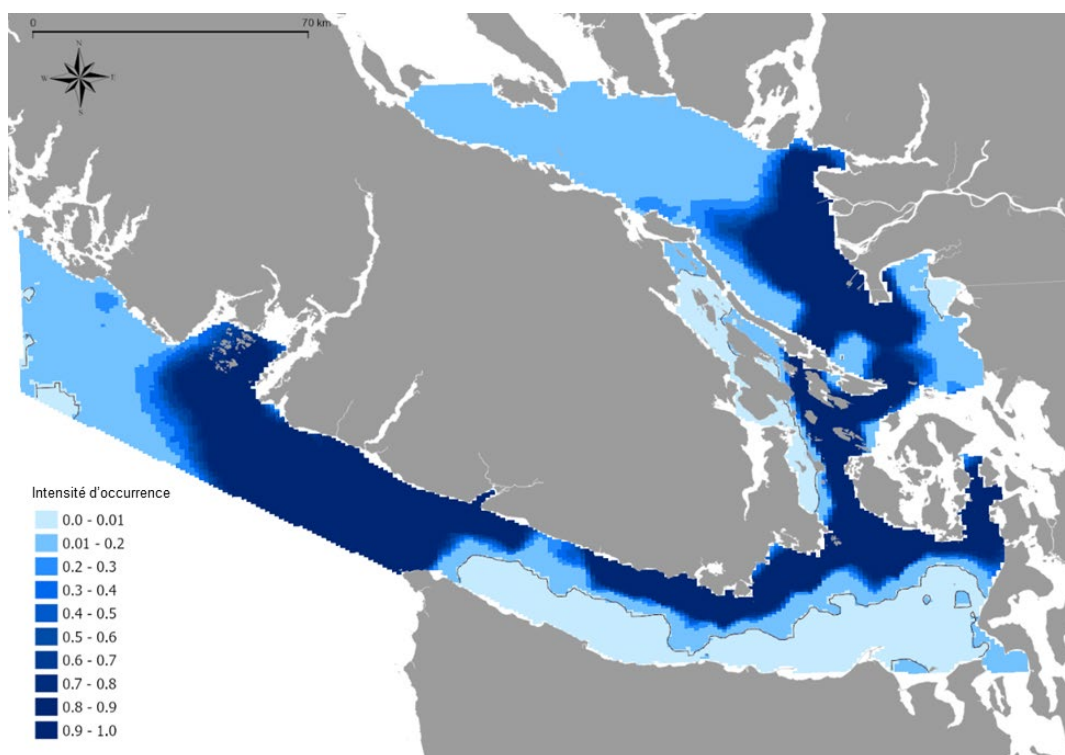


Figure 5. L'occurrence spatiale cumulée de l'ERS de mai à octobre montre la préférence en matière d'habitat de l'espèce dans son habitat essentiel. La probabilité d'occurrence de l'ERS est indiquée par l'échelle de tons bleus. Les zones en blanc sont à l'extérieur de la portée géographique du modèle. Figure adaptée de données de Thornton *et al.* (2022a).

Nous avons également regroupé les données sur le comportement provenant de relevés pour déterminer l'utilisation prédominante de l'habitat, en mettant l'accent sur les zones du banc Swiftsure et du détroit de Haro (voir la figure 1). Ces données avaient été recueillies au cours d'observations faites à partir de navires selon un protocole de relevé visant le suivi du comportement d'un individu ou de groupes. Les catégories d'état comportemental, soit l'alimentation, le déplacement, la socialisation et le repos, étaient notées toutes les dix minutes au moyen d'un échantillonnage par balayage instantané (Noren *et al.*, 2009; Holt *et al.*, 2013; Thornton *et al.*, 2022a). L'analyse a révélé une forte corrélation spatiale entre les comportements de déplacement et d'alimentation, et ces comportements ont formé la variable de réponse binaire du modèle, ce qui a réduit l'éthogramme à un comportement d'alimentation ou à un comportement autre à chaque endroit donné. Pour extrapoler les données d'observation aux régions du banc Swiftsure et du détroit de Haro, nous avons choisi d'estimer la probabilité d'un comportement d'alimentation à un endroit donné à l'aide d'approximations de Laplace intégrées et imbriquées, une approche d'inférence bayésienne (voir Stredulinsky *et al.*, 2023, figures 6 et 7). Nous avons ainsi pu qualifier les régions d'alimentation de courantes (probabilité de plus de 25 %, figure 6) ou de fréquentes (probabilité de plus de 50 %, figure 7). La projection produite par ce modèle avait une résolution de 200 m² (Stredulinsky *et al.*, 2023) et se limitait aux zones du banc Swiftsure et du détroit de Haro (figures 5 et 6), lesquelles étaient déjà connues pour la présence accrue des ERS et leur utilisation à des fins d'alimentation (Olson *et al.*, 2018; Hanson *et al.*, 2010, 2021; Thornton *et al.*, 2022a).

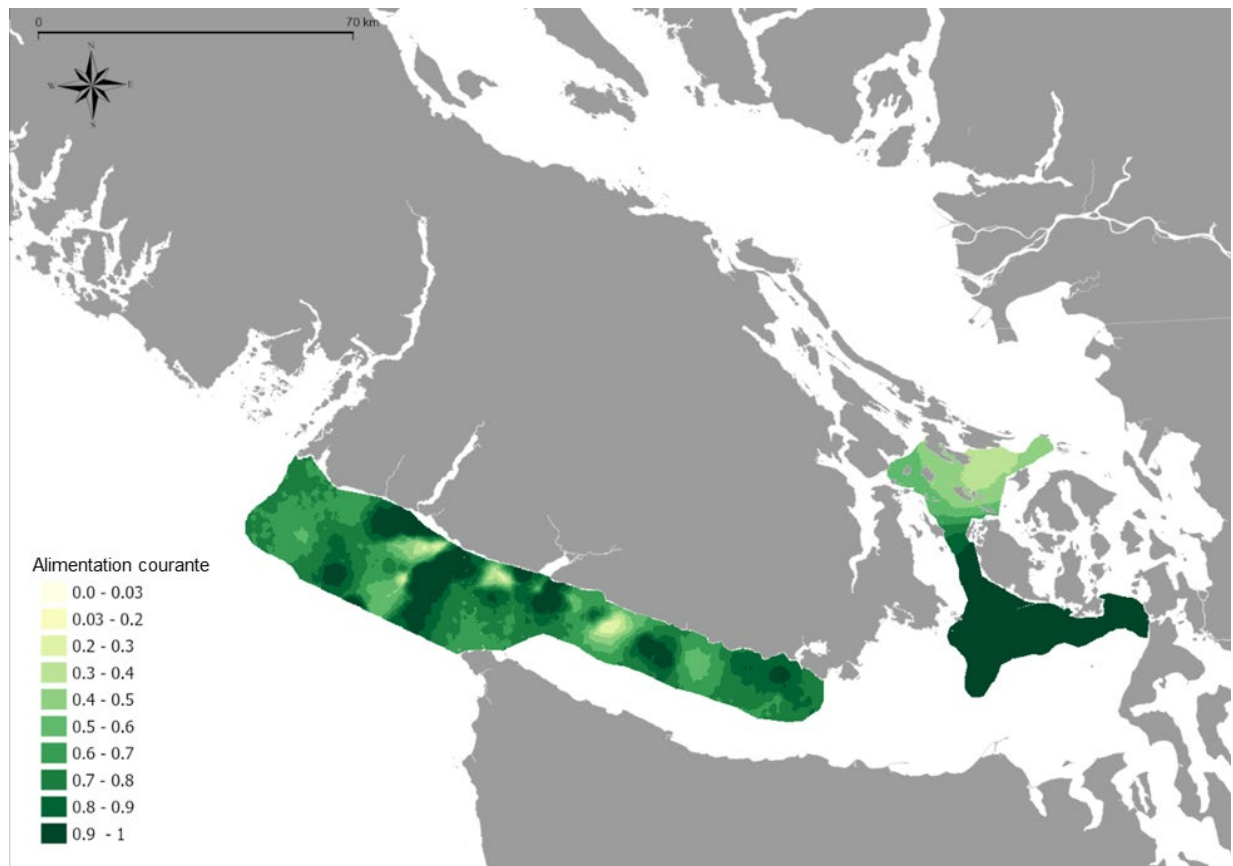


Figure 6. Zones d'alimentation courantes (ZAC) de l'ERS déterminées à partir d'observations visuelles et de la classification des comportements (voir Stredulinsky et al., 2023). Les ZAC sont prédites par les modèles spatiotemporels les mieux classés pour les régions du banc Swiftsure et du détroit de Haro. La probabilité qu'une zone soit une ZAC (valeur de dépassement de 0,25) est indiquée par l'échelle de tons verts. Les zones en blanc sont à l'extérieur de la portée géographique du modèle. Figure adaptée de Stredulinsky et al. (2023).

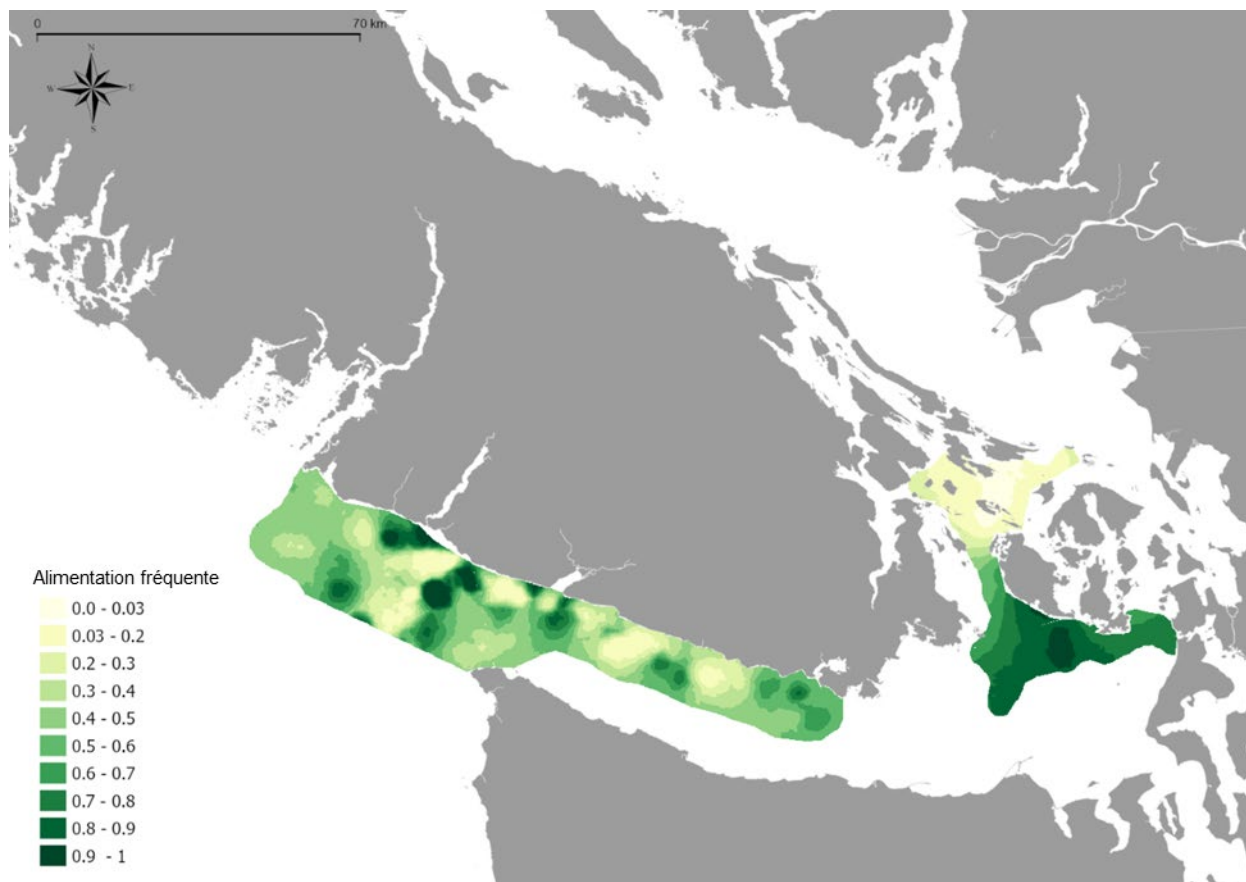


Figure 7. Zones d'alimentation fréquentes (ZAF) de l'ERS déterminées à partir d'observations visuelles et de la classification des comportements (voir Stredulinsky et al., 2023). Les ZAF sont prédites par les modèles spatiotemporels les mieux classés pour les régions du banc Swiftsure et du détroit de Haro. La probabilité qu'une zone soit une ZAF (valeur de dépassement de 0,5) est indiquée par l'échelle de tons verts. Les zones en blanc sont à l'extérieur de la portée géographique du modèle. Figure adaptée de Stredulinsky et al. (2023).

3.5.2. Surveillance acoustique passive

Les enregistrements acoustiques passifs faits dans la zone d'étude ont été déterminants pour plusieurs aspects du calcul des crédits. Les mesures *in situ* du paysage sonore peuvent aider à établir une base de référence réaliste du niveau sonore ambiant, à partir de laquelle on peut évaluer les effets liés aux projets et les changements associés aux mesures d'atténuation. Ces enregistrements pourraient également aider à comprendre les sources de bruit et la variabilité de leur présence, et donc leur contribution au paysage sonore global en fonction du temps et de l'espace. Ils pourraient aussi permettre d'améliorer la connaissance de l'utilisation de l'habitat par l'espèce, si on les analyse afin d'y détecter les appels de baleines. En particulier, on peut s'en servir pour valider et peaufiner les modèles de bruit des navires utilisés pour prévoir les niveaux sonores dans différents scénarios de la présence et de la densité des navires.

Le choix des lieux de déploiement est important, car les enregistrements deviennent des points de référence pour l'approche de compensation. Ainsi, pour choisir les sites d'amarrage des dispositifs de surveillance acoustique passive, il faut tenir compte des activités du projet et de l'utilisation de l'habitat par l'espèce focale. On peut déployer les hydrophones en réseau, méthode où chaque appareil indépendant participe à la surveillance acoustique de la zone d'intérêt, ou en antenne, ce qui peut permettre de localiser une source sonore. Pour favoriser

une caractérisation optimale du paysage sonore, le placement des enregistreurs devrait tenir compte des différents contextes topographiques présents (p. ex. eaux côtières, baies, passages, haute mer); des propriétés de l'eau, en particulier s'il y a un apport important d'eau douce; de la présence et de la densité des navires, y compris le type de navires le plus fréquent (navires commerciaux ou de plaisance); et la proximité avec des ports ou des voies de navigation susceptibles d'être le siège de bruit lié au projet. La compréhension du paysage sonore antérieur au projet, y compris les tendances liées aux sources de bruit naturelles et anthropiques ainsi que leurs contributions et leur variabilité dans l'espace et le temps, aide à améliorer l'estimation des ajouts de bruit dus au projet. Bien que des enregistrements *in situ* ne soient pas nécessaires à l'estimation des crédits dans la zone d'étude si l'on utilise un modèle de propagation du bruit, ils peuvent servir à établir la base de référence acoustique, laquelle permet de comprendre les effets liés au projet et de surveiller l'efficacité des mesures visant à réduire les ajouts de bruit. De plus, on peut les employer pour définir les sous-régions du site d'étude ou pour affiner les facteurs de pondération si les niveaux sonores servent de variable représentant la qualité de l'habitat, ou si l'on sait que l'espèce focale utilise une zone donnée parce que certains aspects de son paysage sonore offrent un repos contre le bruit ou un mécanisme acoustique contre la prédation (p. ex., Szabo et Duffus, 2008; Burnham et Duffus, 2020). Si l'on utilise un modèle, on doit en valider les extrants à l'aide d'enregistrements. Ceux-ci peuvent confirmer les changements des niveaux sonores observés lors de la modélisation de différents scénarios, pour les paramètres correspondants (endroit, moment, conditions et présence de navires).

Aux fins du cas d'essai, nous avons utilisé des enregistrements effectués à divers endroits de la mer des Salish qui remontaient au début de l'année 2018. Six points d'amarrage ont d'abord été déployés, au banc Swiftsure, à Port Renfrew, dans la rivière Jordan, au banc de Sooke, dans le détroit de Haro et dans le passage Boundary. Un enregistreur a par la suite été déployé dans le chenal Swanson à l'été 2019, et deux enregistreurs dans le détroit de Georgia à l'été 2020 (figure 1). Les emplacements de ces enregistreurs avaient été choisis de manière à représenter les zones couramment utilisées par l'ERS, ainsi qu'un éventail de conditions topographiques et sonores, de propriétés de l'eau et de distances par rapport aux itinéraires de navires (figure 1). Ces enregistreurs étaient des enregistreurs acoustiques multicanaux autonomes (AMAR, G4) munis d'hydrophones M36-100 de GeoSpectrum Technologies. Ils étaient montés sur de petits systèmes d'amarrage silencieux fabriqués par Oceanetic Measurement Ltd., qui ont permis de positionner les hydrophones à environ 2 m du plancher océanique. L'échantillonnage a été réalisé à une fréquence de 256 kHz et à une résolution de 24 bits, et les données ont été stockées sur des cartes mémoire SD internes sous forme de fichiers WAV. Les enregistrements ont été faits en continu, et la collecte de données n'a été interrompue pour de courtes durées que lors de l'entretien des points d'amarrage, environ tous les trois à quatre mois. Après la récupération des données, les fichiers WAV ont été post-traités à l'aide de scripts Python personnalisés, modifiés par rapport à ceux utilisés par Merchant *et al.* (2015), de manière à produire une densité spectrale de puissance d'une minute dans des bandes de fréquence de 1 Hz au moyen d'une fenêtre de Hanning de une seconde, avec superposition de 50 % et application de la moyenne de Welch.

Les données recueillies sur le paysage sonore ont permis d'analyser les niveaux sonores aux fréquences ou plages de fréquences d'intérêt minute par minute. De plus, la répartition de l'énergie sonore a été examinée au moyen des courbes de densité spectrale de puissance (DSP). Enfin, les moyennes des données ont été calculées pour obtenir des mesures sur 30 minutes comparables à celles du modèle du bruit des navires, et agrégées sur des échelles horaire, quotidienne, mensuelle, saisonnière et annuelle pour faciliter la recherche de tendances dans le paysage sonore et les sources sonores dominantes autour des six amarres

laissées en place le plus longtemps, dans le cadre du processus de validation du modèle (voir aussi Burnham *et al.*, 2021b).

3.5.3. Modélisation de la propagation sous-marine du bruit des navires

Les modèles de propagation sous-marine du bruit des navires sont utiles pour estimer les niveaux de bruit dus à la présence de navires à tout moment et à tout lieu dans la zone d'étude, y compris à différentes profondeurs de la colonne d'eau. Leurs résultats peuvent aider à estimer les niveaux de bruit auxquels les mammifères marins sont susceptibles d'être exposés lorsqu'ils plongent et se livrent à différents comportements, contrairement aux enregistrements produits aux points d'amarrage *in situ*, qui se limitent à une seule profondeur. Par ailleurs, l'utilisation de modèles permet d'interpoler les données entre les lieux d'enregistrement de manière à créer des couches de paysage sonore fondées sur des données réelles ou de synthèse sur la présence et le suivi des navires. Elle permet aussi de tenir compte des effets acoustiques de l'activité éloignée, mais récurrente, des navires qui se propagent dans la zone d'intérêt. En outre, elle permet d'examiner les variations temporelles des niveaux sonores, par exemple en fournissant des prévisions fondées sur des scénarios futurs et les projets proposés, comme pour le cas d'essai, ou des prévisions rétrospectives servant à estimer les niveaux ambiants historiques ou antérieurs aux perturbations. En utilisant des scénarios, on peut aussi modifier les données sur les navires pour évaluer l'efficacité potentielle des mesures de conservation avant leur mise en œuvre.

Avant d'appliquer les extraits de modèles aux calculs des crédits, il faut établir la confiance qu'on peut leur accorder. Il faut tester leur validité et leur capacité à représenter les niveaux sonores déterminés à partir d'enregistrements *in situ* pris au même endroit, au même moment et aux mêmes fréquences. Le modèle du bruit des navires utilisé pour le cas d'essai dans la mer des Salish a été adapté d'un modèle acoustique dépendant de la distance élaboré par Aulanier *et al.* (2017). Dans la mer des Salish, le modèle s'étendait sur l'empreinte du projet et l'habitat essentiel désigné de l'ERS ainsi que sur des zones connues pour être utilisées par l'ERS (voir la figure 1). Son domaine couvrait les eaux de la mer des Salish et du banc Swiftsure jusqu'à la limite des eaux territoriales de 12 miles marins, englobant l'habitat essentiel de l'ERS (figure 1). Le modèle appliquait la méthode des approximations de Padé pour résoudre l'équation parabolique dépendant de la distance établie pour la propagation du son sur un plan vertical dans un système de coordonnées cylindriques. À l'horizontale et dans la colonne d'eau, il utilisait une grille à haute résolution. La direction horizontale était divisée en 120 plans verticaux, également répartis de manière à fournir une couverture complète de 360 degrés autour de chaque navire. Le modèle estimait les niveaux reçus dans la zone d'étude en se fondant sur des données du système d'identification automatique (SIA), les niveaux de source des navires et des propriétés théoriques de la propagation acoustiques. Il a été appliqué à un cadre probabiliste dans l'optique de comprendre la variation des niveaux sonores entre différents scénarios. Il a fourni une estimation des niveaux de bruit reçus toutes les 30 minutes sur une grille de 440 m sur 500 m et un maximum de 20 niveaux verticaux à partir d'une profondeur de 0,5 m jusqu'au plancher océanique ou une profondeur maximale de 500 m. Trois profondeurs ont été systématiquement comparées durant l'analyse : 7,5 m, qui représentait une profondeur de nage typique de l'ERS dans la partie supérieure de la colonne d'eau, mais était inférieure à la profondeur typique de la source associée aux navires commerciaux; 50 m, une profondeur du milieu de la colonne d'eau où se trouvent généralement les proies salmonidées; et 100 m, une profondeur maximale répétable de la plongée à des fins d'alimentation (Baird *et al.*, 2005; Wright *et al.*, 2017; Tennessen *et al.*, 2019a, b). Le choix de ces profondeurs est cohérent avec les analyses d'autres études qui portent sur l'impact acoustique des navires commerciaux sur l'ERS (voir Thornton *et al.*, 2022b; Burnham *et al.*, 2023).

Les extrants du modèle aident à calculer les effets liés au projet et les crédits compensatoires, car on peut quantifier les changements prévus des niveaux sonores qui découlent des mesures d'atténuation ou de compensation, ou de divers scénarios d'augmentation du trafic maritime et du bruit connexe, par rapport à un niveau de référence (voir la section 3.5).

3.5.3.1. Intrants du modèle

Les intrants du modèle peuvent être des données réelles ou de synthèse. Les niveaux sonores sont estimés à partir des données sur le nombre et l'emplacement des sources, en l'occurrence les navires, ainsi que de données sur les conditions environnementales et les propriétés de l'eau, qui permettent de préciser les voies de propagation. Ces dernières données peuvent comprendre la bathymétrie; les profils sédimentaires et les propriétés géoacoustiques; les profils de vitesse du son établis en fonction des données de salinité, de conductivité, température et profondeur; et des coefficients d'absorption de l'eau en fonction de la fréquence.

Les intrants du modèle du bruit des navires dans la mer des Salish comprenaient des données du SIA, qui ont servi à déterminer la présence et le mouvement des navires dans le domaine du modèle (figure 1), ainsi que le nombre de navires par type, lequel détermine le niveau et la fréquence des émissions sonores à la source (tableau 1). Ils comprenaient également des variables caractérisant la vitesse du son et les voies de propagation (tableau 1). Les hypothèses formulées pour l'utilisation de chaque intrant et la sensibilité relative des extrants du modèle à chaque variable sont décrites de manière qualitative dans le tableau 1; une analyse quantitative de la sensibilité est en cours.

Tableau 1. Liste des intrants du modèle de bruit des navires et de l'extrapolation, des sources de données, des hypothèses encadrant l'application des données et de la sensibilité du modèle à chaque intrant.

Intrant du modèle	Données d'entrée	Source	Hypothèse	Sensibilité du modèle
Bathymétrie	15 s arc, résolution de 300 m	Service hydrographique du Canada, 2020	Interpolation à la grille du modèle	Faible
Données sur les sédiments	Type de sédiments, sur une résolution de 300 m	Haggarty <i>et al.</i> , 2018	Type de sédiments réparti en différentes zones	Élevée
Propriétés géoacoustiques des sédiments	Propagation à basse fréquence (60 à 500 Hz) des ondes P et S	Hamilton, 1980; Jensen <i>et al.</i> , 2011	Propriétés adaptées aux observations acoustiques	Élevée
Propriétés de l'eau	Données sur la température, la salinité et le vent	Modèle LiveOcean, modèle SalishSeaCast	Interpolation de la grille du modèle hydrodynamique à la grille du modèle acoustique	Modérée
Propriétés de la colonne d'eau	40 couches verticales	McDougall et Barker, 2011	Épaisseur de couche variable	Faible
Propriétés de transmission acoustique	Absorption en fonction de la fréquence pour un pH de 8	Francois et Garrison, 1982	pH présumé constant	Faible

Intrant du modèle	Données d'entrée	Source	Hypothèse	Sensibilité du modèle
Niveaux de source des navires	Niveaux de source calculés compte tenu de la vitesse par rapport au fond	Veirs <i>et al.</i> , 2016; Simard <i>et al.</i> , 2016; MacGillivray et Li, 2018	Suppose que tous les navires du même type ont le même niveau de source	Élevée
Présence de navires	Données nettoyées sur la présence de navires provenant du SIA. Appareil SIA de classe A seulement	Garde côtière canadienne	Suppose que tous les navires sont comptabilisés	Élevée

3.5.3.1.1. Données sur les navires

Le passage de navires dans la mer des Salish a été quantifié à l'aide de données du SIA recueillies par les récepteurs terrestres de la Garde côtière canadienne (tableau 1). Ces données comprenaient le nom des navires, leur numéro d'identification, leur type et leur emplacement enregistré toutes les 5 à 30 secondes. Elles ont été nettoyées et regroupées en paquets de cinq minutes, à partir desquels la trajectoire et la vitesse de chaque navire ont été interpolées. Les navires ont été classés en 13 types :

1. transporteurs en vrac,
2. navires porte-conteneurs,
3. traversiers,
4. bateaux de pêche,
5. gouvernement/recherche,
6. navires militaires,
7. bateaux à passagers,
8. bateaux de plaisance,
9. navires-citernes,
10. remorqueurs,
11. transporteurs de véhicules,
12. navires immatriculés pour l'observation des baleines, et
13. autres et bateaux de type inconnu.

Les intrants du modèle proviennent uniquement d'appareils SIA de classe A, un équipement obligatoire des navires commerciaux. Au Canada, les navires de plus de 300 tonnes, sauf les bateaux de pêche, et les bateaux de plus de 150 tonnes qui transportent plus de 12 passagers doivent être munis d'un émetteur-récepteur de classe A. C'est également le cas pour les navires de remorquage et d'escorte. Les navires commerciaux et de plaisance de plus petite taille n'y sont pas obligés, mais peuvent être équipés d'un transmetteur-récepteur de classe B, au choix. Ces données faisaient partie des dossiers du SIA, mais n'ont pas été utilisées comme intrant du modèle.

La vitesse de transit des navires, exprimée en vitesse par rapport au fond, a été calculée pour chaque période de cinq minutes à l'aide du temps écoulé et de la distance entre les emplacements GPS. En guise de contrôle de la qualité, on a nettoyé les données pour supprimer les mesures erronées (p. ex. une vitesse par rapport au fond de plus de 30 nœuds ou une position GPS sur la terre ferme). Les points de données manquants ont été interpolés à partir des données sur les périodes et les lieux voisins, et les données manquantes sur les navires ont été déterminées à partir de registres en ligne, à l'aide de recherches fondées sur les numéros d'identification uniques de chaque navire (numéros d'identité dans le service mobile maritime [ISMM] ou numéros de l'Organisation maritime internationale [OMI]).

Les points de données de localisation ont été regroupés selon les voyages de chaque navire, d'après les données recueillies à des intervalles successifs. Les intrants sur les niveaux de source correspondent à ceux indiqués par MacGillivray et Li (2018) pour chaque type de navire. On a tenu compte des vitesses de déplacement des navires en modifiant ces niveaux à l'aide de la relation linéaire décrite par Veirs *et al.* (2016), selon laquelle les niveaux sonores augmentent de 0,93 dB pour chaque nœud d'augmentation de la vitesse par rapport au fond (ou de 1,8 dB/. Dans les cas où le type de navire n'était pas indiqué dans les dossiers du SIA, on a estimé le niveau de la source au moyen de la relation entre les caractéristiques de vitesse et de taille du navire et la production de bruit du navire décrite par Simard *et al.* (2016).

3.5.3.1.1. Données sur l'environnement

Des données environnementales réalistes, basées sur les données à haute résolution du modèle NEMO de SalishSeaCast (Sootiens *et al.*, 2016; Sootiens et Allen, 2017) sur la bathymétrie, la composition des sédiments et les propriétés de l'eau, ont été intégrées au modèle acoustique dépendant de la distance pour simuler la propagation du son en quasi-3D (ou 2,5D) (tableau 1). Les données bathymétriques provenaient du Service hydrographique du Canada (CHS, 2020) et ont été interpolées pour donner des profondeurs d'eau distantes de 15 secondes d'arc dans la zone d'étude, soit une résolution d'environ 300 m (Haugerud, 1999; tableau 1). Les profils de vitesse du son dans la colonne d'eau ont été dressés à partir des mesures de conductivité, température et profondeur. Des données *in situ* ont été recueillies à des intervalles de trois à quatre mois, et ces profils sont venus compléter les données de conductivité, température et profondeur de SalishSeaCast (Sootiens *et al.*, 2016; Sootiens et Allen, 2017). Ces propriétés de l'eau ont été converties en vitesses du son conformément à la norme TEOS-10 de la Commission océanographique intergouvernementale (McDougall et Barker, 2011; tableau 1). La dépendance à la distance du modèle a été utilisée pour paramétrer la propagation du son en fonction de la bathymétrie, des profils des propriétés dans la colonne d'eau et de la propagation maximale de chaque source sonore. L'absorption en fonction de la fréquence a été obtenue à partir des travaux de Francois et Garrison (1982) en considérant un pH de 8. La propagation dans les sédiments meubles du fond océanique a été intégrée au moyen de valeurs tirées des travaux de Hamilton (1980) et de Jensen *et al.* (2011), en tenant compte des classifications générales des types de fond, c'est-à-dire la caractérisation des zones comme étant composées de roches, de sable, ou de limon et de boue (tableau 1).

3.5.3.2. Extrants du modèle

Les extrants de modèle peuvent avoir une résolution fine ou grossière aux échelles spatiale et temporelle. La granularité des extrants de modèles acoustiques, ainsi que d'autres données modélisées ou recueillies sur la présence d'animaux et l'utilisation de l'habitat, détermine la résolution la plus fine à laquelle on peut estimer les effets du projet. Le fait de travailler à l'échelle la plus fine possible élimine la subjectivité qui pourrait être inhérente à la définition des sous-régions, et représente possiblement une évaluation des changements dans la zone d'étude axée davantage sur les récepteurs ou les animaux. Cependant, la résolution des

extrants n'est pas nécessairement pertinente sur le plan de la biologie de l'espèce focale. Par conséquent, il peut être plus approprié de procéder à un regroupement pour délimiter les zones en fonction de la taille moyenne des groupes de proies, des régions de densité, de l'aire de répartition, ou des distances ou de la vitesse de déplacement de l'espèce focale lorsqu'on avance des interprétations à partir de l'échelle des extrants. En outre, en général, plus la résolution est fine, plus les calculs liés au modèle sont complexes et plus il faut de temps pour exécuter et interpréter le modèle. Ainsi, la résolution des extrants représente souvent un équilibre entre la signification écologique et la rapidité de production des résultats. Il se peut également que des extrants à fine échelle ne soient pas requis si l'on s'intéresse au changement net des niveaux sonores dans l'aire de répartition d'une espèce, par exemple. Cela dit, des extrants à fine échelle peuvent montrer les moments ou les zones pour lesquels les ajouts de bruit provenant des navires liés au projet seront les plus élevés, ou les zones dans lesquelles les mesures d'atténuation ou de compensation auraient le plus grand effet.

Les niveaux sonores de sortie du modèle du bruit des navires dans la mer des Salish ont été déterminés pour une fréquence de 125 Hz toutes les 30 minutes, sur une grille de zones unitaires mesurant environ 440 m sur 500 m et comprenant 20 niveaux verticaux dans la colonne d'eau, entre 0,5 m et 500 m de profondeur. Les couches verticales près de la surface avaient une résolution de 1 m, tandis qu'aux profondeurs les plus grandes, elles avaient une résolution de 24 m. On a ainsi obtenu un extrant indicateur des niveaux sonores (niveaux de pression acoustique, SPL) en fonction du temps, t (intervalles de 30 minutes), de la profondeur, d , et des points sur une grille horizontale (i, j). Cet extrant est donc défini comme suit :

$SPL(125\text{ Hz}, t, i, j, d)$.

Pour le cas d'essai, l'analyse a été limitée à la période de mai à octobre, c'est-à-dire la période où l'abondance des ERS est maximale dans la zone d'étude, et où leurs déplacements et leur utilisation de l'habitat sont le mieux connus. La valeur médiane des niveaux de pression acoustique a été calculée à partir des extrants du modèle pour l'ensemble de cette période de six mois, dans le but de tester le concept de compensation. Les participants considéraient que des résolutions temporelles plus fines étaient possibles, par exemple des calculs à une échelle mensuelle, mais leur utilisation ne serait pas cohérente avec les données disponibles sur la présence des ERS et leur utilisation de l'habitat. Les résultats pour différentes profondeurs ont été comparés, ces profondeurs ayant été choisies de manière à représenter les profondeurs typiques de nage et de plongée, d'après les données de biotélémétrie concernant les épaulards. Des plages de fréquences appropriées étant donné l'espèce ont été utilisées, par une extrapolation des extrants du modèle (125 Hz) à une plage d'appels de communication (500 Hz à 15 kHz) et aux signaux d'écholocalisation (15 à 100 kHz) (Burnham *et al.*, 2023).

3.5.3.3. Validation du modèle

La confiance dans les extrants de modèle et leur capacité à représenter avec exactitude les niveaux sonores dans une zone d'intérêt est établie par une validation qui comprend une comparaison aux mesures prises sur le terrain. Le peaufinage du modèle, dans l'objectif d'améliorer l'accord entre les extrants et les mesures *in situ*, rehaussera l'exactitude de l'interprétation des paramètres. En ce qui concerne le modèle de bruit des navires utilisé pour le cas d'essai dans la mer des Salish, les extrants ont été comparés aux niveaux de pression acoustique enregistrés aux points d'amarrage. On a évalué l'accord entre le modèle et les valeurs *in situ* pour des conditions aussi semblables que possible; les comparaisons ont été faites entre les niveaux sonores médians à 125 Hz (l'extrant du modèle) obtenus pour la période temporelle correspondante et la profondeur la plus près de celle à laquelle les enregistreurs avaient été déployés aux six endroits (figure 8).

Ces comparaisons entre les données de modélisation et les enregistrements aux points d'amarrage ont été effectuées à l'aide d'un cadre probabiliste et exprimées sous forme de courbes montrant l'écart entre les niveaux modélisés et mesurés *in situ*. Elles ont révélé que le modèle a constamment sous-estimé le niveau de pression acoustique à chaque endroit analysé (figure 8), et de manière plus prononcée dans les voies navigables fermées et les zones comportant d'autres barrières acoustiques. Plusieurs raisons pourraient expliquer ces niveaux sonores plus faibles. La première est l'absence de paramètres physiques tridimensionnels avancés (réfraction hors plan) dans le modèle en quasi-3D utilisé pour simuler la propagation des ondes sonores dans le domaine du modèle. De plus, bien que la comparaison portait sur des périodes où les contributions sonores abiotiques du vent et des vagues étaient minimales, les sources sonores éloignées associées aux conditions météorologiques extracôtières, au bruit de navires commerciaux (en déplacement ou ancrés) ou aux navires de plaisance susceptibles d'être présentes n'ont pas toutes été prises en compte dans le modèle, mais auraient été comprises dans les enregistrements. Le modèle ne prend pas encore en charge tous les aspects du paysage sonore. Même si les prévisions faites par le modèle pour chaque scénario de bruit lié au projet peuvent être exactes, il est difficile de connaître toutes les répercussions des changements futurs causés par le transit des navires sur le champ sonore global. La comparaison a également mis en évidence la différence entre les sites et entre les effets du bruit des navires commerciaux sur ceux-ci (figure 8). Cette information pourrait aider à orienter les mesures de gestion vers les zones les plus touchées par les changements de la présence des navires.

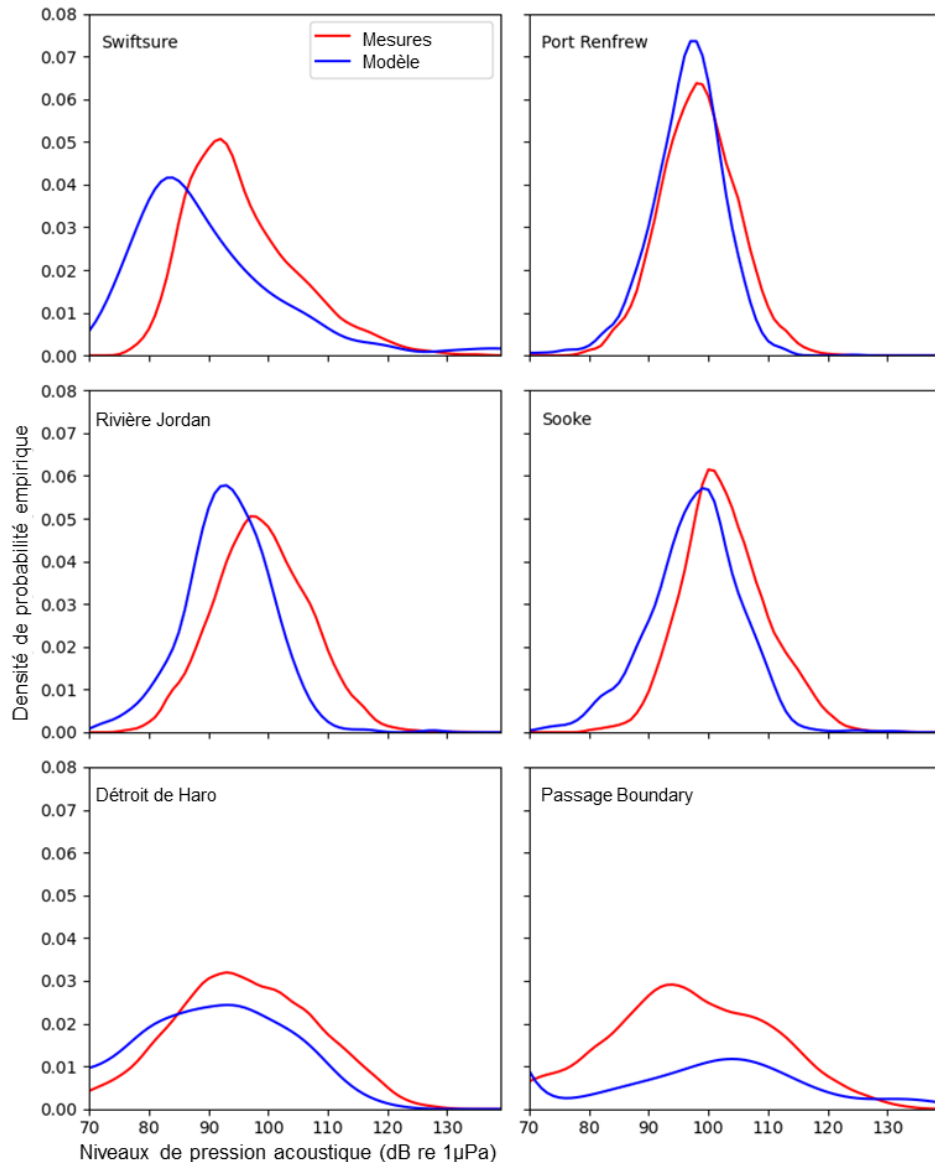


Figure 8. Comparaison entre les extrants du modèle simulé (en bleu) et les niveaux de pression acoustique enregistrés aux points d'amarrage au banc Swiftsure, à Port Renfrew, dans la rivière Jordan, au banc de Sooke, dans le déroit de Haro et dans le passage Boundary (en rouge) en mai 2018, exprimée comme une densité de probabilité empirique.

Les écarts entre les extrants du modèle et les enregistrements montrent peut-être les limites actuelles du modèle, les sources sonores présentes dans la mer des Salish qui ne sont pas actuellement représentées dans le modèle, et les incertitudes relatives aux propriétés de transmissions du son, en particulier autour des îles et dans les passages et les voies étroites. On travaillera à améliorer le modèle pour corriger ces écarts, mais un facteur exprimant l'exactitude de la représentation des valeurs enregistrées à chaque endroit ou la confiance à l'égard de cette représentation pourrait être intégré aux calculs des crédits. Ce facteur pourrait être établi pour chaque sous-région ou chaque zone unitaire en fonction de la proximité avec les lieux de comparaison.

3.5.3.5.1. Incertitude du modèle

La plus grande source d'incertitude, et aussi l'intrant du modèle de bruit des navires présentant la plus grande variabilité, était les niveaux de source des navires (tableau 1; Simard *et al.*, 2016). Les intrants du modèle correspondaient à la moyenne de mesures faites dans la mer des Salish indiquées par MacGillivray et Li (2018). Des analyses de sensibilité aident à déterminer l'influence de chaque variable sur les extrants du modèle, et à caractériser les effets possibles de l'incertitude relative à chaque variable sur les résultats des calculs de crédits fondés sur ces extrants. Plusieurs facteurs autres que la vitesse, notamment le chargement et le tirant d'eau des navires, influent sur les émissions sonores sous-marines des navires et ne sont pas encore pris en compte dans le modèle. Une analyse de sensibilité aux intrants sur les niveaux de source des navires est en cours, et il est prévu que les intrants du modèle se préciseront à mesure que de meilleures données deviendront disponibles.

On travaille également à mieux déterminer les niveaux de source des navires liés au projet TMX. Ces travaux se baseront sur les enregistrements acoustiques passifs et les données du SIA obtenus après les premières traversées en mai 2024, et seront réalisés lorsque les noms de navires ou les numéros d'ISMM auront été établis. Ces niveaux seront ensuite intégrés au modèle, ce qui précisera les intrants propres au projet. La résolution spatiale et temporelle des intrants de ce modèle est supérieure à celle d'autres modèles exclusifs appliqués à la région dans le cadre d'autres évaluations similaires des niveaux de bruit (p. ex., Matthews *et al.*, 2018; Matthews et Groom, 2021).

3.6. CHANGEMENTS DU PAYSAGE SONORE PROPRE À L'ESPÈCE

Les sons peuvent être exprimés comme des niveaux de pression mesurés en décibels (dB), comme une mesure de l'exposition (niveaux d'exposition au bruit), ou comme d'autres paramètres indiquant le changement total de l'exposition en fonction des fréquences acoustiques et du temps (Southall *et al.*, 2007; Finneran, 2015). Afin d'estimer l'exposition, il faut posséder de l'information sur la présence et le séjour de l'espèce focale, tandis que l'on peut se servir des niveaux de pression acoustique sans cette information. Pour l'ensemble du cas d'essai, nous avons utilisé les niveaux sonores médians de mai à octobre. Cette décision n'applique pas les conseils formulés pendant l'atelier sur les crédits pour le bruit sous-marin de 2021, mais elle est cohérente avec des travaux antérieurs portant sur les répercussions du bruit des navires sur l'ERS (voir Thornton *et al.*, 2022b; Burnham *et al.*, 2023). Bien que la moyenne arithmétique (L_{eq}), proposée comme indicateur pendant l'atelier de 2021, constitue une mesure plus sensible aux sources sonores extrêmes, la médiane représente les niveaux sonores auxquels les baleines seraient plus généralement exposées. Les participants ne sont pas parvenus à un consensus sur l'indicateur à privilégier, mais il a été souligné que le même indicateur devait être utilisé uniformément dans tous les calculs. Par conséquent, le niveau médian de pression acoustique a été employé dans tous les calculs du présent exercice.

Les changements des niveaux sonores sont un élément déterminant de l'approche de compensation. Ils interviennent tout d'abord dans le calcul de l'augmentation des niveaux de bruit attendue en raison des navires liés au projet, puis dans les effets observés après l'application des mesures d'atténuation ou de compensation. Par définition, les changements des niveaux sonores sont établis par comparaison avec un niveau sonore de référence. La prise en compte de l'écart par rapport à un niveau de référence diffère de l'utilisation d'un seuil de bruit prédéterminé ou d'un critère d'exposition de l'espèce au bruit. Ces seuils et critères ont été décrits pour de grands groupes d'espèces, lorsque leur dépassement peut engendrer une réaction de stress, un changement de comportement ou des modifications de la sensibilité auditive et de la physiologie auditive temporaires ou permanents (p. ex., voir Southall *et al.*, 2007, 2009, 2021; NMFS, 2018). Bien que des courbes dose-réponse pourraient aider à

comprendre les effets possibles sur un individu ou un groupe de population, elles ne sont pas linéaires, et les réactions dépendent fortement du contexte (Wright *et al.*, 2023). Ces seuils n'ont pas été pris en compte dans la présente analyse, puisque le concept de compensation ne cherche pas à tenir compte de l'atténuation des effets, mais uniquement à quantifier le changement des niveaux sonores, l'hypothèse étant qu'une augmentation nette nulle du bruit, ou une réduction du bruit des navires, serait bénéfique pour l'espèce focale.

3.6.1. Fréquences acoustiques d'intérêt

La détermination de la fréquence ou de la plage de fréquences d'intérêt est essentielle pour calculer les niveaux sonores ou les indicateurs servant à établir les changements par rapport aux niveaux de référence. Les fréquences et les indicateurs peuvent être propres aux sites ou à l'espèce, mais doivent être uniformes dans tous les calculs.

Des mesures à large bande permettent de tenir compte du spectre complet des enregistrements *in situ* ou de la plage complète des extrants du modèle. Toutefois, la définition de « large bande » peut varier selon les capacités de l'équipement d'enregistrement ou les capacités de calcul associées au processus de modélisation et à l'amélioration du modèle. Il s'agit là d'un point qu'il faudrait prendre en considération si l'on prévoyait d'utiliser l'approche de compensation comme mesure à long terme. Les mesures à large bande sont moins propres aux espèces et ne reposent donc sur aucune hypothèse concernant la capacité auditive ou les plages de sensibilité de l'espèce focale. Elles pourraient aussi constituer une mesure unique appropriée pour les scénarios axés sur de multiples espèces.

L'établissement précis des plages de fréquences d'intérêt et l'examen plus approfondi de certaines zones du paysage sonore pourraient aider à trouver la ou les sources de changements des niveaux sonores, à confirmer le lien entre ces sources et le projet, et à déterminer les espèces (dans le cas d'une approche multiespèces) ou les comportements susceptibles d'être les plus touchés par l'ajout de bruit. On pourrait se servir de classifications telles que les plages de fréquences basses, moyennes et élevées, ou de plages de fréquences plus spécifiques aux sources décrites dans la littérature. Par exemple, on pourrait utiliser des plages représentant les émissions des navires commerciaux ou liés au projet. On pourrait déterminer ces plages en consultant des études antérieures sur le bruit des navires, ou des normes ou indicateurs internationaux comme les plages de bruit des navires établies en vertu de la stratégie pour le milieu marin de l'Union européenne (EU Marine Strategy Framework Directive, 2008). D'autres mesures normalisées, telles que des bandes d'un dixième de décade (un tiers d'octave) ou d'un millième de décade, pourraient aussi être considérées. Ces plages de fréquences représenteraient plutôt un changement de l'habitat acoustique et ne seraient pas nécessairement propres à l'espèce.

Des indicateurs plus spécifiques à l'espèce focale pourraient aider à estimer les effets potentiels et à représenter les changements du paysage sonore qui sont potentiellement plus pertinents en ce qui concerne cette espèce. On pourrait se servir, par exemple, du registre vocal de l'espèce ou de son champ auditif, si on le connaît. Il se peut cependant que ces plages ne permettent pas de tenir compte de l'ensemble des bruits qui pourraient susciter des réactions négatives ou causer des perturbations, un stress physiologique ou d'autres conséquences négatives. Néanmoins, elles peuvent aider à déterminer les parties du répertoire acoustique susceptibles d'être les plus sensibles aux effets du bruit lié au projet, et indiquer les connotations pour l'espèce focale.

Aux fins du cas d'essai sur les ERS, nous avons utilisé des plages de fréquences représentatives des appels de communication et des signaux d'écholocalisation. Des travaux antérieurs sur les effets de masquage potentiel ont considéré une plage candidate allant de 1 à

40 kHz pour les appels de communication, paramétrée par Holt *et al.* (2009, 2011, 2013), et la valeur de 50 kHz pour l'écholocalisation (Au *et al.*, 2004; Burnham *et al.*, 2023). Une approche plus prudente a cependant été suivie pour les calculs des crédits : nous avons utilisé une plage de fréquences plus large pour représenter le registre d'appel de l'ERS. Ainsi, nous avons défini une plage de 500 Hz à 15 kHz pour la communication, et une plage de 15 à 100 kHz pour les signaux d'écholocalisation, comme le proposaient Heise *et al.* (2017). Ces plages plus étendues contribuent également à réduire l'incertitude entourant la mesure dans laquelle le registre vocal représente les fréquences susceptibles d'entraîner des changements physiologiques, comportementaux ou d'appel chez les ERS. Elles pourraient également mieux représenter la totalité du champ auditif décrit pour les épaulards (Miller, 2002, 2006). Une mesure globale du changement, combinant les plages de communication et d'écholocalisation (500 Hz à 100 kHz), a été envisagée. Elle a permis de tenir compte du changement sur l'ensemble du registre des ERS sans biais pour l'un ou l'autre des types de signal, les deux plages étant pondérées également dans le calcul.

3.6.1.1. Extrapolation aux fréquences propres à l'espèce

Pour permettre l'adoption d'une perspective plus proche de l'espèce en ce qui concerne les changements des niveaux sonores causés par la circulation des navires liés au projet TMX et les mesures d'atténuation ou de compensation des ajouts sonores, nous avons extrapolé les extrants du modèle à 125 Hz de manière à représenter la plage des appels de communication (500 Hz à 15 kHz) et des signaux d'écholocalisation (15 à 100 kHz) de l'ERS. Pour ce faire, nous nous sommes fondés sur la courbe des niveaux de source selon la fréquence indiquée par MacGillvray et Li (2018, figure 9) pour les pétroliers. Cette courbe moyenne de sources monopôles a été établie à l'aide de plusieurs navires effectuant de nombreux passages à différentes vitesses au-dessus d'un hydrophone. La courbe dressée pour les pétroliers a été choisie dans un souci de correspondance au projet, mais il est reconnu qu'il existe une variabilité entre les navires.

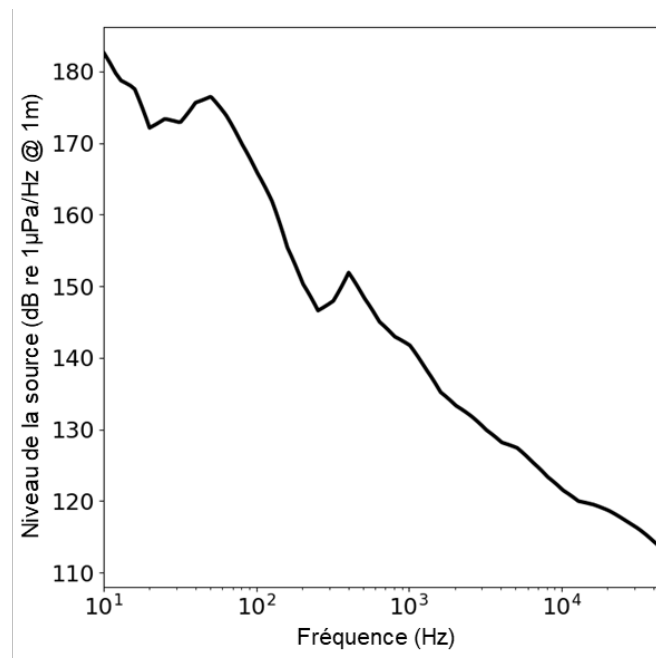


Figure 9. Niveau moyen de la source monopôle de pétroliers naviguant dans la mer des Salish, établi d'après plusieurs passages. Figure adaptée de MacGillvray et Li (2018). La courbe est employée pour extrapoler les extrants du modèle à 125 Hz aux plages de communication (500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (15 à 100 kHz) de l'ERS.

À l'aide de la courbe liant le niveau de la source à la fréquence, nous avons établi un facteur de correction entre l'extrant du modèle à 125 Hz et les fréquences des plages d'intérêt. Pour chaque extrant de modèle, ce facteur a été défini comme $dSL(125 \text{ Hz} - f)$, où f représente chaque bande de 1 Hz dans la plage de communication ou d'écholocalisation.

De plus, nous avons intégré à l'extrapolation un terme, exprimé comme $\alpha(f)$ (dB/m), pour tenir compte de l'absorption en fonction de la fréquence des hautes fréquences dans la colonne d'eau. Ces différents facteurs et termes ont donné lieu à l'équation d'extrapolation suivante :

$$SPL(f, i, j, d) = SPL(125 \text{ Hz}, i, j, d) - dSL(125 \text{ Hz} - f) - \alpha(f) \cdot R_{SL}(i, j) \quad (1)$$

où $R_{SL}(i, j)$ est la distance entre chaque point (i, j) de la grille et le point le plus près de la route maritime (figure 10), car il a été supposé que le bruit était principalement émis par des navires commerciaux (les intrants du modèle) suivant cette route (voir aussi Burnham *et al.*, 2023). En ce qui concerne les fréquences élevées, en particulier celles comprises dans la plage d'écholocalisation, l'absorption importante liée à la fréquence signifiait que les ajouts de bruit des navires étaient concentrés sur la route maritime et se propageaient très peu dans les autres régions.

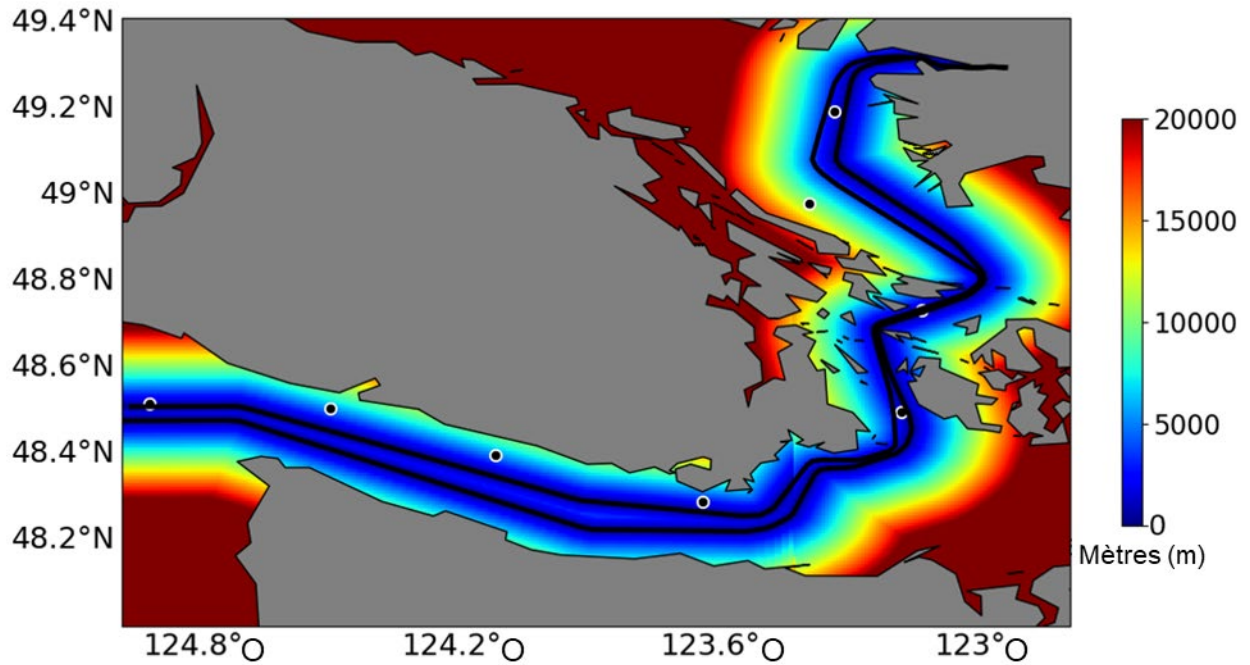


Figure 10. Carte montrant la distance entre chaque point de la grille et le point le plus près de la route maritime (R_{SL}), utilisée pour calculer l'absorption en fonction de la distance et de la fréquence pendant l'extrapolation des résultats pour 125 Hz aux fréquences d'intérêt plus élevées. Voir Burnham *et al.*, 2023.

Nous avons réfléchi à la profondeur ou aux profondeurs (d) auxquelles comparer les extrants du modèle. Des discussions tenues lors de l'atelier de 2021 ont laissé entendre qu'une intégration sur les 25 premiers mètres de la colonne d'eau représenterait les niveaux sonores auxquels sont exposés les ERS nageant dans la mer des Salish, puisque les profondeurs de nage et de plongée typiques des déplacements sont comprises dans la partie supérieure de la colonne d'eau (Wright *et al.*, 2017; Tennessen *et al.* 2019a, b). Cependant, cette approche comprendrait la profondeur des sources, supposerait une utilisation égale de ces profondeurs par l'ERS et ne représenterait pas les plongées plus profondes à des fins d'alimentation. Nous

avons plutôt choisi les niveaux sonores aux profondeurs de 7,5 m, 50 m et 100 m, pour représenter respectivement une profondeur typique de nage ou de déplacement, la profondeur à laquelle les ERS trouvent de premières proies, qui est aussi la profondeur de nage habituelle du saumon quinnat (43,4 m; Wright *et al.*, 2017), et une profondeur maximale répétable à laquelle plongent les ERS à des fins d'alimentation, selon les données de biotélémétrie (Wright *et al.*, 2017; Tennessen *et al.*, 2019a, b). Cette démarche est cohérente avec les travaux antérieurs réalisés par Burnham *et al.* (2023) sur les effets du bruit sur l'ERS dans la mer des Salish.

Nous avons alors obtenu l'équation suivante pour l'extrapolation à la plage de communication de chaque extrant du modèle sur 30 minutes associé à chaque zone unitaire (pixel) dans le domaine du modèle :

$$SPL((500 - 15000), i, j, (7,5, 50, 100)) = SPL((500 - 15000), i, j, (7,5, 50, 100)) - dSL((500 - 15000) - f) - \alpha(f) \cdot R_{SL}(i, j) \quad (2)$$

et l'équation suivante pour l'extrapolation à la plage d'écholocalisation :

$$SPL((15000 - 100000), i, j, (7,5, 50, 100)) = SPL((15000 - 100000), i, j, (7,5, 50, 100)) - dSL((15000 - 100000) - f) - \alpha(f) \cdot R_{SL}(i, j) \quad (3)$$

Aux fins de cet examen initial d'une possible approche de compensation dans le cadre de cet exemple des ERS dans la mer des Salish, nous avons calculé les valeurs médianes des niveaux de pression acoustique (SPL) des équations (2) et (3) au cours de la période de six mois allant de mai à octobre, et les avons utilisées dans les étapes subséquentes de l'analyse. Nous avons choisi la médiane, pour travailler avec une mesure représentative du paysage sonore auquel l'ERS serait exposé au moins 50 % du temps. D'autres paramètres peuvent être envisagés et pourraient être utiles. Par exemple, le niveau sonore moyen (L_{eq}) est fréquemment utilisé, mais il est sensible aux ajouts extrêmes. Il pourrait aussi valoir la peine d'examiner les changements dans les périodes où le bruit est le plus élevé (p. ex. L_5) ou le plus faible (p. ex. L_{95}), ou dans les niveaux sonores de fond, mais nous avons choisi la médiane pour cet exemple, par souci de prudence.

3.7. DÉFINITION DE L'ÉTENDUE DE LA ZONE D'ÉTUDE ET DES SOUS-RÉGIONS

3.7.1. Zone d'étude

Dans la politique du MPO sur la compensation, la « zone de service » est la zone qui englobe la zone du projet et toute la zone dans laquelle sont mises en œuvre des mesures de conservation, d'atténuation ou de compensation, y compris la réserve d'habitats, le cas échéant (DFO, 2019). L'analyse et l'élaboration de l'approche seraient déterminées par les contraintes et l'étendue de cette zone. Toutefois, au cours des discussions sur l'application du concept de compensation aux effets du bruit des navires liés à un projet sur des espèces en péril, les participants étaient fortement d'avis que cette définition était inadéquate, car elle permettait d'inclure dans la zone des régions ne subissant aucun effet ou ne bénéficiant d'aucune mesure de compensation visant l'espèce focale. Les participants ont soutenu que l'étendue de la zone d'étude devrait plutôt être exclusivement définie en fonction des lieux et des moments où l'espèce focale est présente, et non où des niveaux élevés de bruit dus à un projet devraient se produire. Il a donc été considéré que les données sur la présence de l'espèce d'intérêt étaient déterminantes pour l'élaboration de l'approche de compensation, et qu'en l'absence de telles données, on ne pouvait penser à cette approche. Il est impossible de déterminer les effets sur les ERS, par exemple, sans savoir où se tiennent ces animaux et comment ils utilisent l'habitat,

et donc sans connaître les niveaux sonores auxquels ils sont exposés et la durée de cette exposition.

Pour le cas d'essai, la définition de la zone étudiée aux fins de l'échange de crédits n'a pas été entièrement guidée par ce principe convenu. Il a plutôt été décidé que la zone comprendrait l'habitat essentiel de l'ERS et les régions où la présence de l'espèce est possible, en plus des régions dont l'utilisation est connue grâce aux données d'observation historique (figures 5 et 11, voir la section 3.2.1, Thornton *et al.*, 2022a). Cette zone comprenait également l'habitat d'alimentation et les régions où des ERS sont vus chaque année (Olson *et al.*, 2018; Thornton *et al.*, 2022a), tout en étant assez vaste pour tenir compte des changements dans les habitudes de déplacement observés au cours des dernières années (voir Hanson *et al.*, 2021; Shields, 2023). Cependant, elle s'étendait au-delà de la zone où la présence d'ERS était prévue à un niveau de confiance de 70 % après agrégation des données sur la période de six mois allant de mai à octobre, car elle correspondait à toute la zone modélisée, et comprenait donc des zones où la probabilité de présence prévue de l'ERS était nulle (figure 11). Dans les cas où une approche de compensation est envisagée pour une espèce sur laquelle on ne dispose pas d'autant de données que pour l'ERS, ou dont l'utilisation de l'habitat n'est pas aussi bien établie, on pourrait définir la zone d'étude pour qu'elle dépasse la région où des observations directes ont été faites. Une telle démarche pourrait être qualifiée de prudente, bien qu'elle s'accompagne d'écueils importants, lesquels pourraient fausser les facteurs de pondération (voir la section 3.4.2), mais elle pourrait permettre de mieux tenir compte de toute l'étendue des déplacements d'une espèce.

3.7.2. Échelles spatiotemporelles

Les échelles spatiale et temporelle utilisées dans l'élaboration de l'approche déterminent la résolution à laquelle les crédits sont calculés et échangés, ainsi que la granularité à laquelle on peut appliquer la pondération. Il a été avancé que l'on devrait intégrer chaque élément de l'approche de compensation à la plus fine résolution permise par les données. Dans le cas où la compensation repose sur des observations, la résolution dépendrait des paramètres temporels et spatiaux liés à la collecte de données. Dans le cas où les calculs reposent plutôt sur des données de modélisation, la résolution dépendrait de la résolution des extrants (taille de la grille ou des pixels) du modèle utilisé. Par contre, l'utilisation de la résolution des extrants pourrait ne pas être aussi pertinente d'un point de vue écologique, ou aussi axée sur l'espèce, que d'autres choix. Dans le cas d'essai, nous montrons comment travailler avec la résolution des extrants du modèle, mais nous avons également envisagé d'utiliser des sous-régions. Celles-ci constituent une option lorsque les données sont limitées ou seulement disponibles à des échelles grossières.

Au cours de l'examen du cas d'essai, les participants n'ont pas tenu compte de la dépendance à la profondeur de la présence spatiale de l'ERS et de son utilisation de l'habitat. Les calculs initiaux qui leur ont été présentés reposaient sur des niveaux sonores déterminés par l'intégration des extrants du modèle sur une profondeur variant de 0,5 à 25 m. À la lumière des commentaires faits par les participants, nous avons revu les calculs et examiné les extrants obtenus pour trois profondeurs représentatives pour l'ERS (7,5, 50 et 100 m) (Baird *et al.*, 2005; Wright *et al.*, 2017; Tennessen *et al.*, 2019a, b). Nous avons calculé les crédits et comparé des extrants du modèle produits pour divers scénarios en nous concentrant chaque fois sur une même profondeur (c.-à-d. que les résultats pour les niveaux de référence à une profondeur de 7,5 m ont été comparés aux résultats modélisés des effets du projet et des mesures de gestion à une profondeur de 7,5 m seulement, et non aux profondeurs de 50 ou 100 m). Si la résolution temporelle des données le permet, on pourrait envisager de modifier les sous-régions au fil du temps pour mieux représenter l'utilisation de l'habitat. Les comportements en profondeur, s'ils

sont connus, pourraient également orienter la définition de ces sous-régions, mais de telles connaissances à fine échelle du comportement dépassaient les données disponibles pour ce premier essai.

3.7.2.1. Sous-régions

Des subdivisions de la zone d'étude peuvent servir au calcul et à l'échange de crédits dans le cadre d'une approche de compensation. Le cas d'essai se prêtait à deux options d'utilisation de sous-régions. La première reposait sur les données d'observation ou de prévision sur la présence et le comportement de l'ERS dans la mer des Salish, et consistait à déterminer des régions en fonction de l'importance de la présence des baleines et de la tenue d'activités d'alimentation (pour en savoir plus, voir la section 3.2.1 et les paragraphes ci-dessous). La deuxième option consistait à diviser la mer des Salish en fonction des caractéristiques connues du paysage sonore et des différents niveaux sonores ambiants (figure 14, Burnham *et al.*, 2021b). Ce type de sous-division pourrait aider à comprendre les effets potentiels des changements du paysage sonore sur l'espèce focale. Des régions présentant une bathymétrie ou des propriétés de transmission du son différentes peuvent représenter un contexte d'utilisation de l'habitat différent ou des conditions ambiantes différentes, deux éléments qui peuvent influencer les comportements. En outre, de telles sous-régions correspondaient, en partie, aux subdivisions décrites dans les recommandations de la REC. Pendant l'examen, cependant, les participants ont exprimé une préférence pour la première option de subdivision, fondée sur les données sur la présence de l'espèce. Une critique reçue au sujet de la formation des sous-régions dans le cas d'essai était que les frontières n'avaient pas été modifiées de manière à exclure les zones d'absence prévue des ERS (voir plus loin; figure 11), et qu'une analyse de sensibilité aiderait à déterminer si les divisions étaient adéquates ou si la présence et l'utilisation étaient trop variables dans les sous-régions.

Il a été conclu que les subdivisions devraient être fondées sur des données sur l'espèce focale qui sont indicatives de la présence des individus, et idéalement de la récurrence de la présence ou des densités relatives. Le contexte comportemental de l'utilisation de l'habitat pourrait être intégré à la procédure de subdivision, ou être utilisé seul de manière à cerner les lieux clés, par exemple les zones d'alimentation, les corridors migratoires ou les aires de reproduction, à la résolution la plus fine possible. Pour permettre l'échange entre les régions, il doit y avoir plusieurs endroits où le comportement de l'espèce focale ou son utilisation de l'habitat sont semblables ou identiques. C'est uniquement s'il manque de données à ce sujet, ou si les données existantes sont limitées dans l'espace et le temps qu'il faut envisager d'autres méthodes de subdivision de la zone d'étude.

La délimitation de sous-régions en fonction de la présence de l'espèce focale ou de ses comportements d'utilisation nécessite de nombreuses données sur l'occurrence spatiotemporelle des individus dans la zone d'étude et du contexte associé. Ces données peuvent être obtenues de relevés systématiques (à bord de navires ou d'aéronefs ou à partir de la terre ferme), de rapports d'observation fortuite ou de données de plateformes occasionnelles, de biotélémétrie, ou de surveillance acoustique passive, auquel cas les appels enregistrés témoignent d'une présence minimale de l'espèce et le type de ces appels peut indiquer le contexte. Elles peuvent aussi s'appuyer sur des données historiques, notamment sur la présence ou l'utilisation de l'habitat signalées antérieurement, y compris les historiques de prises de baleines. Il convient d'examiner les données de plusieurs années pour pouvoir se faire une idée des tendances stables ou des habitudes récurrentes. Le fait de savoir comment les régions de la zone d'étude sont utilisées par l'espèce focale aide à trouver les équivalences entre elles, ce qui facilite la délimitation des sous-régions et détermine la pondération de chacune ainsi que la capacité à échanger des crédits équivalents. D'autres critères peuvent orienter la délimitation des sous-régions, comme la présence d'un habitat essentiel désigné, les

données sur les mouvements de l'espèce focale dans la zone, notamment les distances de déplacement ou les domaines vitaux, les habitudes de séjour, le contexte d'utilisation ou les événements du cycle vital soutenus par la zone. De plus, on pourrait prendre en compte les données susceptibles de fournir des renseignements sur les comportements, par exemple des données sur les proies montrant le potentiel de recherche d'aliments. Si l'on visait une approche multispécifique, c'est-à-dire que l'on étudiait les mesures de compensation pour plus d'une espèce à la fois, on pourrait subdiviser la zone d'étude en fonction de limites communes parmi les régions de présence des espèces ou d'utilisation de l'habitat, ou bien l'on pourrait regrouper des régions plus productives en sous-régions. Ces travaux pourraient être guidés par la bathymétrie, étant donné que la complexité topographique et les caractéristiques sous-marines ou de l'habitat (p. ex. canyons sous-marins, récifs rocheux avec lits de varech) peuvent concentrer les espèces proies. Les divisions pourraient également être fondées sur un indice de la diversité des espèces, par exemple.

Il convient de tenir compte de plusieurs aspects importants lors de la définition des sous-régions, car celles-ci influencent les calculs de compensation. L'un d'eux est le fait que l'application de facteurs de pondération n'empêche pas de former des sous-régions, et que ces facteurs et les sous-régions déterminent ensemble les crédits disponibles pour la compensation. Il a été souligné, tout au long de l'examen du cas d'essai, qu'il fallait faire preuve d'une extrême prudence pendant la définition des sous-régions, en raison de la grande influence que celles-ci ont sur le calcul des crédits compensatoires et la détermination de l'équivalence entre les régions, qui permet l'échange de crédits. Il est particulièrement crucial de veiller à l'homogénéité entre l'importance ou les caractéristiques de chaque sous-région. Par exemple, si une caractéristique d'habitat importante ne représente qu'une petite partie de la sous-région définie, ou si cette caractéristique varie beaucoup dans la sous-région, la valeur de l'habitat sera diluée, ce qui pourrait mener à une prise en compte insuffisante dans un contexte de compensation.

D'autres facteurs pourraient être considérés pendant la définition de la zone d'étude et des sous-régions, notamment la capacité d'une administration à avoir une influence dans toutes les régions d'une zone d'étude. Le cas d'essai est un bon exemple : les extrants du modèle montrent les niveaux sonores aux États-Unis et au Canada, mais le gouvernement du Canada n'a aucune influence sur les mesures qui pourraient être appliquées en dehors des eaux canadiennes. Bien qu'il soit possible d'isoler les extrants dans les eaux canadiennes seulement dans le modèle, l'exclusion des données portant sur les eaux américaines dans la modélisation donnerait une fausse idée du volume de navigation présent. Les extrants provenant de modèles de bruit des navires et de l'utilisation de l'habitat s'étendaient dans les eaux américaines, et les scénarios modélisés supposaient que les navires voyageant dans ces eaux (c.-à-d. dans la voie d'arrivée au Canada) appliquaient les mesures décrites. Cependant, lorsqu'on passera de l'application théorique à l'application réelle du concept de compensation, on pourrait devoir réfléchir à la capacité d'imposer des mesures de conservation dans d'autres régions économiques ou politiques. Dans le cas des ERS de la mer des Salish, on devrait tenir compte de la faisabilité et de la probabilité que des mesures identiques soient prises dans les eaux canadiennes et américaines lors de la conception de mesures visant à compenser les effets du bruit, et peut-être intégrer aux calculs des crédits les différents degrés d'adoption des mesures.

Bien que l'on puisse subdiviser adéquatement la zone d'étude de manière à appuyer l'échange de crédits compensatoires, certaines sous-régions pourraient avoir une valeur écologique trop importante pour l'espèce focale pour être comprises dans l'échange de crédits. Ces sous-régions pourraient faire l'objet de mesures de compensation visant uniquement à réduire les niveaux sonores, et représenter des lieux uniques de la zone d'étude par leur contexte ou ce qu'ils fournissent à l'espèce focale, ou encore des lieux où se produisent des étapes clés du

cycle de vie, comme le sevrage. On pourrait, pendant la désignation des sous-régions, délimiter des « zones tranquilles » ou de refuge, ou des zones qui ne devraient faire l'objet que d'une réduction du bruit. Ces zones pourraient également être celles où sont appliquées des mesures de conservation préalables au projet, par exemple les « zones de sécurité » désignées ou les zones d'exclusion ou de conservation établies en vue de la protection des espèces.

Aux fins du cas d'essai, nous avons d'abord défini les sous-régions à l'aide des données d'observation et de suivi d'individus corrigées en fonction de l'effort (figures 5 à 7, section 3.2.1). Le regroupement des ensembles de données et des extrants de modèle a permis de délimiter huit sous-régions (figure 11). Nous avons placé les frontières entre les zones dans lesquelles les niveaux de présence étaient différents (figure 5), ou entre les zones qui étaient des lieux d'alimentation importants et celles où aucun comportement d'alimentation n'avait été observé ou qui se trouvaient à l'extérieur de l'étendue du modèle d'alimentation (figures 6 et 7). Cependant, nous n'avons pas modifié les frontières de manière à exclure les zones d'absence prévue de l'ERS, un point qui a été discuté lors de l'examen du cas d'essai, et avons ainsi probablement accru l'hétérogénéité des valeurs d'importance de l'habitat dans certaines sous-régions.

Nous avons conservé les mêmes sous-régions pendant les six mois de l'approche de compensation étudiée (mai à octobre), sans les modifier au fil du temps pour, par exemple, représenter le mouvement des baleines. On pourrait toutefois revoir cette approche si l'on étendait les mesures de compensation visant les ERS de la mer des Salish à l'hiver, afin de mieux tenir compte des changements de la densité et du nombre de baleines ainsi que de leurs mouvements pendant cette période. Il serait également possible d'apporter des modifications de sorte à pouvoir effectuer les calculs à des échelles temporelles plus fines.

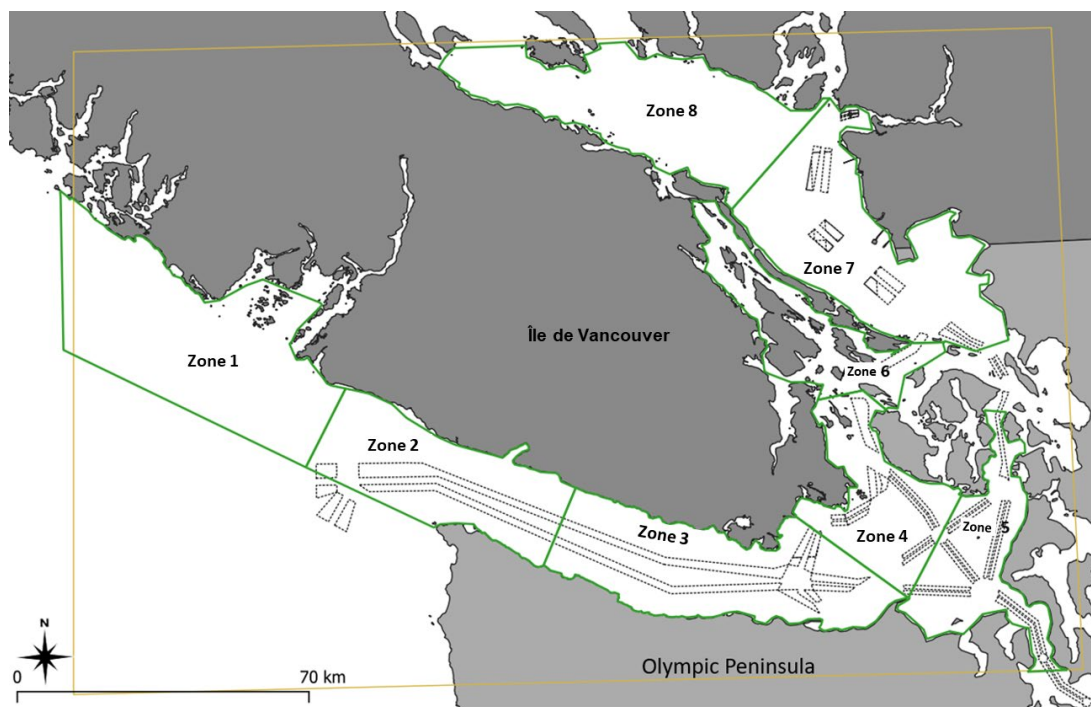


Figure 11. Les huit sous-régions définies en fonction des comportements, encadrées de vert. Zone 1 : La Pérouse; zone 2 : banc Swiftsure; zone 3 : détroit de Juan de Fuca; zone 4 : détroit de Haro; zone 5 : bras Admiralty; zone 6 : îles Gulf; zone 7 : détroit de Georgia Sud; zone 8 : détroit de Georgia Nord. Le rectangle jaune représente l'ensemble de la zone d'étude, à l'intérieur de laquelle les données du système d'identification automatique (SIA) ont été examinées. La limite de la zone 1 se trouve à 12 milles marins de la côte. Les lignes pointillées représentent les voies maritimes.

Descriptions des sous-régions axées sur les comportements

Zone 1 : Banc La Pérouse

Une fréquence d'occurrence modérée de l'ERS a été établie pour l'est de cette zone, durant les mois d'été.

Zone 2 : Banc Swiftsure

La délimitation de cette zone permet de tenir compte de l'utilisation de l'habitat du banc Swiftsure et des eaux adjacentes, et de souligner l'importance de la zone comme lieu d'alimentation clé de l'ERS. La division entre cette zone et la zone 1 est cohérente avec les fréquences de comportements d'alimentation différentes observées près du banc Swiftsure par rapport au banc La Pérouse et aux zones au nord (Stredulinsky *et al.*, 2023).

Zone 3 : Détroit de Juan de Fuca

Les données visuelles et acoustiques portant sur cette zone indiquent que les ERS se déplacent parallèlement à la côte et montrent des comportements d'alimentation réduits par rapport à ceux adoptés dans les zones adjacentes (Thornton *et al.*, 2022a).

Zone 4 : Détroit de Haro

Cette zone permet de tenir compte de l'occurrence relativement plus élevée de l'ERS dans les environs de Victoria (Colombie-Britannique) et dans le détroit de Haro. Elle englobe également des zones d'alimentations courantes et fréquentes situées au sud et à l'ouest de l'île de San Juan, y compris le banc Salmon (voir la figure 1).

Zone 5 : Bras Admiralty

La fréquence d'occurrence de l'ERS est faible dans cette zone, sauf dans une partie du détroit de Rosario dans le nord. De plus, la zone n'a pas été déterminée comme étant une zone d'alimentation importante pendant la période de mai à octobre.

Zone 6 : Îles Gulf

Dans cette sous-région, les ERS se trouvent plus fréquemment au sud des îles Gulf et dans le passage Boundary que dans les eaux au nord. Le modèle actuel (Stredulinsky *et al.*, 2023) ne montre aucune zone d'alimentation, mais les données historiques indiquent que l'ouest de l'île Pender et les eaux près de l'île Saturna appuient le comportement d'alimentation de l'ERS (Heimlich-Boran, 1988; Hoelzel, 1993).

Zone 7 : Détroit de Georgia Sud

Cette zone englobe les endroits de forte présence d'ERS associés au fleuve Fraser. Aucune zone d'alimentation n'est indiquée, parce que la zone se situe hors de la portée de l'étude des comportements (Stredulinsky *et al.*, 2023).

Zone 8 : Détroit de Georgia Nord

La fréquence d'occurrence de l'ERS dans ces eaux est faible durant les mois de mai à octobre. Cette zone se situe également hors de la portée de l'étude des comportements.

Une autre approche, qui consistait à diviser la zone d'étude en fonction des caractéristiques du paysage sonore dans la mer des Salish, a été étudiée, à des fins de comparaison avec les sous-régions délimitées en fonction des comportements. Si aucun enregistrement *in situ* du paysage sonore n'est disponible, on pourrait utiliser des surfaces modélisées ou des approximations, en se fondant sur des données du SIA ou de la densité des navires, ou encore sur des cartes de la position ou de la proximité des sources sonores anthropiques. Cette façon de diviser la zone d'étude s'appuie sur des aspects de l'environnement et est moins axée sur

l'espèce, mais peut être utile dans des situations où l'on ne dispose pas de beaucoup de données sur l'espèce ou lorsque l'on tente de tenir compte de plus d'une espèce dans la division. Les sources de données utiles à une subdivision plus axée sur l'environnement peuvent comprendre la bathymétrie, la profondeur de l'eau, la composition des sédiments ou d'autres caractéristiques cartographiées susceptibles d'influencer la manière dont l'espèce focale utilise la zone.

L'approche de division de la zone d'étude appliquée pour le cas d'essai s'appuyait sur des caractéristiques du paysage sonore tirées des données de surveillance acoustique passive décrites à la section 3.2.2. Nous avons tenu compte des niveaux sonores dans les plages de fréquences qui représentaient des aspects de différents intrants, notamment les paramètres de navires (bandes de tiers d'octave centrées sur 63 Hz et 125 Hz, bande de 100 Hz à 1 000 Hz), le bruit du vent (bande de 1 kHz centrée sur 8 kHz), le bruit de la pluie et des petits navires (bande de 1 kHz centrée sur 20 kHz), et les niveaux sonores à large bande (10 Hz à 100 kHz). Pour que nos travaux tiennent compte de l'ERS, nous avons inclus dans l'analyse les niveaux sonores associés aux bandes de communication (500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (15 à 100 kHz; Heise *et al.*, 2017). Nous avons examiné plusieurs aspects du paysage sonore pour tracer les frontières entre les sous-régions, notamment les tendances spatiotemporelles des niveaux de bruit, les niveaux de fond, les sources dominantes de bruit selon le moment et l'endroit, et la répartition des propriétés de transmission du son (Burnham *et al.*, 2021b).

Nous avons étudié les niveaux sonores à une résolution d'une minute, en utilisant les courbes de densité spectrale de puissance (DSP) pour examiner la distribution de l'énergie sonore dans la plage de large bande. Les niveaux sonores de fond à chaque endroit ont été examinés au moyen des niveaux de dépassement du L_{99} . Il était considéré que le niveau L_{99} comprenait très peu d'ajouts du vent, des vagues ou des navires, voire aucun. Cette démarche a mis en évidence les similitudes entre les endroits, en particulier entre ceux du détroit de Juan de Fuca (Port Renfrew et rivière Jordan), et entre le détroit de Haro et le passage Boundary (figure 12, tirée de Vagle *et al.*, 2021).

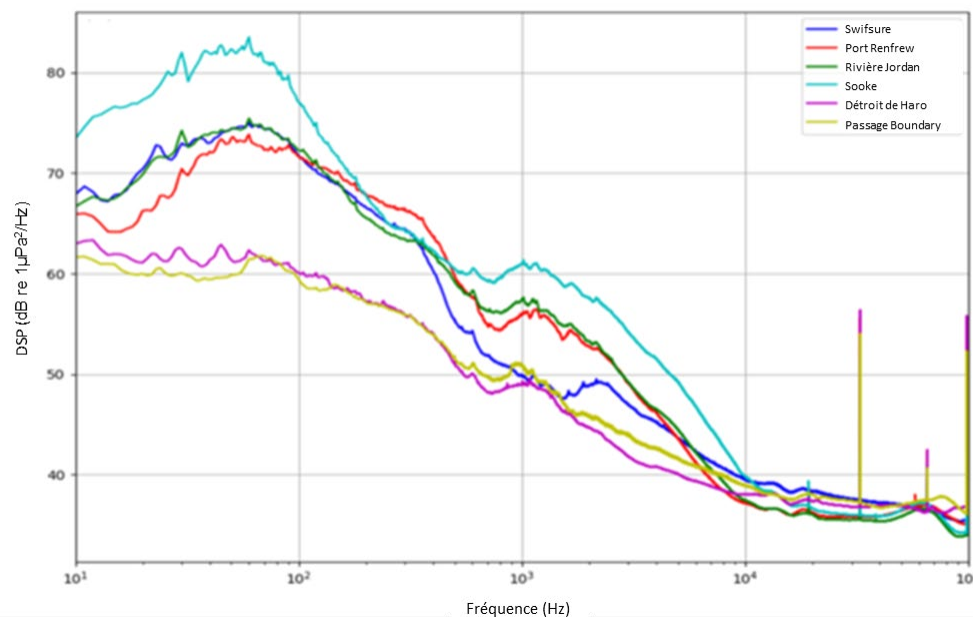


Figure 12. Niveaux de dépassement du L_{99} des niveaux de bruit ambiant de chaque site, après agrégation sur la période de mai à septembre pour les années 2018 à 2020. Figure tirée de Vagle *et al.* (2021).

Nous avons également examiné la possibilité de décrire la distribution du bruit dans la plage de large bande et les bandes de tiers d'octave centrées sur 63 Hz et 125 Hz (indicatrices des navires) à l'aide de courbes de probabilité empiriques sur lesquelles sont indiqués les niveaux de bruit supérieur (L_5), inférieur (L_{95}) et médian (L_{50}). Les bandes indicatrices des navires représentent l'apport des navires commerciaux au paysage sonore. Le niveau de dépassement du L_5 montre les ajouts aigus qui ne sont présents que pendant 5 % du temps d'enregistrement, et le niveau L_{95} représente le niveau de bruit ambiant. Cette fois encore, des groupements de distributions sont observés lors de la comparaison des sites d'amarrage, semblables à ceux des courbes de DSP (figure 13, tirée de Burnham *et al.*, 2021b).

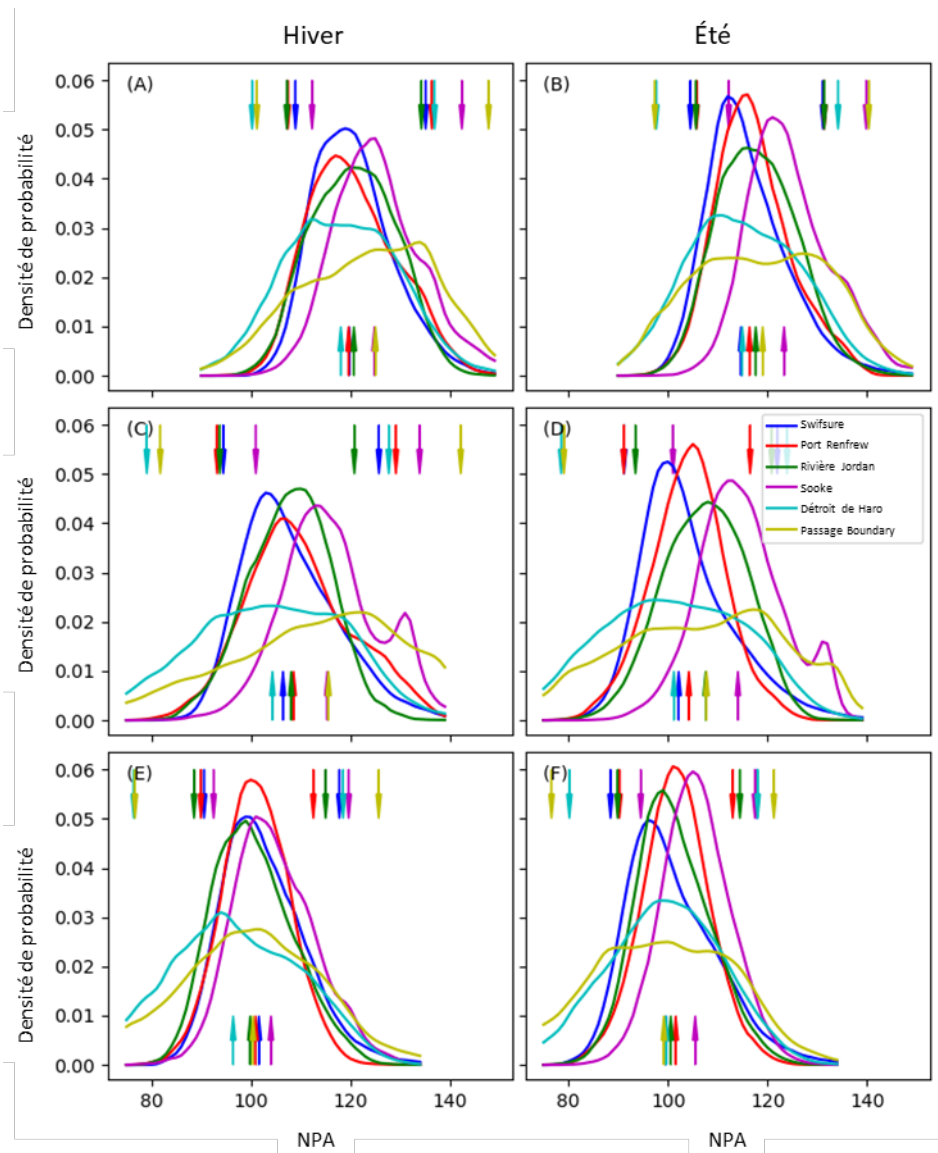


Figure 13. Densités de probabilité empiriques des niveaux de bruit dans la bande de 10 à 100 000 Hz (A, B), la bande de tiers d'octave centrée sur 63 Hz (C, D) et la bande de tiers d'octave centrée sur 125 Hz (E, F) pour les périodes hivernale et estivale de 2019. Les flèches vers le bas représentent les niveaux L_{95} et L_5 , et les flèches vers le haut, le niveau L_{50} correspondant. Figure tirée de Burnham *et al.* (2021b).

L'analyse du paysage sonore a permis de tracer six sous-régions dans la mer des Salish (figure 14). Ces sous-régions regroupaient les points d'amarrage pour lesquels les enregistrements présentaient des similitudes, et ont été établies en fonction des tendances du bruit naturel et anthropique dans le paysage sonore.

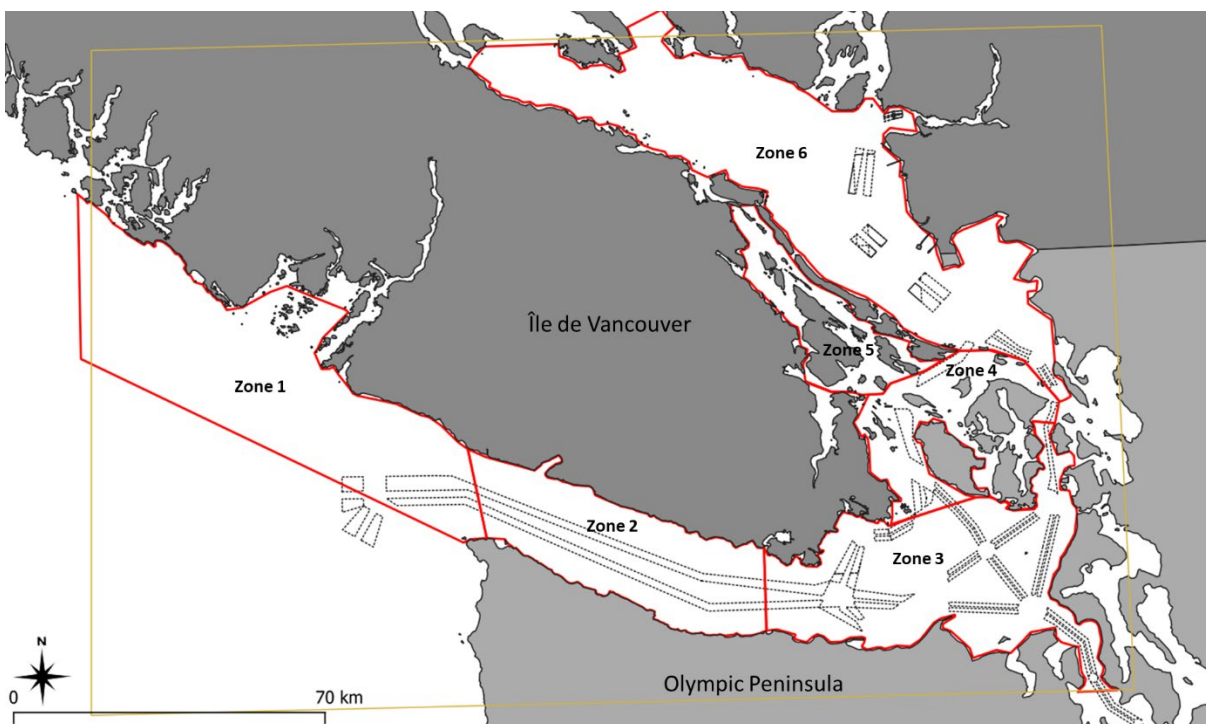


Figure 14. Les six zones définies en fonction du paysage sonore ambiant, encadrées de rouge. Zone 1 : banc Swiftsure; zone 2 : détroit de Juan de Fuca Ouest; zone 3 : détroit de Juan de Fuca Est; zone 4 : détroit de Haro-passage Boundary; zone 5 : îles Gulf; zone 6 : détroit de Georgia. Le rectangle jaune représente l'ensemble de la zone d'étude, à l'intérieur de laquelle les données du système d'identification automatique (SIA) ont été examinées. La limite de la zone 1 se trouve à 12 milles marins de la côte. Les lignes pointillées représentent les voies maritimes.

Description des sous-régions axées sur le paysage sonore

Zone 1 : Banc Swiftsure

Les niveaux sonores du banc Swiftsure sont constamment plus élevés que ceux des autres zones. Il s'agit d'un lieu de mélange et de mouvement des eaux, qui est sujet à des effets causés par les vagues et le vent locaux et plus éloignés ou au large, ainsi que par la navigation commerciale.

Zone 2 : Détroit de Juan de Fuca Ouest

Le paysage sonore dans cette zone est influencé dans les faibles fréquences par les voies de navigation et la circulation de petits navires, surtout en été. La houle provenant de l'embouchure du détroit peut influencer sur le paysage sonore jusqu'à la rivière Jordan, mais elle se dissipe lorsqu'on poursuit vers l'Est.

Zone 3 : Détroit de Juan de Fuca Est

Les enregistrements effectués au point d'amarrage de Sooke ont permis de caractériser cette zone (voir les figures 1 et 12 à 14). L'analyse de la DSP a révélé des pics aux fréquences basses et élevées qui n'étaient pas présentes aux points d'amarrage voisins (figures 12 et 13,

Vagle et al., 2021). Un effet de vent localisé, observé durant l'été au moyen du modèle de SalishSeaCast, est également particulier au paysage sonore de cette zone. Ce paysage constitue un mélange des conditions météorologiques et océanographiques de l'intérieur et de l'extérieur du détroit, auxquelles s'ajoute la présence de navires (Burnham et al., 2021b).

Zone 4 : Passage Boundary-détroit de Haro

Le bruit des navires était aigu et intermittent dans cette zone, les ajouts étant faits à un paysage sonore par ailleurs relativement silencieux en l'absence de navires. Cette zone présentait les conditions de référence du paysage sonore les plus basses de toute la mer des Salish, en raison de la plus grande protection des voies navigables (figure 12, Vagle et al., 2021).

Zone 5 : Îles Gulf

Cette zone a été déterminée à partir d'enregistrements effectués dans le chenal Swanson et à la pointe East de l'île Saturna. La présence de petits navires récréatifs était élevée, en particulier pendant l'été. La circulation de traversiers était constante, et accrue en été, et les passages en eau profonde se faisaient dans les couloirs de navigation.

Zone 6 : Détroit de Georgia

Les ajouts de bruit du vent et des vagues sont uniformes dans toute la zone. La circulation de navires, y compris de fréquents passages de traversiers, caractérise également le paysage sonore de la zone.

3.7.2.2. Division fondée sur la trame du modèle

Si la résolution des données est suffisante, on peut écarter le concept de sous-régions et subdiviser la zone d'étude selon une résolution plus fine. Cette stratégie est plus facilement applicable lorsque les extrants du modèle sont utilisés dans le calcul des crédits. Dans ce cas, les divisions, ou sous-régions, seraient à l'échelle des extrants du modèle. Si les extrants de multiples modèles sont utilisés ensemble, comme pour le cas d'essai, il faut utiliser la résolution la plus fine à laquelle on peut regrouper les extrants de chacun des modèles. Dans le cas d'essai, les zones unitaires sur lesquelles les calculs pourraient reposer seraient une mise en concordance entre le modèle acoustique et le modèle montrant la présence de l'espèce ou son comportement d'alimentation. Elles prendraient la forme d'une grille recouvrant toute la zone d'étude. Cette résolution serait appliquée à chaque étape des calculs, tant pour la détermination des changements des niveaux sonores que pour l'application des facteurs de pondération. On procéderait ainsi à une analyse pixel par pixel, dans le cadre de laquelle on pourrait théoriquement calculer des crédits et les échanger entre chacune des mailles de la grille. Ces travaux n'ont pas été montrés durant l'examen du cas d'essai, mais ils ont été proposés à titre d'amélioration future de l'approche de compensation.

3.8. DÉFINIR UNE BASE DE RÉFÉRENCE ACOUSTIQUE

Une base de référence acoustique est nécessaire pour évaluer l'impact des navires liés au projet et le succès des mesures de gestion ou de compensation. Elle établit le point de référence à partir duquel calculer le crédit en fonction des effets du projet ou des réductions de bruit résultant des mesures mises en œuvre, avec pour cible globale aucune augmentation nette des niveaux de bruit. Une base de référence acoustique peut être calculée à partir d'enregistrements ou modélisée à partir de données réelles.

Aucun consensus n'a été atteint en ce qui concerne le choix de l'année de référence proposée pour le cas d'essai, mais les participants sont d'accord pour dire que la base de référence devrait être une période antérieure aux opérations liées au projet et à tout intrant du projet dans le paysage sonore, et qu'elle devrait précéder la mise en œuvre de toute mesure d'atténuation

ou de compensation propre au projet. Ces principes étaient jugés conformes aux lignes directrices de la Politique de compensation du MPO (MPO 2019) et au principe d'additionnalité (UICN 2016). Toutes les mesures de gestion qui sont en place dans la zone d'étude avant les activités du projet et qui n'y sont pas directement liées doivent être considérées comme faisant partie de la base de référence, et toutes les mesures visant à lutter contre le bruit produit par le projet doivent s'y ajouter. La base de référence est ainsi une représentation réaliste des niveaux sonores préalables au projet dans la zone d'étude et les mesures compensatoires vont au-delà des changements apportés par les mesures existantes.

Dans le travail initial présenté aux participants, les données du SIA de 2015 ont été entrées dans le modèle de bruit des navires pour former une base de référence acoustique. Aucun enregistrement in situ n'était disponible pour cette période, de sorte que la base de référence a été formée uniquement à partir des sorties du modèle. Les niveaux sonores médians de référence ont été pris en compte pour les gammes de fréquences des vocalisations de communication et des signaux d'écholocalisation des ERS à des profondeurs de 7,5, 50 et 100 m de mai à octobre à l'aide des données du SIA de 2015 (figures 15 et 16). Cette référence est antérieure à l'examen du projet TMX par le conseil d'administration de la Régie et aux recommandations formulées par le conseil. C'est à la suite de la décision de la Régie que le gouvernement du Canada a accru ses efforts et ses investissements dans les mesures d'atténuation. L'utilisation de 2015 comme base de référence est conforme à la position du gouvernement du Canada concernant la promotion de mesures visant des actions régionales pour contrer les menaces pesant sur l'ERS et les augmentations progressives du bruit dans la mer des Salish par l'entremise de programmes tels que le Plan de protection des océans et l'Initiative de protection des baleines (voir la Gazette du Canada 2019), notamment des investissements dans des mesures comme les mesures volontaires supervisées par le programme ECHO et celles réglementées par Transports Canada (TC).

Certains participants ont toutefois estimé qu'une base de référence plus proche dans le temps de la circulation des navires serait plus appropriée. Une base de référence ultérieure proposée, soit un an après 2018, répondrait aux préoccupations des participants entourant une base de référence formée uniquement à partir de sorties modélisées, sans possibilité de vérification par comparaison avec des enregistrements sur le terrain. Les sorties modélisées pour une base de référence utilisant des données postérieures à 2018 pourraient être vérifiées par des données empiriques provenant d'au moins six emplacements dans la mer des Salish. Les données de 2022 ont été suggérées au cours de l'examen, car elles seraient représentatives des mesures saisonnières mises en place par le programme ECHO et le gouvernement du Canada pour les années précédant directement le début des transits des navires du projet TMX, qui ont commencé en mai 2024. Il faudrait prendre ces mesures en compte dans la base de référence en tant que mesures existantes en place qui pourraient avoir une incidence sur les niveaux sonores. Les points de vue divergents ont été reconnus, mais dans le cas d'essai présenté, 2015 était encore l'année de référence. Elle a servi à former un point de référence conceptuel à partir duquel l'approche de compensation a été appliquée et les calculs des crédits ont été mis à l'essai. On a ainsi démontré comment les impacts liés au projet et les mesures de gestion et de compensation pouvaient être estimés théoriquement (figures 15 et 16), dans le cas où les données in situ seraient insuffisantes.

Les données du SIA ont montré environ 300 transits de navires commerciaux équipés du SIA de plus en 2022 qu'en 2015 (moins d'un navire de plus par jour). Il est peu probable que cette augmentation ait modifié considérablement la base de référence acoustique de 2015, surtout lorsqu'elle est dérivée des niveaux ambiants minimaux. Le changement possible apporté dans le paysage sonore par les navires non équipés du SIA n'a toutefois pas été pris en compte. On s'est également demandé si la base de référence devrait être plus dynamique que celle

présentée dans le cas d'essai, l'année de référence étant réexaminée et potentiellement mise à jour à chaque itération des calculs de la compensation, par exemple, chaque année ou saison. Les mises à jour seraient fondées sur des données probantes provenant d'enregistrements in situ ou de résultats modélisés (voir la figure 4). Si l'on s'appuie uniquement sur les sorties du modèle, la base de référence pourrait être mise à jour au moyen de variables d'entrée ou en recourant à un facteur de correction ou à des projections de la croissance estimée pour la présence de navires commerciaux. En outre, la base de référence révisée pourrait tenir compte des variations du nombre et de la composition des navires présents ou des conditions environnementales et des changements des profils de vitesse du son que ces derniers pourraient entraîner. Cela permettrait de remédier en partie aux changements concernant la présence de navires prévus dans la mer des Salish, en dehors des ajouts liés au projet TMX, et à la nécessité de s'attaquer aux changements climatiques soulevée par certains participants. L'intégration et la planification des améliorations apportées au cadre de compensation proposé (voir la figure 4) n'ont pas été abordées en particulier, mais on a convenu que les données d'entrée devront être mises à jour au fur et à mesure que d'autres données seront disponibles. L'inclusion d'aspects liés aux changements concernant la présence des navires ou l'utilisation de l'habitat et les profils de vitesse du son résultant des changements climatiques a été citée en exemple, mais le groupe n'a pas déterminé la façon dont ces variables seraient incluses, ni si cela rendrait les calculs des crédits plus solides sur le plan scientifique.

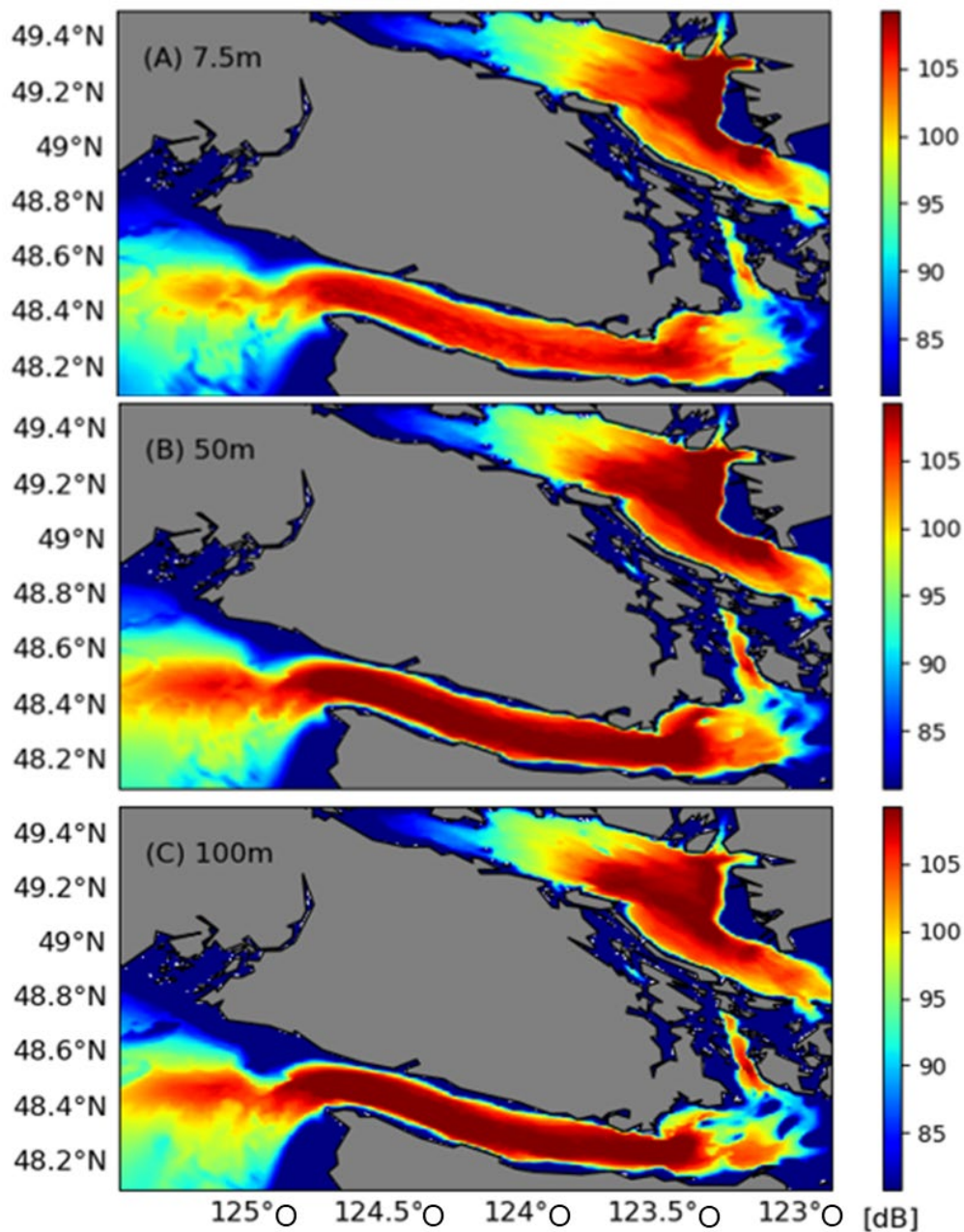


Figure 15. Modélisation des niveaux de bruit médians dans la plage des vocalisations de communication des ERS (de 500 Hz à 15 kHz) à l'aide des données du système d'identification automatique (SIA) de mai à octobre 2015 à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.

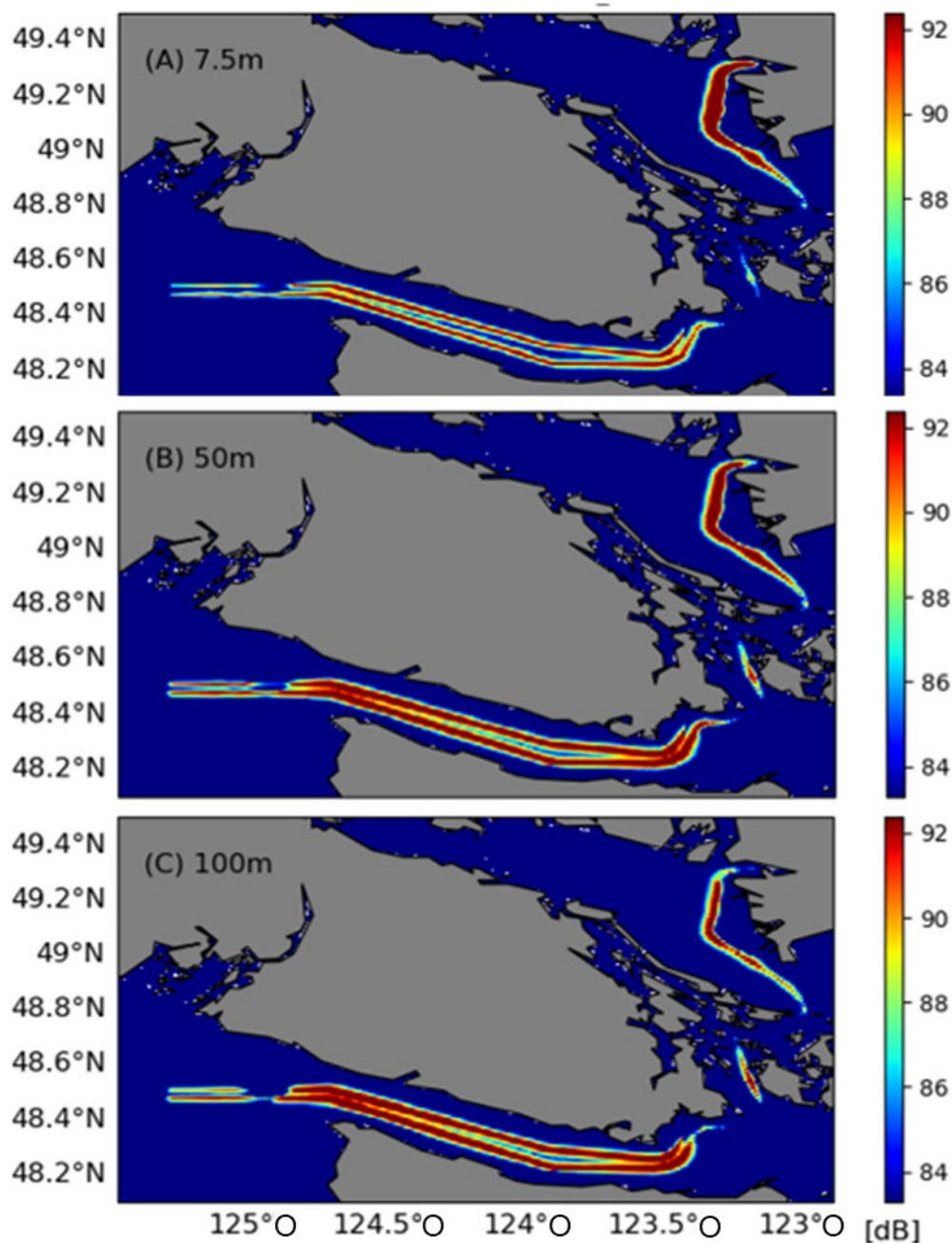


Figure 16. Modélisation des niveaux de bruit médians dans la plage des signaux d'écholocation des ERS (de 15 à 100 kHz) à l'aide des données du système d'identification automatique (SIA) de mai à octobre 2015 à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.

Le concept d'établissement de réserves d'habitats a été soulevé lors de l'examen des documents du cas d'essai. Il a été présenté dans le cadre des discussions sur la base de référence la plus appropriée et sur la façon de tenir compte des mesures préexistantes dans la zone d'étude qui ne ciblent pas spécialement le projet compensé. Selon la Politique provisoire pour l'établissement de réserves d'habitats pour soutenir l'administration de la Loi sur les pêches et de la Loi sur les espèces en péril, l'établissement de réserves d'habitats est une approche formalisée qui s'offre aux promoteurs pour qu'ils créent des mesures de

compensation (c.-à-d. des projets de conservation) pour leur propre usage futur, avant même de faire leur demande d'autorisation en vertu de la *Loi sur les pêches* (MPO 2021). Des « crédits d'habitat » sont accumulés et pourront être utilisés pour compenser des mesures de conservation qui sont en place avant le projet ou des mesures d'atténuation qui ne sont pas propres au projet. Si les crédits d'habitat sont accumulés de cette façon, ils peuvent faire partie d'une « réserve d'habitats », bien que cette possibilité n'ait pas été décrite pour être utilisée à la suite de mesures positives pour l'habitat acoustique. La réserve d'habitats et le système de crédits devraient être officiellement établis et être volontaires des deux côtés, afin d'empêcher une entité « d'utiliser » les crédits d'une réserve d'habitats constituée par une autre entité, sans le consentement de cette dernière ou sans un paiement (MPO 2021).

Des réductions des niveaux du paysage sonore ambiant ont été notées à la suite des mesures mises en place actuellement de façon saisonnière dans la mer des Salish, et on les a quantifiées en comparant les niveaux sonores de juillet à octobre pendant les périodes d'essai et les périodes témoins (voir Vagle et Neves 2019, Vagle 2020, Burnham *et al.* 2021a, Burnham et Vage 2023a). De ce fait, les réductions du niveau sonore pourraient contribuer à l'utilisation des crédits d'habitat dans la compensation du projet TMX. Ces crédits doivent être établis avec une proximité et une équivalence suffisantes avec les zones d'habitat touchées pour que l'échange ait lieu, avec un accord également nécessaire sur la valeur de chaque « crédit d'habitat », son unité de mesure et son taux d'échange.

Dans l'exemple du cas d'essai, les réductions volontaires de vitesse des navires permises dans le cadre du programme ECHO depuis 2017 peuvent être considérées comme formant une réserve d'habitats. Le point central dans les discussions sur l'applicabilité de cette disposition était d'établir l'intention de l'administration portuaire de Vancouver Fraser et de ses partenaires, au moment de la conceptualisation du projet ECHO, afin de déterminer si le principe commun à la compensation de la biodiversité, qui est d'offrir de nouveaux avantages pour la conservation que l'on n'aurait pas obtenus autrement, a effectivement été respecté. Certains estimaient que les réductions de vitesse des navires mises en place dans le cadre du programme ECHO ne visaient pas spécialement à compenser le bruit du projet TMX, mais d'autres n'étaient pas d'accord. Le concept de réserves d'habitats n'a donc pas été poussé plus loin pour le cas d'essai et a été rejeté par de nombreux participants, bien qu'il constitue un moyen de tenir compte des mesures existantes en place si une base de référence ultérieure (postérieure à 2018) était approfondie dans les calculs de la compensation.

3.8.1. Niveaux sonores ambiants minimaux

Les niveaux du paysage sonore ambiant sont influencés par des sources sonores abiotiques et anthropiques. Afin de mieux comprendre les ajouts provenant des navires liés au projet, sans contribution extérieure du paysage sonore, nous les avons estimés par rapport à une base de référence « idéale », en utilisant des niveaux sonores ambiants minimaux. Dans des conditions ambiantes minimales, on suppose que les perturbations acoustiques et les effets de masquage pour les espèces marines sont absents, car le paysage sonore est exempt du bruit des navires, du vent et des vagues, et la distance sur laquelle les communications et l'écholocalisation peuvent se produire est maximale (voir Burnham *et al.* 2023). Ainsi, le calcul des ajouts à partir de ce niveau représente la plus grande variation des niveaux sonores prévus et constitue une approche prudente pour estimer l'effet des navires du projet TMX.

Pour le cas d'essai, le niveau ambiant minimal a été calculé à partir des enregistrements effectués dans la mer des Salish aux six amarrages les plus anciens (banc Swiftsure, Port Renfrew, rivière Jordan, Sooke, détroit de Haro et passage Boundary; figure 1). Les niveaux sonores au niveau de dépassement L_{99} de mai à octobre pour la période 2018 à 2020 ont été pris en compte (figures 12, 17). Ce niveau de dépassement était considéré comme représentant

le niveau de bruit ambiant de fond lorsque la mer de Beaufort était calme, sans bruit du vent ou des vagues. Les sites susceptibles d'être influencés par le vent de terre et la navigation éloignée (banc Swiftsure et Port Renfrew) ont été exclus de la définition du niveau ambiant minimal. Nous avons employé les valeurs estivales, car l'influence environnementale sur les niveaux de bruit ambiant est la plus faible à cette période (Burnham *et al.* 2021b) et l'utilisation des données acoustiques de mai à octobre est cohérente avec la période utilisée pour d'autres analyses menées dans le cadre de l'évaluation de la compensation. Le détroit de Haro et le passage Boundary étaient les sites les plus calmes lorsqu'ils n'étaient pas influencés par l'apport aigu des passages directs des navires; nous avons donc utilisé un regroupement des niveaux de dépassement L_{99} à ces sites pour former le niveau ambiant minimal (figure 20). Les différences entre les valeurs des fréquences utilisées pour les plages de communication et d'écholocalisation à chaque amarrage étaient minimales (figure 17), de sorte que les valeurs du niveau ambiant minimal ont été appliquées globalement, dans toute la zone d'étude sans plus de précision.

Le champ de bruit modélisé dans cette analyse, NL' , peut donc être décrit comme suit :

$$NL'(f, i, j, d) = NL(f, i, j, d) \quad \text{pour } NL(f, i, j, d) \geq NL_0(f) \quad (4)$$

$$NL'(f, i, j, d) = NL_0(f) \quad \text{pour } NL(f, i, j, d) \leq NL_0(f) \quad (5)$$

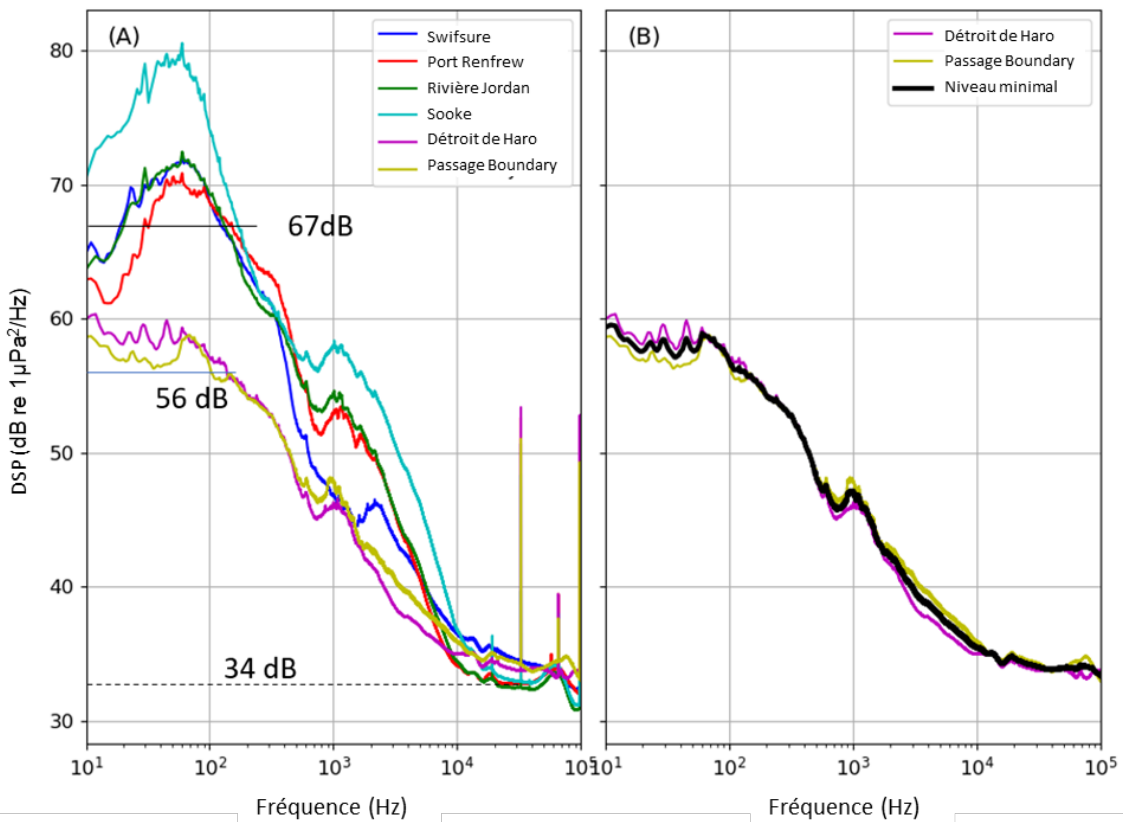


Figure 17. Courbe de densité spectrale de puissance (DSP) pour les niveaux de dépassement L_{99} pour les données regroupées des emplacements de six amarrages de mai à octobre pour la période 2018 à 2020. Le niveau sonore ambiant minimal (ligne noire) a été formé à partir de la moyenne du déroit de Haro et du passage Boundary. La ligne tirée représente le niveau dérivé pour la fréquence possible de l'écholocalisation de 50 kHz (34 dB).

On peut appliquer le niveau ambiant de référence et le niveau ambiant minimal à l'ensemble de la zone d'étude, comme pour le cas d'essai, ou choisir des valeurs plus localisées ou propres à une zone. Ces zones peuvent être équivalentes aux sous-régions définies ou regrouper plusieurs sous-régions en zones. L'application d'une approche régionale serait fondée sur les similitudes observées ou estimées dans les niveaux sonores et les propriétés de transmission des régions, ainsi que sur les distinctions entre les zones.

3.9. CALCUL DE LA VARIATION PAR RAPPORT AU NIVEAU DE RÉFÉRENCE

Toutes les variations des niveaux sonores ont été exprimées par rapport à la base de référence de 2015, établie avant le projet, pour cet exemple conceptuel du cadre de compensation proposé. Les variations dans le paysage sonore ont été caractérisées à l'aide des niveaux sonores médians dans les plages de communication et d'écholocalisation des ERS, ainsi que d'un paramètre regroupé englobant toute la gamme de leur répertoire (de 0,5 à 100 kHz). Les régions touchées ont été définies à l'aide des variations entre les valeurs du niveau ambiant minimal et la base de référence, où les ajouts du vent et des autres navires étaient les plus faibles. Des données synthétiques ont été créées pour représenter les scénarios de présence de navires du projet TMX (base de référence + pétroliers et remorqueurs du projet) et la mesure de ralentissement des navires proposée comme mesure de gestion de la compensation (base de référence – 100 % de ralentissement de l'ensemble du transit).

3.9.1. Ajouts du bruit provenant des navires liés au projet

Le modèle de bruit des navires a estimé les niveaux de bruit pour l'augmentation prévue du trafic de pétroliers à destination et en provenance de Vancouver résultant du projet TMX. Avant que les augmentations du trafic lié au projet ne soient pleinement réalisées, les pétroliers servant aux activités du projet transitaient de Vancouver au banc La Pérouse environ une fois par semaine. Lorsque le nouveau pipeline sera opérationnel, ce nombre passera à environ un pétrolier par jour quittant le site de chargement de l'inlet Burrard et traversant la zone d'étude. Ce scénario de multiplication par 7 a été simulé en créant un enregistrement synthétique adapté du SIA à partir des données de 2015 comme année de référence (figures 18 et 19, tableau 2). Le moment de ces transits a été randomisé, car on ignore l'horaire précis des navires.

Les pétroliers d'un port en lourd estival de 40 000 tonnes ou plus et transportant plus de 6 000 tonnes de liquides dans le détroit de Haro et le passage Boundary doivent être accompagnés de remorqueurs d'escorte. Pour les transits sortants, l'escorte commence à environ 2 milles marins au nord d'East Point, sur l'île Saturna, jusqu'aux rochers Race environ. Ces escortes nécessaires faisaient partie des données simulées créées pour le scénario des navires liés au projet TMX. Le niveau de bruit total, y compris celui des navires du projet en plus de la base de référence (figures 18 et 19), et l'emplacement des ajouts de bruit des navires (figures 20 et 21) ont été estimés dans les plages de communication et d'écholocalisation des ERS.

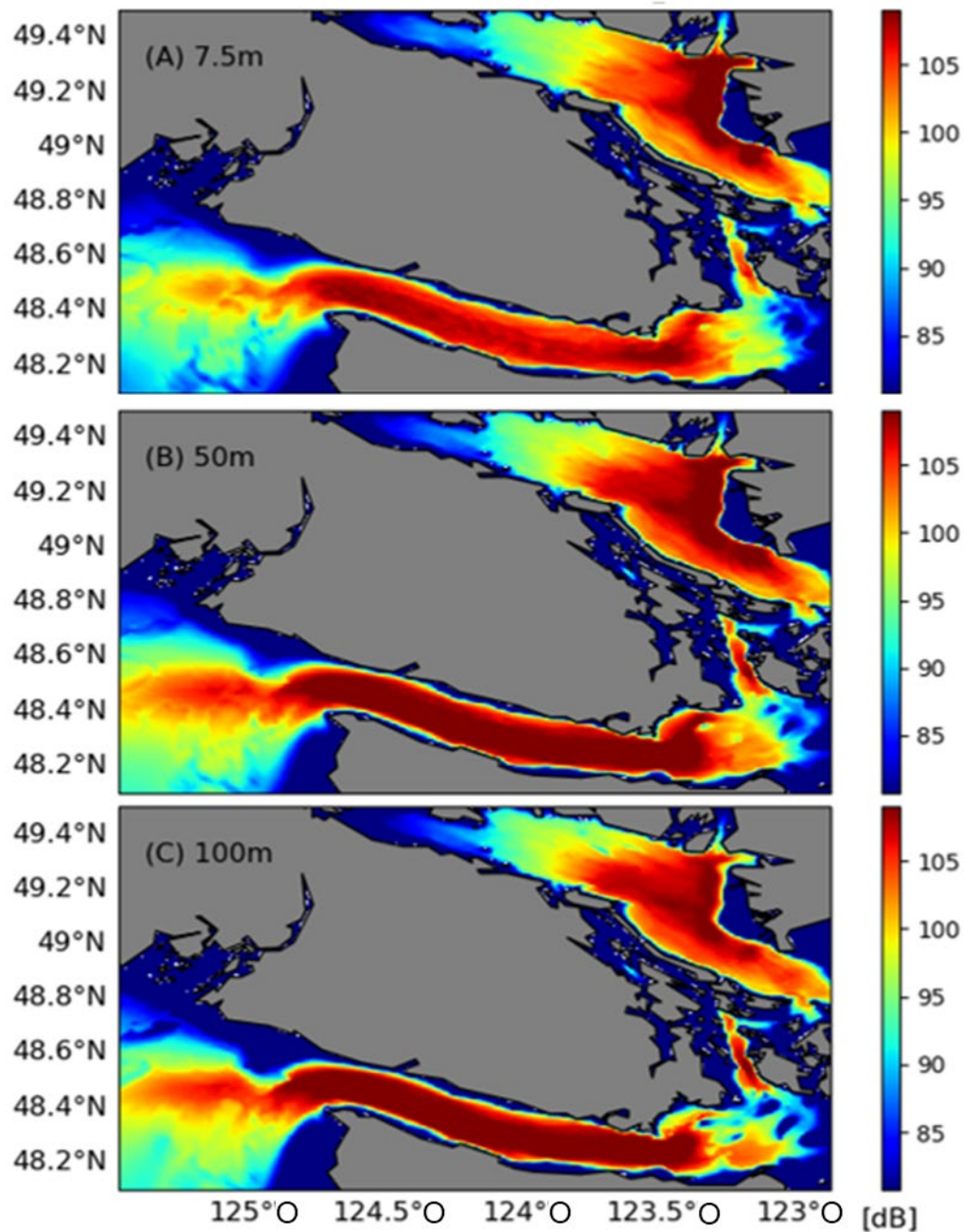


Figure 18. Modélisation des niveaux de bruit médians (en dB) dans la plage des vocalisations de communication des ERS (de 500 Hz à 15 kHz) à l'aide de données synthétiques du système d'identification automatique (SIA) de mai à octobre 2015, ajustées pour inclure les transits prévus des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.

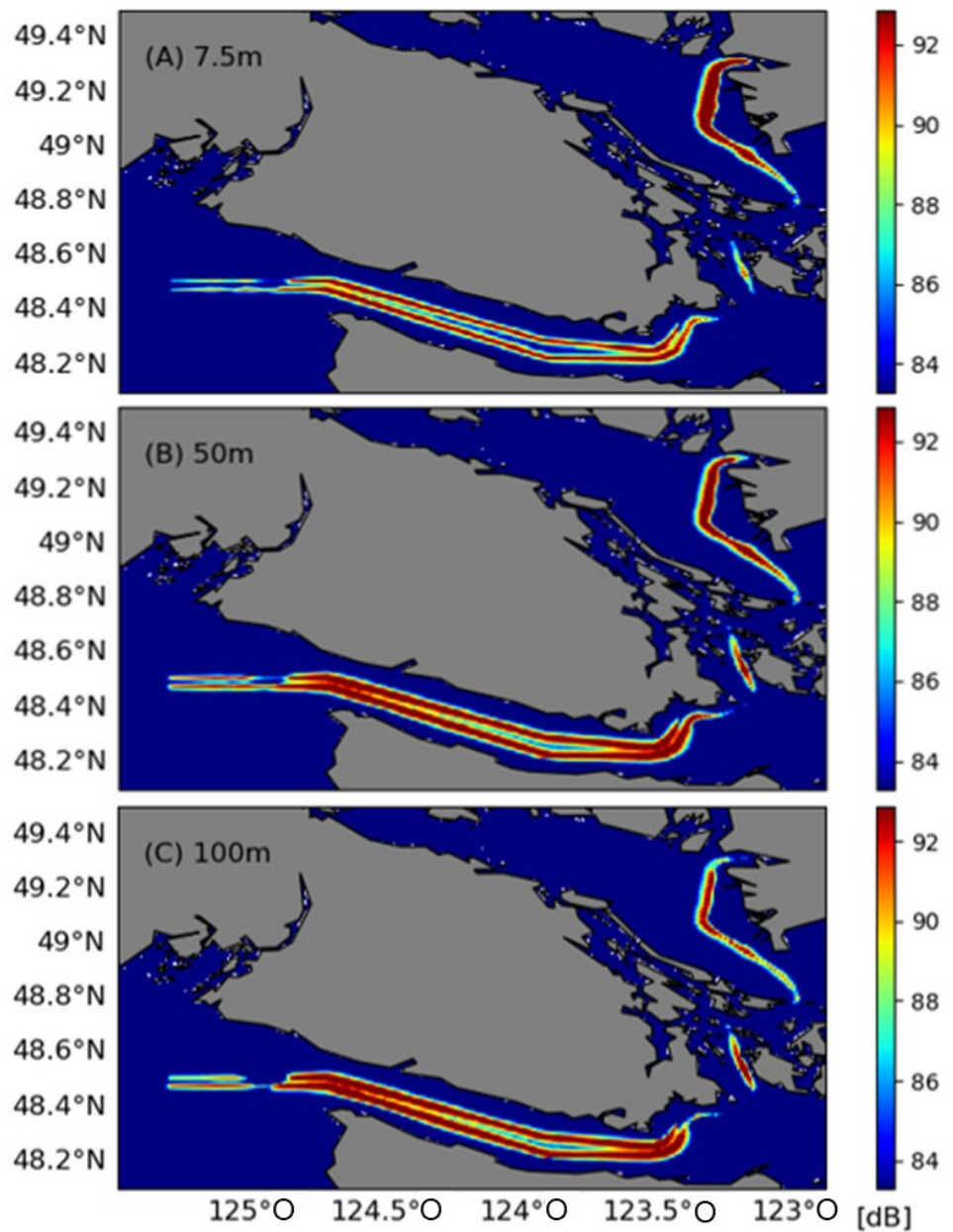


Figure 19. Modélisation des niveaux de bruit médians (en dB) dans la plage des vocalisations d'écholocalisation des ERS (de 15 à 100 kHz) à l'aide de données synthétiques du système d'identification automatique (SIA) de mai à octobre 2015, ajustées pour inclure les transits prévus de pétroliers et de remorqueurs du projet TMX à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.

Pour les gammes de fréquences de communication et d'écholocalisation des ERS, les niveaux sonores étaient les plus élevés dans les voies de navigation et à proximité. L'étendue spatiale des niveaux sonores élevés était plus grande pour les fréquences basses à moyennes des vocalisations de communication (figures 18 et 19), englobant la majeure partie des détroits de Juan de Fuca, de Haro et de Géorgie (figure 18). Nous avons relevé peu de différences entre les profondeurs considérées, bien que le modèle indique que les niveaux sonores les plus élevés se rencontraient à 50 m (figures 18 et 19).

3.9.2. Décrire les zones d'impact

Les zones d'impact étaient celles où les niveaux sonores devraient augmenter par rapport aux niveaux ambiants minimaux; elles ont été visualisées pour le cas d'essai en tenant compte de l'élévation des niveaux sonores dans les gammes de fréquences de communication et d'écholocalisation des ERS résultant de la présence des navires du projet TMX (figures 20 et 21). La variation des niveaux de bruit a été exprimée sous forme d'une augmentation en décibels (dB) calculée à l'aide des niveaux de bruit médians de mai à octobre. Les ajouts de bruit ont été concentrés dans les zones entourant les voies de navigation et dans les eaux moins profondes, ce qui définit l'empreinte acoustique des navires du projet TMX dans la zone d'étude (figures 18 à 21).

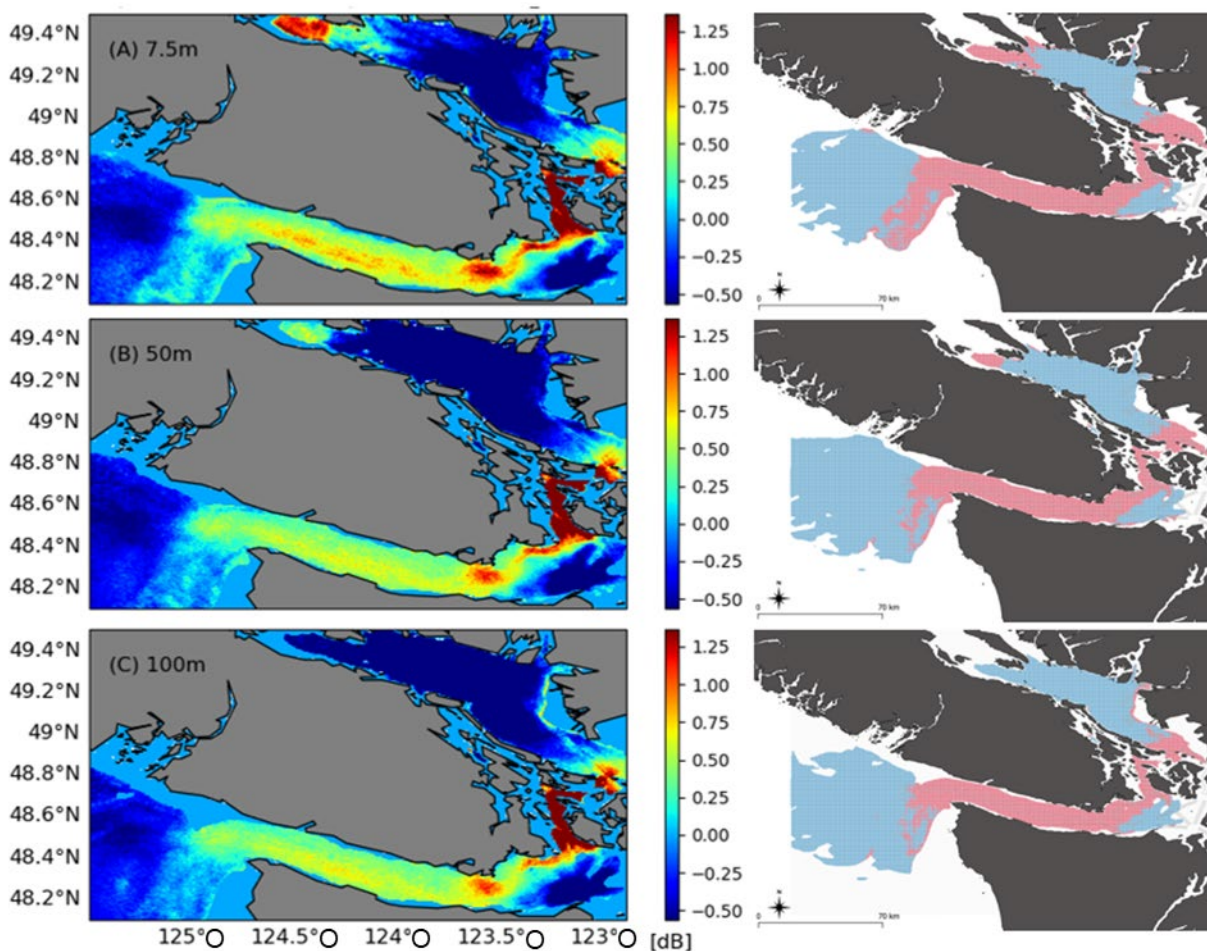


Figure 20. À GAUCHE : Modélisation des variations du niveau de bruit médian (en dB) dans la plage des vocalisations de communication des ERS (de 500 Hz à 15 kHz) par rapport au scénario utilisant des données synthétiques du système d'identification automatique (SIA) de mai à octobre 2015, ajustées pour inclure les transits prévus des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX. À DROITE : Mise en évidence des variations sous forme de sortie binaire, où rouge = niveaux sonores accrus et bleu = aucune variation résultant de la présence du trafic du projet TMX à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.

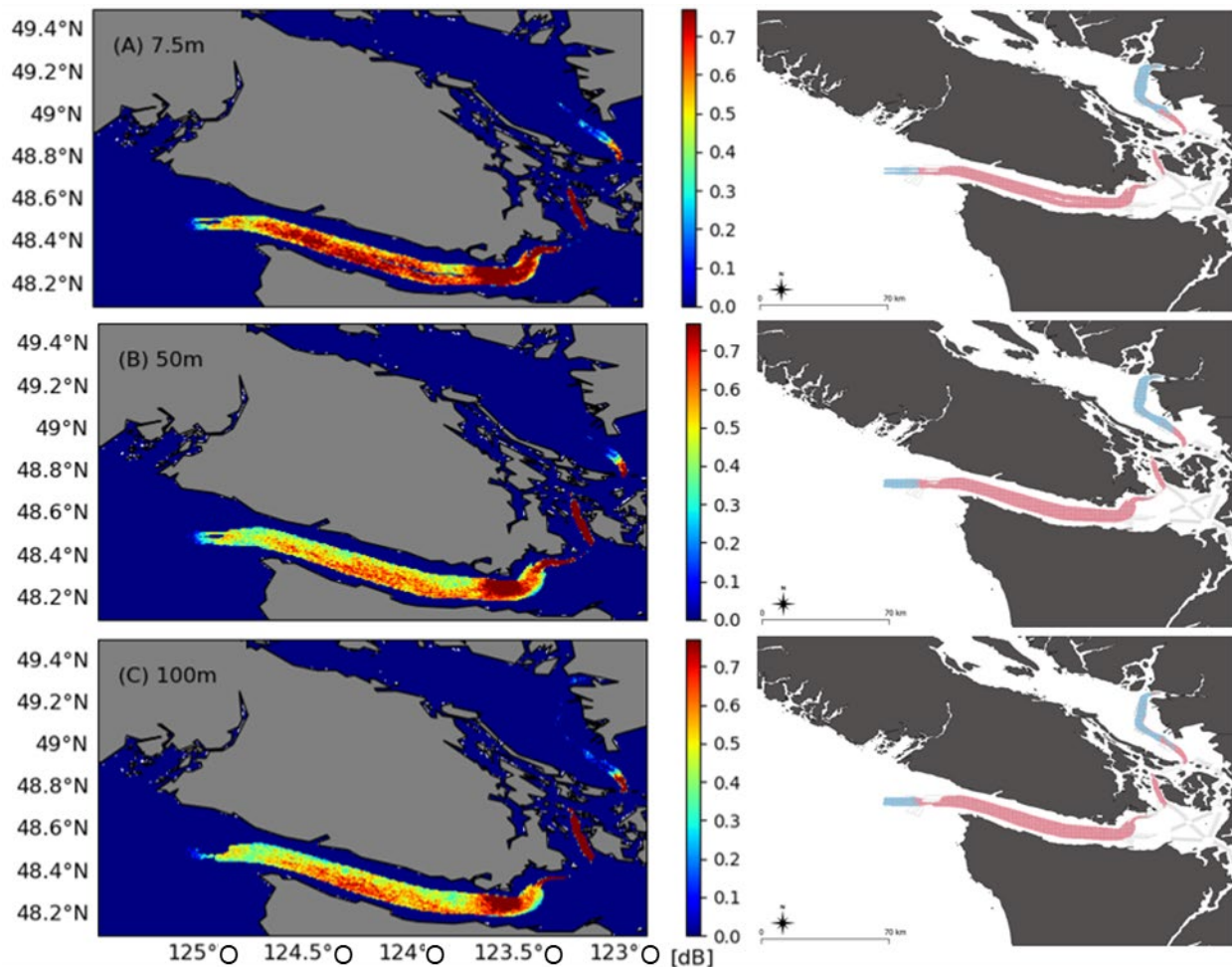


Figure 21. À GAUCHE : Modélisation des variations du niveau de bruit médian (en dB) dans la plage des signaux d'écholocalisation des ERS (de 15 à 100 kHz) entre la base de référence et le scénario utilisant des données synthétiques du système d'identification automatique (SIA) de mai à octobre 2015, ajustées pour inclure les transits prévus des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX. À DROITE : Mise en évidence des variations sous forme de sortie binaire, où rouge = niveaux sonores accrus et bleu = aucune variation résultant de la présence du trafic du projet TMX à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.

Des ajouts étaient présents dans le détroit de Juan de Fuca, le détroit de Haro et à l'extrémité sud du détroit de Géorgie dans les fréquences de communication et d'écholocalisation des ERS. Ils étaient les plus importants autour de Sooke et dans le détroit de Haro (figures 20 et 21). Aucune référence aux données sur les espèces focales n'a été faite, et l'impact n'est donc pas déterminé par le nombre d'individus exposés au bruit par rapport à la population (p. ex. Wood *et al.* 2012, Lawson et Lesage 2013), mais indique simplement une élévation des niveaux sonores.

3.10. VARIATIONS DES NIVEAUX SONORES RÉSULTANT DES MESURES DE COMPENSATION

Les mesures de gestion utilisées pour atténuer les ajouts de bruit des navires liés au projet et compenser les effets résiduels doivent être bien comprises, soigneusement sélectionnées en fonction des meilleures données scientifiques disponibles, réalisables sur le plan technologique

et entraîner des avantages mesurables avec une forte probabilité de succès. Pour la compensation, les mesures doivent être appliquées plus largement que l'atténuation des seuls impacts liés au projet.

Pour pouvoir atteindre l'objectif d'aucune augmentation nette du bruit, les mesures doivent entraîner des réductions équivalentes ou supérieures aux augmentations progressives du bruit généré par le projet TMX. À cette fin, on peut réduire les niveaux de bruit des navires dans la zone d'étude en général, avec des mesures visant plus que les seuls navires du projet. En vertu du principe d'additionnalité, les mesures devraient également dépasser les mesures de gestion qui ont pu être mises en place dans la zone d'étude avant le début du projet et qui ne visent pas directement la seule diminution de l'impact du projet. Grâce à ce principe, les mesures de gestion imposées pour la compensation l'emportent sur les réductions qui se seraient produites autrement, sans autre intervention. Le concept d'additionnalité dans la compensation consiste à mettre en place des mesures propres au projet et qui procureront des gains d'habitat supérieurs à ceux qui seraient obtenus uniquement avec un scénario de « maintien du statu quo » (Gross *et al.* 2016).

La mesure de gestion proposée pour la compensation présentée dans le cas d'essai consistait à ralentir tous les navires commerciaux de classe A équipés du SIA dans la zone d'étude à 10 nœuds pour leur transit complet. Il convient de noter que les limites de la mise en œuvre des mesures compensatoires proposées n'ont pas été prises en compte et que l'application de ces mesures pourrait poser des problèmes de faisabilité ou faire l'objet de mises en garde si elles devaient être mises en œuvre et non seulement envisagées de façon théorique. Ce scénario de gestion proposé dépasse toutes les mesures actuellement en place ou déjà mises à l'essai dans la mer des Salish, avec une plus grande étendue spatiale que les zones de ralentissement actuelles et une réduction de vitesse plus importante demandée. La réduction de la vitesse à 10 nœuds est toutefois conforme aux mesures adoptées pour réduire les risques de perturbation acoustique et de collision avec des navires pour les espèces en péril dans d'autres régions.

3.10.1. Ralentissement de tous les navires : scénario conceptuel de compensation proposé

Le modèle de bruit des navires a été utilisé pour évaluer les réductions de bruit possibles grâce aux mesures de gestion dans l'ensemble de la zone d'étude. Cette modélisation a été réalisée pour répondre aux commentaires reçus des participants lors du premier examen du document de travail à l'occasion de la réunion du SCAS en mars 2024. Les données d'entrée des navires pour l'essai de ralentissement ont été synthétisées en manipulant les transmissions de données réelles du SIA de 2015 afin de permettre une comparaison cohérente avec la base de référence modélisée. Des données synthétiques ont été créées pour le scénario de ralentissement conceptuel proposé, où 100 % des navires ont été ralentis pour voyager à 10 nœuds pendant tout leur transit dans la mer des Salish, et pour chaque traversée pendant la période de la présente analyse (de mai à octobre). Le modèle a permis de mettre à l'essai l'approche de compensation et son potentiel de réduction du bruit dans toute la zone d'étude. Pour chaque transit de navire, chaque point de données de cinq minutes sur la route d'un navire a été comparé à la vitesse cible à l'aide de la vitesse sur le fond (SOG) calculée à partir de la distance parcourue sur le temps écoulé dans les données du SIA. Si la vitesse du navire était égale ou inférieure à 10 nœuds, les données sur le transit du navire demeuraient inchangées. Si la vitesse dépassait 10 nœuds, elle était ajustée. Lorsque les navires ne se déplaçaient pas à la vitesse cible, on calculait le temps nécessaire pour parcourir la distance entre chacun des emplacements de 5 minutes à la vitesse de ralentissement. L'horodatage des données du SIA a été ajusté dans les données synthétiques pour refléter le temps supplémentaire nécessaire

pour parcourir la distance à 10 nœuds plutôt qu'à la vitesse calculée à partir des données du SIA. Cette manipulation des données a été appliquée à l'ensemble du trafic dans la mer des Salish, qu'il soit entrant ou sortant. Tous les navires transitant dans le domaine du modèle ont été modélisés comme se déplaçant à 10 nœuds. À la sortie des ports comme celui de Vancouver, ils pouvaient augmenter leur vitesse à 10 nœuds, mais sans dépasser cette limite. Les navires d'escorte, en particulier les remorqueurs accompagnant des pétroliers, ont été ralentis en fonction des mesures prises à bord du navire escorté pour que leur vitesse et leur direction concordent. Les navires d'escorte ont été définis comme ceux qui se déplacent dans un rayon de 200 m d'un navire aux endroits où une escorte serait nécessaire, en suivant un cap directionnel qui ne diffère pas de plus de 10° et à une vitesse qui ne diffère pas de plus de 3 nœuds pendant au moins deux points de données consécutifs de 5 minutes.

Des réductions des niveaux de bruit ont été observées dans toutes les zones des voies de navigation, avec des réductions de plus de 4 dB dans les fréquences de communication des ERS et de 2 dB dans leur gamme de fréquences d'écholocalisation (figures 22 et 23). Les zones où la réduction du bruit était la plus importante se trouvaient dans le détroit de Géorgie pour les gammes des fréquences de communication et d'écholocalisation des ERS. Les zones d'eaux peu profondes ont également été mises en évidence pour la gamme de fréquences des vocalisations de communication comme zones de réduction du niveau sonore (figure 21). Dans la gamme de fréquences d'écholocalisation, les réductions des niveaux de bruit étaient également importantes dans certaines zones des voies de navigation du détroit de Juan de Fuca (figure 22). On pense que les augmentations des niveaux sonores dans certaines parties du détroit de Haro et du passage Boundary sont attribuables à la présence d'un plus grand nombre de navires dans ces zones en même temps, le ralentissement faisant en sorte que les navires sont regroupés (figures 22 et 23).

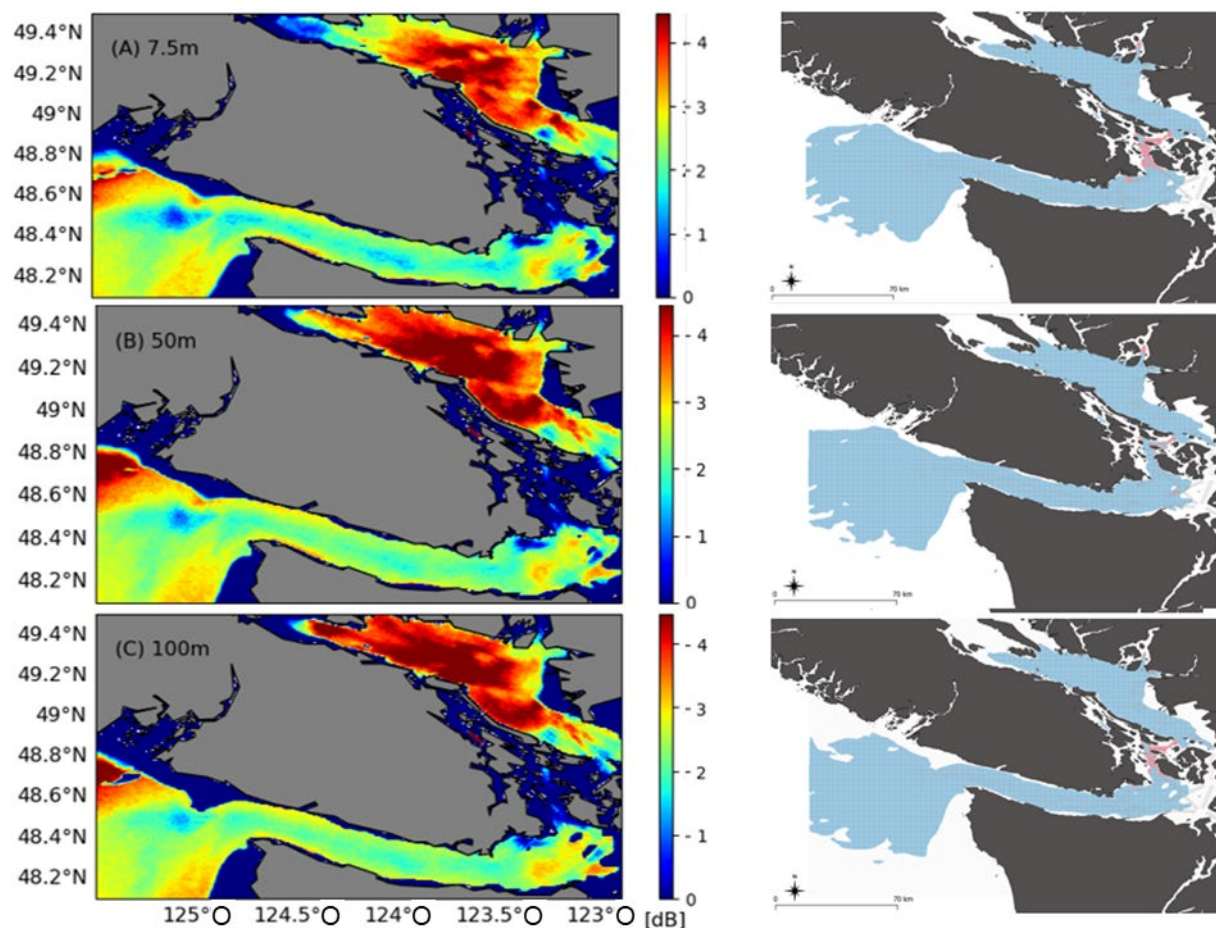


Figure 22. À GAUCHE : Modélisation des variations du niveau de bruit médian (en dB) dans la plage des vocalisations de communication des ERS (de 500 Hz à 15 kHz) par rapport à la base de référence de mai à octobre 2015 et au scénario de ralentissement complet où tous les navires commerciaux se déplacent à 10 nœuds. À DROITE : Mise en évidence des variations sous forme de sortie binaire, où rouge = niveaux sonores accrus et bleu = aucune variation résultant de la présence du trafic du projet TMX à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.

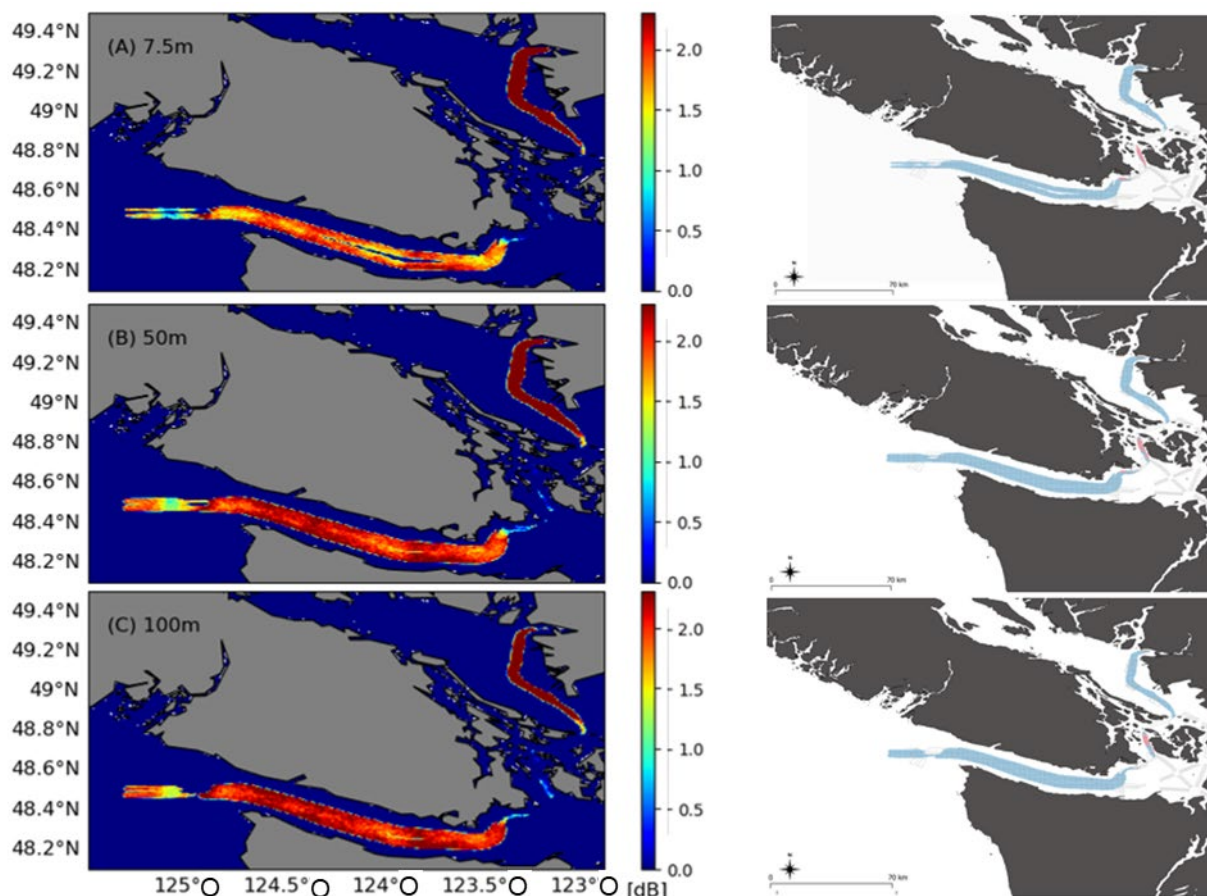


Figure 23. À GAUCHE : Modélisation des variations du niveau de bruit médian (en dB) dans la plage des signaux d'écholocalisation des ERS (de 15 à 100 kHz) par rapport à la base de référence de mai à octobre 2015 et au scénario de ralentissement complet où tous les navires commerciaux se déplacent à 10 nœuds. À DROITE : Mise en évidence des variations sous forme de sortie binaire, où rouge = niveaux sonores accrus et bleu = aucune variation résultant de la présence du trafic du projet TMX à (A) 7,5 m, (B) 50 m et (C) 100 m.

3.10.1.1. Faisabilité

Le scénario de gestion conceptuel modélisait la participation du ralentissement à 100 %, mais plusieurs raisons peuvent influencer sur le fait qu'un exploitant de navire se conforme à une demande de réduction de vitesse. Les répercussions financières, opérationnelles et éventuellement sur la chaîne d'approvisionnement d'une réduction de la vitesse de transit des navires ont été documentées (p. ex., voir Maloni *et al.* 2013, Hanafiah *et al.* 2021). Pour les navires de la mer des Salish, le ralentissement proposé non seulement allongera le temps de transit et retardera l'arrivée au port, mais le nombre de pilotes à bord nécessaires pour superviser le passage de chaque navire dans la zone de pilotage augmentera lui aussi, car le temps de transit dépassera un quart de travail de 8 heures. Il faut obligatoirement un pilote côtier de la Colombie-Britannique à bord des navires commerciaux de plus de 350 tonneaux de jauge brute et des embarcations de plaisance de plus de 500 tonneaux de jauge brute entrant dans le port ou en sortant. Il peut également y avoir une augmentation du coût du carburant si le navire tente de rattraper du temps ailleurs sur son trajet.

Dans les zones soumises à de forts courants, à une grande influence des marées ou à une turbulence accrue de l'eau, la manœuvrabilité réduite à des vitesses plus lentes est souvent

citée comme un problème de sécurité (voir MacGillivray *et al.* 2019). La participation maximale et la sécurité de la navigation ont convergé lorsque l'on a demandé aux navires de se déplacer à des vitesses ne dépassant pas 11 nœuds lors des essais de ralentissement actuels pour la mer des Salish (voir MacGillivray *et al.* 2019). On craignait qu'un ralentissement plus grand, à des vitesses inférieures à 10 nœuds, ne crée plus de problèmes économiques et de sécurité pour l'industrie, ce qui réduirait la participation. On pourrait utiliser un multiplicateur (discuté plus en détail à la section 3.8.3) pour exprimer les niveaux de participation réalistes dans le scénario présenté. D'autres mesures visant à réduire les émissions de bruit dans la mer des Salish et l'habitat des ERS pourraient être modélisées à l'avenir, notamment en optant pour une conception plus silencieuse ou d'autres approches technologiques.

3.11. CALCUL ET ÉCHANGE DES CRÉDITS

Si une approche de crédit compensatoire venait à être adoptée, il faudrait établir la valeur et les unités de l'échange de crédits. Les crédits doivent être défendables et utiliser des mesures d'échange reproductibles, qui peuvent être fondées sur un paramètre ou une unité de surface d'habitat, ou sur la quantité d'habitat créée, restaurée ou améliorée. Pour le cas d'essai, ils pourraient être représentés par une variation des niveaux sonores en décibels (dB). Il peut également s'agir d'un paramètre de variation par rapport à un niveau sonore de référence ou de l'objectif d'aucune augmentation nette du bruit. L'échange de crédits exige une équivalence commune entre les sous-régions, qui peut tenir compte de l'utilisation de l'habitat et des avantages de chaque lieu pour l'espèce focale, ainsi que du fait que cette utilisation peut différer selon le stade biologique, le sexe et le type.

Les objectifs de compensation à somme nulle ou sans variation nette signifient que le calcul et l'échange de crédits permettent de compenser intégralement les pertes d'habitat résiduelles. Pour le cas d'essai, il s'agit de déterminer la quantité de bruit des navires à réduire en général pour tenir compte des ajouts provenant des navires du projet TMX.

Pour compenser l'impact du bruit lié au projet TMX pour le cas d'essai, il faudrait contrer les ajouts résiduels au paysage sonore par des crédits provenant de zones où le scénario de ralentissement a permis de réduire les niveaux de bruit. Les participants ont fait valoir que cet échange ne devrait avoir lieu que dans les régions où les ERS sont présents. Nous avons exécuté le scénario de référence plus les pétroliers et remorqueurs du projet TMX avec un ralentissement de tous les navires à 10 nœuds afin de visualiser ces zones de résidus et de crédits compensatoires. Comme pour les figures 21 et 22, les zones d'impact et de réduction ont été visualisées (figure 24). Les zones où il y avait encore des ajouts sonores ont été représentées en rouge et celles où les niveaux sonores globaux étaient réduits, en bleu. L'occurrence prévue des ERS au niveau de confiance de 70 % a été superposée (voir également la figure 5). Il convient de noter que la figure 24 ne montre que l'emplacement des résidus et des réductions de bruit, et ne donne aucune indication de l'ampleur de la variation par rapport à la base de référence (en dB). Les calculs de la compensation en tiendraient compte lors du calcul et de l'échange de crédits.

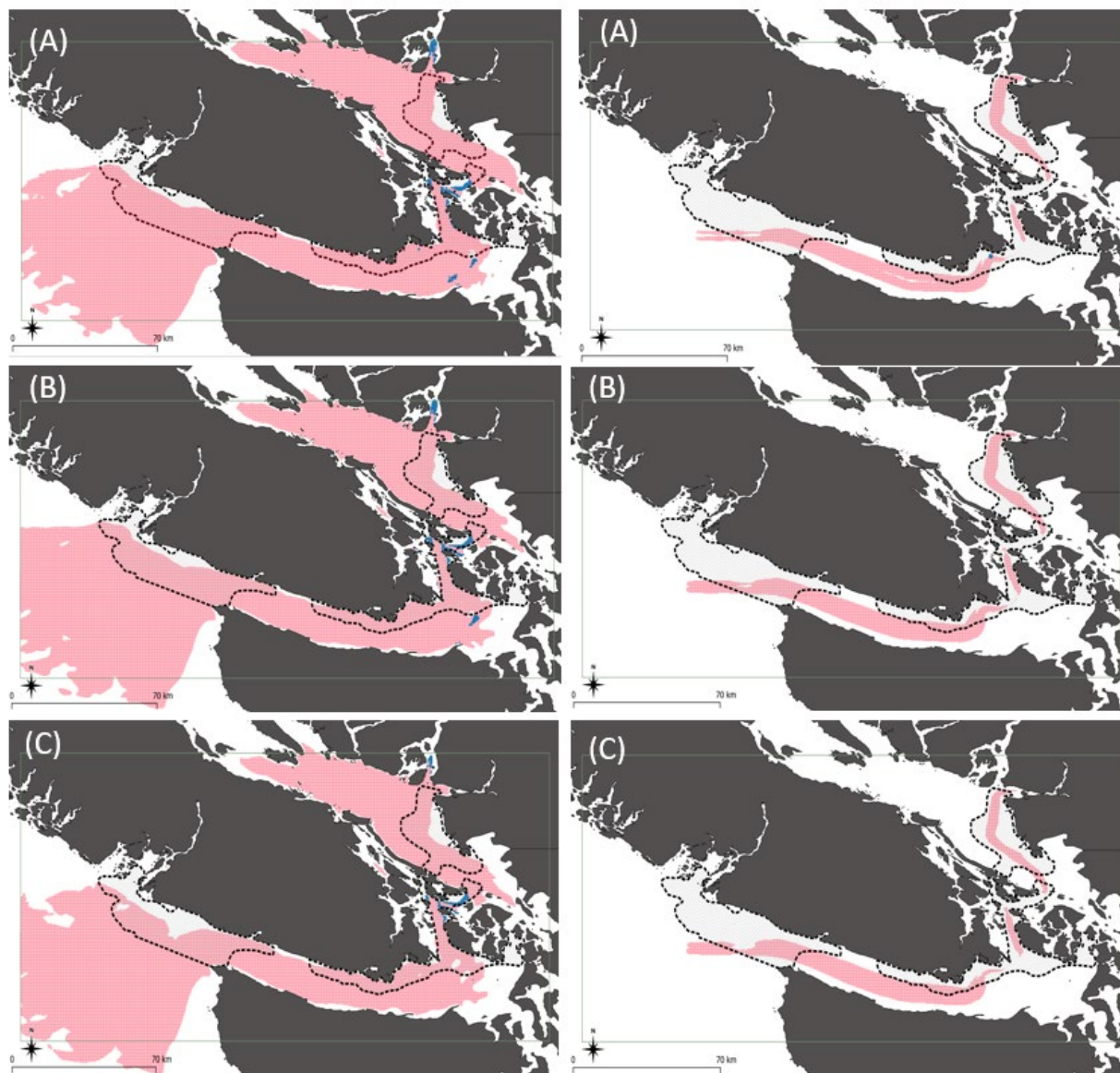


Figure 24. Visualisation des endroits où le bruit résiduel augmente et diminue par rapport à la base de référence pour le scénario (base de référence + navires du projet TMX) + ralentissement de tous les navires à 10 nœuds. Rouge = augmentation du niveau sonore; bleu = diminution du niveau sonore; ligne tiretée noire et hachures grises = occurrence prévue des ERS à un niveau de confiance de 70 %; rectangle jaune = étendue du modèle de bruit des navires. À GAUCHE : gamme de fréquences de communication des ERS; À DROITE : gamme d'écholocalisation des ERS; A = 7,5 m de profondeur; B = 50 m de profondeur; C = 100 m de profondeur. Exemple préliminaire à des fins de démonstration uniquement, il ne s'agit pas de résultats au point.

Le calcul des crédits pour l'échange est décrit à l'aide des équations 1 à 12 pour représenter la variation des niveaux sonores. Les crédits peuvent être encore modifiés par des facteurs de pondération ou des ratios de compensation comme paramètres et multiplicateurs de la valeur de l'habitat. Le calcul et l'échange de crédits doivent comporter des règles et des éléments hypothétiques permettant d'évaluer les résultats nets (Quetier et Lavorel 2012, Bull *et al.* 2013, 2014, 2016, Gibbons *et al.* 2015). Les participants ont discuté de la question de savoir s'il y

aurait un certain degré d'écart admissible, tout en concluant que la compensation avait permis d'atteindre l'objectif d'aucune augmentation nette du bruit, mais aucune conclusion n'a été tirée.

En fin de compte, le cas d'essai a mis en évidence des lacunes majeures dans le cadre proposé et n'a pas permis de démontrer une approche solide pour calculer et échanger les crédits, ainsi que pour appliquer le résultat du processus de compensation au projet TMX. Les participants pensaient que la compensation était une mesure prometteuse à explorer, mais à ce stade de l'élaboration du concept, l'utilisation de crédits compensatoires a été rejetée. Les suggestions formulées et les discussions tenues au cours de l'examen peuvent toutefois mener à des améliorations et appuyer de futures prises en compte de l'approche. Elles sont donc décrites plus bas dans les sections 3.8.2 et 3.8.3.

3.11.1. Variation du niveau sonore

L'excès de bruit associé à l'intensification de l'activité des navires, comme ceux liés au projet TMX, ou les réductions du bruit dues aux mesures d'atténuation et de compensation, NL_E , dans les gammes de fréquences de communication et d'écholocalisation des ERS, ont été calculés à partir d'extrapolations de la sortie du modèle à 125 Hz pour chacune des sous-régions.

Pour la communication, l'équation était la suivante :

$$NL_E(500 - 15000Hz) = 10 \log_{10} \frac{\sum_{ij}(nl_M(500-15000Hz,i,j))}{\sum_{i,j} nl_B(500-15000Hz,i,j)} \quad (6)$$

Pour l'écholocalisation :

$$NL_E(15 - 100kHz) = 10 \log_{10} \frac{\sum_{ij}(nl_M(15-100kHz,i,j))}{\sum_{i,j} nl_B(15-100kHz,i,j)} \quad (7)$$

où les additions portent sur tous les points de grille du modèle dans une sous-région donnée, et où :

$$nl_M = 10^{**} \left(\frac{RL_M}{10} \right)$$

$$nl_B = 10^{**} \left(\frac{RL_B}{10} \right)$$

sont les représentations linéaires de l'excès ou de la réduction du bruit et des sorties du modèle de référence, respectivement. Calculés de cette façon, à l'aide des équations (6) et (7), l'excès ou la réduction du bruit deviennent indépendants de la taille de chaque sous-région. Cela permet d'échanger plus facilement des crédits entre les régions, quelle que soit leur taille ou leur forme les unes par rapport aux autres, puisque le calcul de chaque unité de crédit montre l'équivalence.

Si elle est prise en compte à la résolution des sorties du modèle, la correction de l'expression de la variation des niveaux sonores comme fonction du nombre de points de grille dans une sous-région ne sera pas nécessaire. Dans ce cas, la variation des niveaux sonores serait exprimée pour chaque point de grille indépendamment. Cependant, il est possible de conserver la fonction pour rendre les valeurs équivalentes dans le calcul lorsqu'on concilie le calcul de la variation des niveaux sonores et les facteurs de pondération. Pour le cas d'essai, cela permettrait de résoudre les sorties du modèle de bruit des navires avec les modèles d'utilisation de l'habitat et de comportement utilisés pour calculer les facteurs de pondération, si les calculs ont été effectués à la résolution plus fine des sorties du modèle et non pour les sous-régions.

L'excès global pertinent de bruit ou la réduction globale pertinente du bruit pour les ERS pour chaque sous-région ont été calculés comme un seul paramètre (ligne « Valeurs combinées » dans les tableaux 2 à 8) en combinant les deux paramètres de communication et d'écholocalisation des ERS (6) et (7) en un seul, NL_E , qui peut être exprimé comme suit :

$$NL_E = 10 \log_{10} \left(10^{**} 10 \log_{10} \left(10^{**} (NL_E (NL_E 10 \log_{10} (10^{**} (\frac{NL_E(500-15000Hz)}{10}) + (10^{**} (NL_E (NL_E (10^{**} (\frac{NL_E(15-100kHz)}{10}) \right) \right) \right) \right) \right) \right) \quad (8)$$

À titre d'exemple pratique utilisant les données du cas d'essai, la variation des niveaux de pression acoustique entre la base de référence et le scénario des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX a été calculée pour chacune des sous-régions, à l'aide des sous-divisions définies par le comportement (tableau 2a) et sur le plan acoustique (tableau 2b). Il s'agit de la première étape du calcul des crédits compensatoires. Pour cette application conceptuelle du cadre proposé, les calculs ont été effectués en prenant 2015 comme année de référence et les données modifiées du SIA de 2015 pour les scénarios (valeurs des figures 15, 18-19, 22-23). Pour chaque sous-région, la proportion d'animaux qui subirait des niveaux de bruit élevés est indiquée, et l'augmentation ou la diminution des niveaux sonores médians en décibels (dB) est calculée (tableau 2).

Tableau 2a. Proportion des sous-régions définies par le comportement où les valeurs sont élevées par rapport à la base de référence en raison des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX (colonne « Impact (%) ») et excès de bruit médian dans une sous-région donnée (en dB), calculés à partir des données de 2015 aux profondeurs de 7, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées »).

Sous-région	Impact (%)			Augmentation (dB)		
	7 m	50 m	100 m	7 m	50 m	100 m
Banc La Pérouse						
Communication	11,0	0,0	0,0	-0,3	-0,4	-0,3
Écholocalisation	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-	-	-	-0,2	-0,3	0,2
Banc Swiftsure						
Communication	73,9	72,3	65,4	0,5	0,4	0,4
Valeurs combinées	30,0	43,0	41,9	0,4	0,4	0,4
Combined	-	-	-	0,5	0,4	0,4
Détroit de Juan de Fuca						
Communication	78,3	78,3	78,3	0,6	0,5	0,5
Valeurs combinées	34,2	43,0	41,9	0,6	0,6	0,5
Combined	-	-	-	0,6	0,5	0,5
Détroit de Haro						
Communication	45,6	47,6	43,0	0,9	0,7	1,0
Écholocalisation	7,9	12,1	9,2	0,3	0,5	0,5
Valeurs combinées	-	-	-	0,8	0,7	0,9
Inlet de l'Amirauté						
Communication	2,4	2,9	0,6	-0,1	-0,2	-0,2
Écholocalisation	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-	-	-	0,0	-0,1	-0,1
Îles Gulf						

Sous-région	Impact (%)			Augmentation (dB)		
	7 m	50 m	100 m	7 m	50 m	100 m
Communication	4,2	4,2	4,2	1,2	1,4	1,4
Écholocalisation	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-	-	-	0,9	1,1	1,1
Sud du détroit de Géorgie						
Communication	28,2	18,0	22,2	-0,4	-0,5	-0,5
Écholocalisation	4,7	3,0	4,9	-0,2	-0,2	-0,0
Valeurs combinées	-	-	-	-0,4	-0,6	-0,5
Nord du détroit de Géorgie						
Communication	11,0	11,0	0,6	-0,7	-1,1	-1,1
Écholocalisation	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-	-	-	-0,7	-1,1	-1,1
TOTAL POUR LA MER DES SALISH						
Communication	-	-	-	0,0	0,0	0,1
Écholocalisation	-	-	-	0,2	0,2	0,3
Valeurs combinées	-	-	-	0,0	0,0	0,1

Tableau 2b. Proportion des sous-régions définies par le paysage sonore où les valeurs sont élevées par rapport à la base de référence en raison des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX (colonne « Impact (%) ») et excès de bruit médian dans une sous-région donnée (en dB), calculés à partir des données de 2015 aux profondeurs de 7, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées »).

Sous-région	Impact (%)			Augmentation (dB)		
	7 m	50 m	100 m	7 m	50 m	100 m
Banc Swiftsure						
Communication	15,8	14,8	12,7	0,3	0,3	0,3
Écholocalisation	5,2	6,7	5,9	0,1	0,1	0,1
Valeurs combinées	-	-	-	0,3	0,3	0,3
Ouest du détroit de Juan de Fuca						
Communication	83,9	83,9	83,9	0,6	0,5	0,5
Écholocalisation	41,6	50,1	50,1	0,5	0,5	0,5
Valeurs combinées	-	-	-	0,6	0,5	0,5
Est du détroit de Juan de Fuca						
Communication	34,1	33,6	32,1	0,5	0,4	0,5
Écholocalisation	10,7	13,4	11,8	0,4	0,4	0,4
Valeurs combinées	-	-	-	0,5	0,4	0,5
Haro-Boundary						
Communication	50,4	50,4	50,4	2,2	2,0	2,0
Écholocalisation	0,1	3,4	5,1	0,4	0,7	0,7
Valeurs combinées	-	-	-	2,0	2,0	1,9
Îles Gulf						
Communication	2,0	2,0	2,0	0,5	0,6	0,6
Écholocalisation	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-	-	-	0,3	0,4	0,4
Détroit de Géorgie						

Sous-région	Impact (%)			Augmentation (dB)		
	7 m	50 m	100 m	7 m	50 m	100 m
Communication	14,7	9,4	12,3	-0,5	-0,7	-0,7
Écholocalisation	2,4	1,5	2,2	-0,2	-0,2	-0,1
Valeurs combinées	-	-	-	-0,5	-0,7	-0,7
TOTAL POUR LA MER DES SALISH						
Communication	-	-	-	0,0	0,0	0,1
Écholocalisation	-	-	-	0,2	0,2	0,3
Valeurs combinées	-	-	-	0,0	0,0	0,1

Des calculs semblables ont été effectués pour quantifier la variation des niveaux de bruit résultant du scénario de ralentissement des navires proposé comme mesure de gestion de la compensation. La variation des niveaux de pression acoustique résultant du ralentissement de tous les navires à 10 nœuds pendant l'intégralité de leur transit a été calculée pour les sous-régions définies par le comportement (tableau 3a) et à l'aide des données sur le paysage sonore (tableau 3b). Encore une fois, à titre de démonstration conceptuelle du calcul des crédits, les chiffres donnés sont les variations médianes calculées par rapport à l'année de référence 2015 et à l'aide des données modifiées du SIA de 2015 pour le scénario de ralentissement. La proportion de chaque sous-région qui subirait une réduction des niveaux sonores est indiquée. On indique également à l'aide d'astérisques les zones où les niveaux sonores augmenteraient, vraisemblablement à cause du regroupement des navires dans une seule zone de la sous-division (tableau 3).

Tableau 3a. Proportion des sous-régions définies par le comportement où les niveaux sonores ont été réduits par rapport à la base de référence par la mesure de ralentissement (colonne « Impact (%) »). Les sous-régions qui subiraient également des augmentations sont indiquées par un astérisque (). La variation du niveau sonore médian dans une sous-région donnée (en dB) a été calculée à partir des données de 2015 aux profondeurs de 7, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées »).*

Sous-région	Impact (%)			Variation due à l'atténuation (dB)		
	7 m	50 m	100 m	7 m	50 m	100 m
Banc La Pérouse						
Communication	39,3	44,2	31,6	-2,1	-2,7	-2,4
Écholocalisation	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-	-	-	-1,2	-1,8	-1,4
Banc Swiftsure						
Communication	84,5	83,5	72,7	-2,0	-2,2	-2,2
Écholocalisation	30,0	36,5	33,2	-1,2	-1,6	-1,7
Valeurs combinées	-	-	-	-2,0	-2,2	-2,2
Détroit de Juan de Fuca						
Communication	87,1	87,1	87,1	-2,0	-2,1	-2,2
Écholocalisation	34,2	43,0	41,9	-1,2	-1,7	-1,7
Valeurs combinées	-	-	-	-2,0	-2,1	-2,1
Détroit de Haro						
Communication	63,6*	65,3*	65,3*	-0,7	-1,0	-0,9
Écholocalisation	5,1*	4,5*	4,3*	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-	-	-	-0,7	-1,0	-0,9

Sous-région	Impact (%)			Variation due à l'atténuation (dB)		
	7 m	50 m	100 m	7 m	50 m	100 m
Inlet de l'Amirauté						
Communication	9,3	12,1	7,1	-0,7	-1,1	-0,9
Écholocalisation	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-	-	-	-0,3	-0,5	-0,4
Îles Gulf						
Communication	4,2*	4,2*	4,2*	-0,5	-0,4	-0,4
Écholocalisation	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-	-	-	-0,3	-0,3	-0,3
Sud du détroit de Géorgie						
Communication	70,5	70,5	70,5	-3,4	-3,6	-3,5
Écholocalisation	17,6	18,1	14,8	-2,0	-1,7	-1,0
Valeurs combinées	-	-	-	-3,3	-3,6	-3,5
Nord du détroit de Géorgie						
Communication	89,2	89,2	89,2	-3,8	-4,4	-3,5
Écholocalisation	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-	-	-	-3,7	-4,3	-4,3
TOTAL POUR LA MER DES SALISH						
Communication	-	-	-	-2,7	-2,7	-2,7
Écholocalisation	-	-	-	-0,9	-1,1	-1,0
Valeurs combinées	-	-	-	-2,6	-2,7	-2,6

Tableau 3b. Proportion des sous-régions définies par le paysage sonore où les niveaux sonores ont été réduits par rapport à la base de référence par la mesure de ralentissement (colonne « Impact (%) »). Les sous-régions qui subiraient également des augmentations sont indiquées par un astérisque (*). La variation du niveau sonore médian dans une sous-région donnée (en dB) a été calculée à partir des données de 2015 aux profondeurs de 7, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Combinées »).

Sous-région	Impact (%)			Variation due à l'atténuation (dB)		
	7 m	50 m	100 m	7 m	50 m	100 m
Banc Swiftsure						
Communication	50,9	55,3	40,6	-1,9	-2,1	-2,1
Écholocalisation	5,3	6,7	5,9	-0,2	-0,5	-0,6
Valeurs combinées	-	-	-	-1,7	-2,0	-2,0
Ouest du détroit de Juan de Fuca						
Communication	89,1	89,1	89,1	-2,0	-2,2	-2,2
Écholocalisation	41,6	50,1	50,1	-1,4	-1,8	-1,9
Valeurs combinées	-	-	-	-2,0	-2,2	-2,2
Est du détroit de Juan de Fuca						
Communication	57,1*	57,1*	57,1*	-1,9	-2,1	-2,1
Écholocalisation	10,9*	13,4	11,8	-0,6	-0,9	-0,9
Valeurs combinées	-	-	-	-1,8	-2,0	-2,1
Haro-Boundary						
Communication	21,5*	21,5*	21,5*	0,4	0,2	0,0
Écholocalisation	1,0*	3,4*	5,1*	0,1	0,1	0,0

Sous-région	Impact (%)			Variation due à l'atténuation (dB)		
	7 m	50 m	100 m	7 m	50 m	100 m
Valeurs combinées	-	-	-	0,4	0,2	0,1
Îles Gulf						
Communication	0,012*	0,012*	0,012*	-0,5	-0,7	-0,9
Écholocalisation	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-	-	-	-0,2	-0,4	-0,5
Détroit de Géorgie						
Communication	83,5	83,5	78,9	-3,4	-3,8	-0,9
Écholocalisation	9,6	9,6	9,6	-1,4	-1,1	-0,6
Valeurs combinées	-	-	-	-3,4	-3,7	-3,7
TOTAL POUR LA MER DES SALISH						
Communication	-	-	-	-2,7	-2,7	-2,7
Écholocalisation	-	-	-	-0,9	-1,1	-1,0
Valeurs combinées	-	-	-	-2,6	-2,7	-2,6

La prochaine étape du calcul des crédits consiste à établir la variation globale des niveaux sonores par sous-région et à déterminer si les réductions découlant des mesures de gestion (tableau 3) ont permis de remédier à l'augmentation du bruit (tableau 2) causée par les navires liés au projet. La variation globale a été calculée pour chaque sous-région, définie par le comportement (tableau 4a) ou sur le plan acoustique (tableau 4b), ainsi que pour la zone d'étude complète (tableau 4). La variation du niveau sonore qui en résulte, en décibels, est reportée à l'étape suivante du calcul des crédits. La prise en compte des variations à l'échelle de la sous-région permet de déterminer les zones qui bénéficieraient le plus de la mesure de ralentissement pour contrer les ajouts de bruit liés au projet TMX. À l'échelle du site d'étude, une variation des niveaux sonores dans l'ensemble de la mer des Salish est indiquée, en principe en pondérant les zones d'augmentation avec les réductions résultant du ralentissement proposé de tous les navires à 10 nœuds. Les calculs sur chaque échelle ont tenu compte de la variation du niveau sonore dans les gammes de fréquences de communication et d'écholocalisation des ERS ainsi que d'une valeur combinée des deux pour chaque profondeur de plongée représentative des ERS (tableau 4). Il est ainsi plus facile de déterminer l'aspect de l'éthologie des ERS qui pourrait être le plus touché par les variations du paysage sonore.

Tableau 4a. Variation moyenne globale du niveau sonore pour chaque pixel des sous-régions (en dB), calculée à partir des données de 2015 aux profondeurs de 7,5, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées ») pour les sous-régions définies d'après les données sur la présence et le comportement des baleines pour la base de référence plus le trafic des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX, avec un ralentissement de tous les navires commerciaux. Les valeurs négatives indiquent une diminution globale des niveaux de bruit et les valeurs positives, une augmentation globale.

Sous-région	Variation globale (dB)		
	7,5 m	50 m	100 m
Banc La Pérouse			
Communication	-1,8	-2,2	-2,1
Écholocalisation	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-1,0	-1,5	-1,2
Banc Swiftsure			
Communication	-2,6	-2,6	-2,7

Sous-région	Variation globale (dB)		
	7,5 m	50 m	100 m
Écholocalisation	-1,6	-2,1	-2,1
Valeurs combinées	-2,5	-2,6	-2,7
Détroit de Juan de Fuca			
Communication	-2,6	-2,6	-2,7
Écholocalisation	-1,8	-2,2	-2,2
Valeurs combinées	-2,6	-2,6	-2,7
Détroit de Haro			
Communication	-1,6	-1,8	-1,9
Écholocalisation	-0,3	-0,5	-0,5
Valeurs combinées	-1,5	-1,7	-1,8
Inlet de l'Amirauté			
Communication	-0,5	-0,9	-0,7
Écholocalisation	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-0,2	-0,4	-0,3
Îles Gulf			
Communication	-1,7	-1,8	-1,8
Écholocalisation	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-1,2	-1,4	-1,4
Sud du détroit de Géorgie			
Communication	-3,0	-3,0	-2,9
Écholocalisation	-1,7	-1,5	-1,0
Valeurs combinées	-2,9	-3,0	-2,9
Nord du détroit de Géorgie			
Communication	-3,1	-3,2	-3,2
Écholocalisation	0,0	0,0	0,0
Valeurs combinées	-3,0	-3,1	-3,1
TOTAL POUR LA MER DES SALISH			
Communication	-2,7	-2,7	-2,7
Écholocalisation	-1,1	-1,4	-1,3
Valeurs combinées	-2,7	-2,7	-2,7

Tableau 4b. Variation moyenne globale du niveau sonore pour chaque pixel des sous-régions (en dB), calculée à partir des données de 2015 aux profondeurs de 7,5, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées ») pour les sous-régions définies d'après les données sur le paysage sonore pour la base de référence plus le trafic des pétroliers et des remorqueurs du projet TMX, avec un ralentissement de tous les navires commerciaux. Les valeurs négatives indiquent une diminution globale des niveaux de bruit et les valeurs positives, une augmentation globale.

Sous-région	Variation globale (dB)		
	7,5 m	50 m	100 m
Banc Swiftsure			
Communication	-1.9	-2.1	-2.1
Écholocalisation	-0.3	-0.7	-0.7
Valeurs combinées	-2.0	-2.3	-2.4
Ouest du détroit de Juan de Fuca			

Sous-région	Variation globale (dB)		
	7,5 m	50 m	100 m
Communication	-2.0	-2.2	-2.2
Écholocalisation	-1.9	-2.3	-2.3
Valeurs combinées	-2.6	-2.7	-2.7
Est du détroit de Juan de Fuca			
Communication	-1.9	-2.1	-2.1
Écholocalisation	-0.9	-1.4	-1.3
Valeurs combinées	-2.4	-2.5	-2.6
Haro-Boundary			
Communication	0.4	0.2	0.0
Écholocalisation	-0.3	-0.6	-0.7
Valeurs combinées	-1.6	-1.8	-1.9
Îles Gulf			
Communication	-0.5	-0.7	-0.9
Écholocalisation	0.0	0.0	0.0
Valeurs combinées	-0.5	-0.8	-0.9
Détroit de Géorgie			
Communication	-3.5	-3.8	-3.8
Écholocalisation	-1.2	-1.0	-0.6
Valeurs combinées	-2.9	-3.0	-3.0
TOTAL POUR LA MER DES SALISH			
Communication	-2.7	-2.7	-2.7
Écholocalisation	-1.1	-1.4	-1.3
Valeurs combinées	-3.0	-3.0	-3.0

Pour cet exemple pratique du cas d'essai utilisant les données de 2015, les mesures de gestion du ralentissement proposées ont entraîné une diminution globale des niveaux de bruit dans la mer des Salish, pour toutes les gammes de fréquences et à toutes les profondeurs (tableau 4). Les mesures de compensation proposées ont ainsi plus que contré les augmentations prévues résultant des ajouts de bruit des navires liés au projet TMX dans ce cas. À l'échelle des sous-régions, seule la sous-région de Haro-Boundary définie à l'aide des données du paysage sonore devrait subir une augmentation globale des niveaux de bruit à cause des navires du projet TMX, au niveau médian de la gamme de fréquences de communication des ERS, malgré la mesure de compensation (tableau 4b). Ce résultat n'apparaissait pas pour la sous-région similaire du détroit de Haro définie à l'aide des données sur la présence et le comportement des baleines (tableau 4a). Le mécanisme utilisé pour créer les sous-divisions n'a donc pas modifié la variation globale dans la zone d'étude, mais les résultats globaux de chaque région peuvent être différents. Il est important d'y réfléchir plus en profondeur, d'autant plus que le détroit de Haro a été désigné comme une zone d'alimentation importante pour les ERS et qu'il s'agit d'une zone d'occurrence élevée (figures 5 à 7).

Les participants ont remis en question cette approche de calcul des crédits pour l'échange, car elle supposait que les décibels ont la même valeur, quelle que soit l'ampleur de la variation, c'est-à-dire qu'une augmentation de 3 dB dans une sous-région serait considérée comme équivalente à une augmentation de 1 dB dans chacune des trois sous-régions, et que la réduction des décibels serait traitée de la même manière, quel que soit le niveau sonore de départ. Cependant, les décibels sont exprimés sur une échelle logarithmique où une variation de 3 dB signifie approximativement un doublement du niveau de bruit. De plus, les impacts

dépendent de la dose et augmentent de manière non linéaire chez les épaulards (Williams *et al.* 2006). La façon de résoudre ces problèmes dans le calcul des crédits n'a pas été abordée durant l'examen du cas d'essai. Les participants étaient en désaccord quant au fait de traduire la quantification numérique de la variation du niveau sonore en crédits compensatoires en tant que mécanisme d'interprétation de l'effet ou de l'impact potentiel sur l'espèce focale comme paramètre biologiquement significatif, car ils ne pensaient pas que le cadre de compensation tel qu'il était proposé permettait de le faire.

3.11.2. Élaboration de facteurs de pondération de la compensation propres à l'espèce (β)

Un grand nombre de variables peuvent influencer sur la répartition et le comportement des animaux. L'utilisation de facteurs de pondération permet de reconnaître que l'espèce focale peut utiliser différemment les régions de la zone d'étude et que sa présence, sa répartition et son utilisation de l'habitat ne sont pas uniformes dans l'espace ou dans le temps. Bien qu'il soit intégré dans le calcul de la variation du niveau sonore, le temps passé à différentes profondeurs et le contexte comportemental de cette période n'ont pas été pris en compte dans le calcul des facteurs de pondération. Ces données nuancées sont limitées et il serait difficile d'essayer de les refléter avec précision dans les calculs des crédits compensatoires. Pour le cas d'essai, les facteurs de pondération reposent sur l'interprétation des comportements de plongée à partir d'observations en surface uniquement.

Ce sont également des éléments clés pour comprendre la perte de qualité de l'habitat lorsqu'on évalue les impacts du bruit sur une espèce. L'utilisation de facteurs de pondération permet de pondérer différemment les variations des niveaux sonores dans chaque sous-région ou unité de surface, selon la résolution des calculs des crédits, de manière à refléter l'importance relative pour l'espèce focale. Il peut s'agir notamment des éléments suivants : la présence/fréquence relative de l'occurrence, le contexte comportemental de l'utilisation, un paramètre relatif représentant la sensibilité des animaux ou du groupe de la population qui utilisent la zone, la sensibilité auditive de l'espèce focale ou un paramètre qui représente un coût comportemental ou énergétique pour les animaux soumis au bruit dans cette zone. La qualité de l'habitat peut également être un moyen de pondérer les régions; des indicateurs représentant des caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques peuvent servir à évaluer la santé de l'écosystème ou sa valeur pour l'espèce focale. Les facteurs de pondération pourraient être fondés sur des données qui montrent la prévisibilité de la présence, une utilisation comportementale connue et bien caractérisée de la zone ou des variables telles que l'abondance et la variabilité connues des réserves de proies si des zones d'alimentation sont présentes et utilisées comme paramètre. La pondération permet d'exprimer les endroits où l'introduction du bruit serait la plus préjudiciable pour l'espèce focale ou, inversement, où des avantages plus importants pourraient être observés si les niveaux de bruit étaient réduits. La pondération pourrait également exprimer la sous-structuration de la population ou l'utilisation de l'habitat de la zone d'étude, par exemple, si les régions sont principalement utilisées par les couples mère-baleineau en cours de sevrage ou si une structuration par sexe est apparente. Cela peut être important si les réactions au stress diffèrent d'un sexe à l'autre, avec des conséquences potentielles sur l'apport ou la dépense énergétique ou la fécondité. Si aucun profil évident de déplacement n'est apparent dans la zone d'étude ou de sous-structure de la population, alors tous les membres de l'espèce focale seraient considérés comme étant exposés de manière égale aux impacts.

Pour une application plurispécifique, la pondération peut représenter le nombre d'espèces qui pourraient être touchées par le bruit des navires liés au projet ou bénéficier de mesures de compensation. Il peut s'agir d'un indice de la diversité des espèces ou d'une mesure qui

exprime l'importance biologique de l'habitat, y compris s'il est désigné comme essentiel pour une ou plusieurs des espèces prises en compte dans la compensation.

Ces indicateurs de l'importance de l'habitat doivent être mesurables et la façon dont ils sont appliqués doit être défendable. Les indicateurs des variables utilisées doivent pouvoir être mesurés de nouveau ou actualisés à mesure que de nouvelles données deviennent disponibles ou que l'on connaît mieux les réactions des espèces focales (voir la figure 4). Ils peuvent être exprimés sous forme de valeur absolue, de proportion ou de ratio, représentés par une valeur comprise entre 0 et 1 ou un classement. Les valeurs représentent généralement une matrice spatiale d'entités ou de parcelles de paysage; cependant, la pondération de la compensation pourrait également être modifiée pour les différentes périodes auxquelles elle est appliquée, par exemple pour représenter un profil d'utilisation saisonnière de l'habitat de l'espèce focale.

Les zones jugées plus importantes, en raison de la présence de l'espèce, de l'utilisation contextuelle ou d'une autre désignation, peuvent être pondérées plus lourdement sans nécessairement suivre une augmentation linéaire de l'importance. Par exemple, les aires d'alimentation peuvent être plus lourdement pondérées qu'une zone où les comportements de déplacement sont dominants ou une zone où l'espèce focale affiche des comportements moins sensibles aux variations du bruit ambiant et aux perturbations acoustiques. Parmi les autres variables envisagées comme facteurs de pondération, mentionnons notamment un moyen de quantifier l'impact sur la population lorsqu'elle se trouve dans une certaine région, peut-être en vue de quantifier les besoins énergétiques modifiés, ou la réduction des possibilités d'alimentation ou de recherche de nourriture, de la fécondité ou des interactions sociales. Par exemple, on a suggéré les résultats d'un modèle des conséquences des perturbations sur la population (CPP, New *et al.* 2013) ou de modèles des conséquences des perturbations acoustiques sur la population (CPAP, New *et al.* 2014), sachant toutefois qu'il existe peu d'exemples de cadres de CPP ou de CPAP entièrement paramétrés reposant sur des données pour des espèces précises. Un paramètre pour représenter une perturbation ou un impact acoustique potentiel, fondé sur les variations attendues ou prévues de l'amplitude et de la fréquence du paysage sonore et faisant référence au seuil auditif de l'espèce focale, peut également être envisagé, mais il n'a pas été encouragé.

Pour le cas d'essai sur les ERS, les facteurs de pondération, β , ont été fondés sur des observations corrigées en fonction de l'effort (décrites à la section 3.2.1, voir la figure 5). Des techniques de modélisation spatio-temporelle probabiliste ont permis d'avoir des surfaces interpolées qui représentaient la fréquence prédite de l'occurrence des ERS, regroupée de mai à octobre, à un niveau de confiance de 70 % (figure 5, Watson *et al.* 2021, Thornton *et al.* 2022a). Nous avons ainsi obtenu un facteur de pondération représentant le nombre d'observations d'ERS par unité d'effort de recherche exprimé sur une échelle de 0 à 1 (figure 5). Les données sur le comportement provenant d'observations d'individus et de groupes ont servi à localiser les zones d'alimentation courante et fréquente (voir la section 3.2.1, figures 6 et 7). L'intégration du comportement dans les descriptions spatiales de la présence permettrait de déterminer les zones et les périodes où le risque de perturbation est élevé. Pour le cas d'essai, le risque d'incidence sur les comportements d'alimentation a été exprimé de manière inhérente dans le calcul du facteur de pondération. Les données sur le comportement, telles que décrites à la section 3.2.1, ont été utilisées pour élaborer des modèles spatio-temporels afin d'estimer la probabilité relative d'alimentation des ERS. Cependant, ceux-ci étaient limités sur le plan spatial, les données ne s'étendant qu'aux zones du banc Swiftsure, du détroit de Juan de Fuca et du détroit de Haro (figures 5 et 6). Les zones où la probabilité d'alimentation dépassait 0,50 ont été désignées comme zones d'alimentation fréquente (ZAF), et celles où la probabilité dépassait 0,25 ont été appelées zones d'alimentation courante (ZAC, voir la section 3.2.1). L'utilisation des deux comme facteur de pondération, exprimé sur une échelle de 0 à 1, a été

envisagée (figures 6 et 7). La valeur moyenne des unités dans les sous-régions a été calculée comme la somme de la valeur dans la sous-région sur le nombre total d'unités (voir la figure 25).

Au cours de l'examen, il a été convenu que ces variables étaient des mesures appropriées pour le facteur de pondération et qu'elles donneraient un aperçu de l'utilisation de l'habitat par l'ERS. Cependant, le calcul et l'application des facteurs de pondération ont été longuement discutés, ainsi que la meilleure façon d'exprimer l'importance relative, et la variabilité et l'incertitude des valeurs utilisées pour représenter une sous-région. La meilleure échelle des facteurs de pondération a été examinée, de même que la question de savoir si des aspects de l'habitat (p. ex., la désignation d'habitat essentiel) ou des attributions de pondération par précaution (p. ex., indiquer toutes les zones où l'espèce focale pourrait être présente) devraient être pris en compte dans leur calcul.

De nombreuses méthodologies de mesure des pertes et des gains peuvent être envisagées dans l'élaboration de facteurs de pondération compensatoires (Kangas *et al.* 2021). Comme la méthode de calcul choisie peut fortement influencer le résultat, le choix de l'approche doit tenir compte de la résolution des données disponibles et évaluer les compromis entre la simplicité des calculs et la robustesse écologique. Des préoccupations ont été soulevées au sujet de l'approche adoptée pour calculer les facteurs de pondération proposés dans le cas d'essai (voir plus bas). En particulier, on a remis en question l'attribution d'une valeur de base de 1 pour indiquer la présence d'habitat essentiel. Pour le cas d'essai, la désignation de l'habitat essentiel et l'étendue de la modélisation étaient presque synonymes. Les participants ont fait valoir qu'il était difficile de déterminer les zones où les épaulards étaient absents ou celles qui étaient jugées moins importantes en utilisant cette valeur de base. De plus, des problèmes ont été signalés dans l'application de certaines données pour la pondération, notamment la désignation des zones d'alimentation, qui n'étaient disponibles que pour des régions limitées de la zone d'étude, et non dans l'ensemble de celle-ci. Un consensus n'a pas été atteint compte tenu des préoccupations exprimées lors de l'examen de la façon dont les facteurs de pondération ont été appliqués au cas d'essai. Les participants ont reconnu que le calcul et l'utilisation des facteurs de pondération seraient probablement déterminés selon des éléments propres à l'espèce et à la situation pour chaque application de la compensation conformément au cadre proposé. Le calcul des facteurs de pondération lorsqu'on utilise plus d'une variable a également suscité de nombreuses discussions, les participants proposant d'envisager une approche multiplicative plutôt qu'additive dans le cas d'essai. Ils ont insisté sur le fait qu'il faut faire preuve de prudence lorsqu'on utilise ces facteurs, surtout en ce qui concerne le calcul des crédits et la détermination des zones qui peuvent échanger des crédits. Le groupe a également discuté de l'utilisation supplémentaire de paramètres qui indiqueraient la variabilité ou la répartition des valeurs dans une sous-région si une mesure moyenne ou regroupée quelconque est utilisée.

3.11.2.1. Attribution des facteurs de pondération dans le cas d'essai

Pour l'exemple du cas d'essai, l'approche additive a été choisie pour élaborer les facteurs de pondération, $\beta(p)$, pour les sous-régions de la zone d'étude, p , à l'aide des valeurs de la probabilité d'occurrence, et affinée par la probabilité d'alimentation dans une zone donnée (tableau 5). L'attribution des facteurs de pondération a été conçue pour équilibrer la fréquence d'occurrence prévue et l'utilisation de l'habitat désigné pour les zones couvertes par le modèle comportemental (figures 24 et 25).

Pour les calculs relatifs au cas d'essai, une valeur de référence de 1 a été attribuée à chaque unité de surface (pixel) pour tenir compte de la valeur des zones situées dans l'habitat essentiel de l'ERS. Les valeurs représentant l'occurrence et la probabilité d'alimentation ont ensuite été ajoutées pour obtenir une valeur globale de l'habitat sur une échelle de 1 à 4 (figure 24). Les

valeurs de la couche de la fréquence d'occurrence représentaient la proportion de 1 000 exécutions du modèle ayant une intensité de dépassement supérieure à 70 % sur une échelle de 0 à 1. Les couches des zones d'alimentation fréquente et commune représentaient la proportion des 1 000 exécutions du modèle dans laquelle la probabilité d'alimentation était supérieure à 0,25 (alimentation courante) ou 0,50 (alimentation fréquente) sur une échelle de 0 à 1 pour chaque couche. Toutefois, l'étendue des résultats du modèle comportemental était limitée aux zones du banc Swiftsure, du détroit de Juan de Fuca et du détroit de Haro, et la pondération supplémentaire n'a donc été attribuée qu'aux emplacements situés dans les limites du modèle d'alimentation. Les valeurs des couches d'alimentation commune et fréquente ont ensuite été combinées pour produire une valeur comprise entre 0 et 2, qui a alors été ajoutée aux valeurs des couches d'habitat essentiel et de fréquence d'occurrence pour créer une couche d'habitat finale composée de valeurs de pixels allant de 1 à 4. Les valeurs des sous-régions ont été exprimées comme la somme de tous les pixels à la résolution de la sortie du modèle, divisée par le nombre de pixels dans cette région (voir la figure 25, tableau 5). Une valeur de 1 pour un pixel indique la désignation d'un habitat essentiel, mais peu de données d'observation pour confirmer l'utilisation de la zone par les ERS, tandis qu'une valeur de 4 indique l'unité d'habitat représentant une zone d'alimentation fréquente où les ERS sont souvent observés et qui est reflétée par la désignation d'habitat essentiel. Des valeurs comprises entre 1 et 4 représentent la fréquence d'occurrence relative et la probabilité d'alimentation, si elles sont connues pour cette zone (voir les scénarios de pondération à la figure 26 et les valeurs de la pondération à la figure 27). Cette méthode de calcul des facteurs de pondération a été donnée dans l'exemple par étapes de calcul des crédits et suivie pour le cas d'essai. Cependant, certains participants ont trouvé cette méthode d'addition conceptuellement erronée et ont suggéré d'autres modes de calcul au cours de l'examen. La démonstration du calcul de la pondération (figure 25) et des exemples de scénarios (figure 26) sont inclus pour plus de clarté. Toutefois, en l'absence d'un moyen de représenter les zones situées dans l'étendue du modèle comportemental, il serait difficile, pour les facteurs de pondération bas à moyens, de déterminer si la valeur est plus représentative de la présence des épaulards ou si elle indique un habitat important pour l'alimentation.

Exemple de calcul					
Zone (nombre de pixels):					4.00
Somme des crédits d'occurrence (c.-à-d. valeur de chaque pixel)					2.05
Somme des crédits d'alimentation (c.-à-d. valeur de chaque pixel)					0.98
Somme des crédits d'alimentation (c.-à-d. valeur de chaque pixel)					7.03
Facteur de pondération de cette zone serait: $7.03/4 = 1.76$					

Figure 25. Exemple de calcul de la pondération pour une région de 4 unités de surface pour démontrer comment les compensations ont été déterminées et appliquées dans le calcul des crédits.

SCÉNARIOS DE VALEUR DE PIXEL	OCCURRENCE		ALIMENTATION		ZONE		CRÉDIT
Emplacement où la probabilité d'occurrence et d'alimentation est nulle ou à l'extérieur des limites du modèle	0	+	0	+	1	=	1
Emplacement de la probabilité maximale d'occurrence et de la probabilité maximale d'alimentation	1	+	2	+	1	=	4
Emplacement de la probabilité maximale d'occurrence et absence de données ou de probabilité nulle d'alimentation	1	+	0	+	1	=	2
Emplacement de la probabilité maximale d'alimentation, mais faible probabilité d'occurrence	0.1	+	2	+	1	=	3.1
Emplacement où il y a une valeur positive pour la probabilité d'occurrence et d'alimentation	.5	+	1	+	1	=	2.5

Figure 26. Exemples de scénarios relatifs au calcul de la pondération de chaque unité de surface pour démontrer comment les compensations peuvent être calculées et appliquées dans le calcul des crédits. L'approche additive est utilisée pour le calcul des facteurs de pondération. Selon les participants, une approche multiplicative pourrait être plus appropriée.

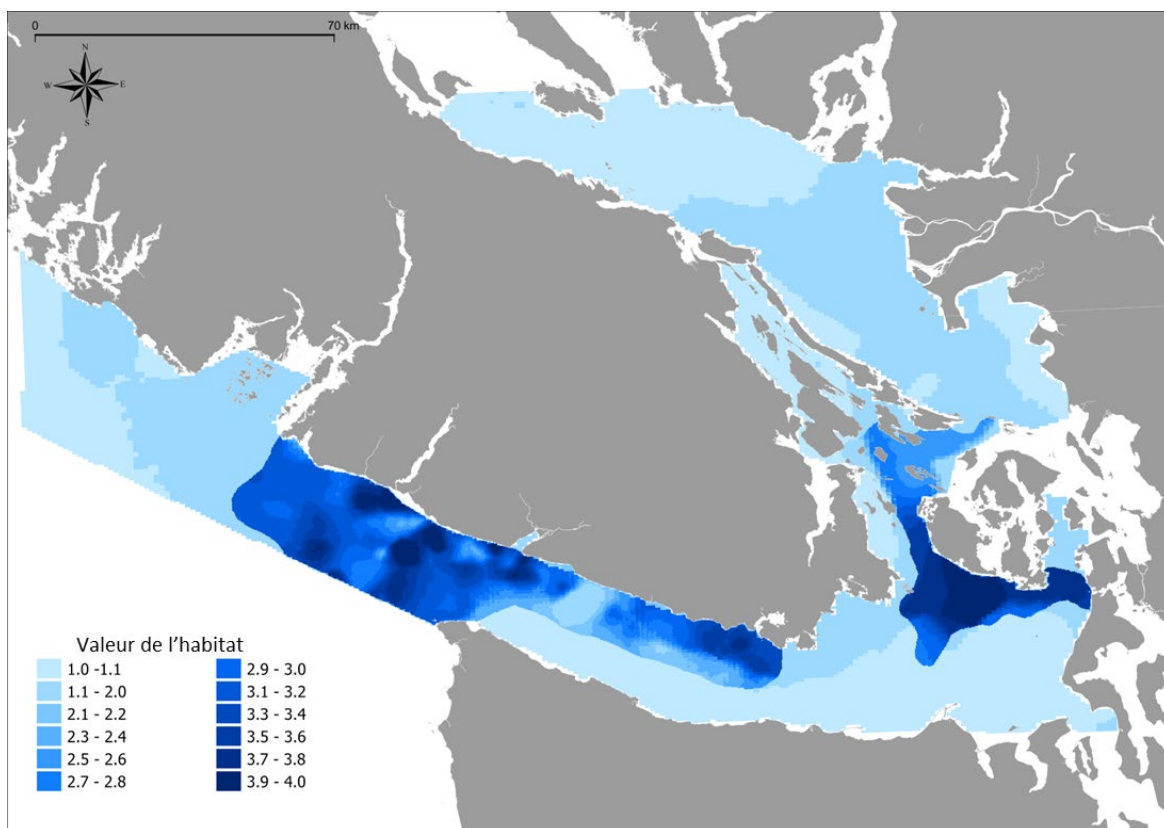


Figure 27. Facteurs de pondération déterminés à l'aide des données sur la fréquence d'occurrence et le comportement des ERS.

Au cours des discussions, les participants ont décidé qu'une approche multiplicative pourrait être une méthode de calcul des facteurs de pondération plus solide sur le plan scientifique, en particulier lorsque les facteurs de pondération sont dérivés de plusieurs variables, comme dans le cas d'essai. Lorsque plusieurs variables sont utilisées pour exprimer la valeur de l'habitat ou les caractéristiques distinctives de la zone, on ne peut pas toujours présumer qu'elles s'additionnent, comme c'était le cas dans l'exemple pratique.

La multiplication mènerait à des facteurs de pondération beaucoup plus petits dans le calcul des crédits, mais pourrait permettre de mieux représenter la valeur de l'habitat. Elle peut également donner des valeurs de pondération égales à 0 ou proches de 0. De plus, il était fortement recommandé de supprimer la valeur de base de 1 représentant la désignation d'habitat essentiel, ce qui permettrait d'obtenir une valeur de 0 pour les zones où aucune occurrence d'ERS n'est prévue au niveau de confiance de 70 %. Cependant, cette suppression limiterait la compensation aux habitats actuellement utilisés par la population et permettrait la dégradation de zones qui pourraient avoir une importance historique ou qui pourraient être nécessaires pour répondre à des besoins futurs à mesure que les ressources changent ou que la population augmente. Cet aspect pourrait donc être l'un des nombreux éléments qui seraient pris en considération pour chaque calcul itératif des crédits (voir la figure 4).

Une autre suggestion lorsqu'on incorpore plusieurs facteurs, en particulier ceux dont la couverture spatiale ou temporelle peut ne pas correspondre, comme dans le cas d'essai, pourrait être d'utiliser un système de codage selon lequel, par exemple, on emploierait une valeur de la fréquence d'occurrence prédite, puis une lettre ou un symbole pour représenter l'utilisation de l'habitat, dans ce cas la présence de zones d'alimentation. Cette façon de faire

aiderait non seulement à déterminer la contribution de chaque variable lorsqu'on déchiffre l'équivalence de l'habitat, mais montrerait plus clairement, dans l'exemple du cas d'essai, où des données étaient disponibles dans le modèle comportemental et où les limites de ce modèle ont été dépassées. On pourrait ensuite traduire le résultat par une valeur ou un classement, mais on n'a pas déterminé comment un tel système de codage serait intégré au calcul des crédits.

3.11.2.2. Attribution des facteurs de pondération aux sous-régions

Il a été convenu que les facteurs de pondération doivent être appliqués à la résolution la plus fine possible, ce qui peut être au niveau de la sous-région. On a comparé les définitions des sous-régions fondées sur le comportement et sur le plan acoustique (tableau 5, figure 28) afin d'examiner l'influence de la façon dont la zone d'étude est sous-divisée. La comparaison a démontré les différences qui découlent de la mise en place différente des sous-divisions et de la façon dont la variabilité des valeurs dans une sous-région peut influencer sur la valeur globale du crédit. Les facteurs de pondération ont été calculés avec l'approche additive (voir les figures 25 à 27), plutôt qu'avec l'approche multiplicative suggérée lors de l'examen. Toutefois, le processus d'inclusion des facteurs de pondération dans le calcul des crédits compensatoires serait le même, quelle que soit la façon dont les facteurs ont été calculés.

Tableau 5. Facteurs de pondération, β , pour les sous-régions définies selon (A) les données sur la présence et le comportement des ERS (ligne « Comportement ») et (B) les données sur le paysage sonore, compte tenu des valeurs matricielles de la fréquence d'occurrence (colonne « Occurrence ») ou de l'affinement avec l'inclusion de la présence dans la zone d'alimentation (colonne « Occurrence et alimentation »). Dans cet exemple, les facteurs de pondération ont été estimés à l'aide d'une approche additive et non de l'approche multiplicative plus solide sur le plan scientifique.

Sous-région	Facteurs de pondération, β	
	Occurrence	Occurrence et alimentation
(A) Comportement		
Banc La Pérouse	1,43	1,60
Banc Swiftsure	1,78	2,86
Détroit de Juan de Fuca	1,26	1,66
Détroit de Haro	1,57	2,38
Inlet de l'Amirauté	1,23	1,47
Îles Gulf	1,38	1,58
Sud du détroit de Géorgie	1,60	1,60
Nord du détroit de Géorgie	1,08	1,08
(B) Paysage sonore		
Banc Swiftsure	1,57	2,00
Ouest du détroit de Juan de Fuca	1,36	2,08
Est du détroit de Juan de Fuca	1,32	1,68
Haro-Boundary	1,69	2,34
Îles Gulf	1,24	1,35
Détroit de Géorgie	1,35	1,35

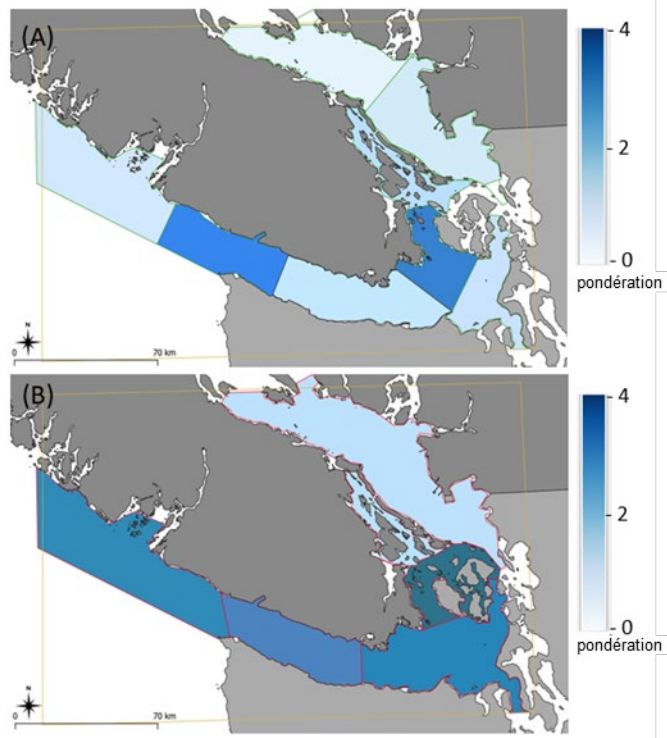


Figure 28. Comparaison entre les valeurs moyennes des facteurs de pondération calculées à l'aide d'une approche additive plutôt que multiplicative, lorsque l'on utilise (A) les sous-régions définies selon les données sur l'ERS (sorties sur l'occurrence et le comportement) et (B) les sous-régions définies selon le paysage sonore.

En général, les sous-régions définies selon le paysage sonore étaient plus grandes et avaient une valeur de pondération plus élevée, et présentaient moins de distinction dans la pondération globale entre les régions que les sous-régions définies selon les données sur le comportement (tableau 5, figure 28). Cet exemple théorique montre à quel point les valeurs de pondération peuvent être sensibles à l'effet de dilution. Il illustre aussi clairement l'étendue limitée du modèle comportemental, pour lequel il n'y a des données d'entrée que pour le détroit de Haro, le détroit de Juan de Fuca et le banc Swiftsure, qui ont des facteurs de pondération plus importants, ce qui est particulièrement évident dans la figure 28A. Cependant, on ne sait toujours pas, pour les zones auxquelles on attribue les facteurs de pondération faibles, si cela résulte d'une faible présence des épaulards, d'une faible probabilité d'alimentation, de ces deux facteurs, ou si la zone obtient une note plus basse en raison du manque de données dans cette région. Même si dans le cas d'essai, les zones sans occurrence prévue ont été incluses dans la zone d'étude de la compensation, à la suite des discussions avec les participants, il a été convenu que les zones exemptes d'épaulards devraient être exclues. Il faudrait également envisager de mieux indiquer l'étendue du modèle lorsque l'on utilise des données sur l'alimentation pour calculer les facteurs de pondération, ou l'exclusion des zones non prises en compte dans les sorties du modèle.

Pour le cas d'essai, la fréquence d'occurrence ne permettait pas de distinguer les groupes familiaux ou les sous-groupes de la population d'ERS. Cependant, les données d'observation ont montré qu'il existe des répartitions et profils d'utilisation de l'espace propres aux groupes familiaux (Hauser *et al.* 2007, Shields 2023). La sous-structuration de la population ou les différences dans les profils de fidélité au site pourraient signifier qu'une partie de la population de l'espèce focale pourrait être touchée de manière disproportionnée par les activités liées au projet (DeFur *et al.* 2007, Bonnell *et al.* 2022). En ce qui concerne l'ERS dans le cas d'essai, il a

été suggéré que cette exposition variable aux facteurs de risque pourrait entraîner des contributions relatives différentes aux tendances de la population, y compris les taux de mortalité (Hauser *et al.* 2007). Dans la mesure du possible, l'inclusion dans le facteur de pondération pour représenter la sous-structuration de la population, le cas échéant, a été encouragée, mais le mécanisme pour le faire n'a pas été discuté.

3.11.2.3. Expression de la variabilité des valeurs de pondération des sous-régions

Lorsque l'on calcule des facteurs de pondération à valeur unique pour contribuer aux calculs de la compensation et des échanges à l'échelle d'une sous-région, il est courant d'utiliser la moyenne ou la médiane, comme pour le cas d'essai. Compte tenu des incertitudes que cela peut entraîner, il a été suggéré d'inclure, en plus de cette valeur, un calcul de l'aplatissement ou un calcul similaire pour indiquer la distribution des valeurs dans la sous-région et la façon dont elles sont représentées par la valeur unique. Une valeur représentant le niveau de confiance pourrait également être incluse si, par exemple, la pondération était exprimée sous la forme d'une valeur prédictive de l'utilisation de l'habitat. Des paramètres tels que l'aplatissement, l'asymétrie et les intervalles de confiance ou d'autres valeurs de la puissance statistique ont été proposés pour exprimer la variabilité ou la confiance dans le facteur de pondération utilisé. Ils sont également l'expression de l'incertitude et de l'excès de risque en ce qui concerne la proportion de l'espèce focale qui peut encore ressentir des effets indésirables des activités liées au projet. Des plages ou des écarts acceptables dans ces valeurs qui permettraient tout de même de juger des zones équivalentes n'ont pas été convenus, mais il faudrait les déterminer avant de calculer la compensation. Pour le cas d'essai, les valeurs de l'aplatissement et de l'asymétrie ont été calculées (tableaux 6 et 7). L'asymétrie traite de la distribution des données par rapport à une courbe normale autour du sommet et de la valeur de la médiane par rapport à la moyenne. Elle représente une mesure de l'asymétrie autour d'une valeur maximale, 0 étant symétrique. Les valeurs devraient idéalement être comprises entre -1 et 1. Les valeurs positives ont une asymétrie vers la gauche, avec une queue plus longue de valeurs vers la gauche. Dans ce cas, la moyenne et la médiane sont toujours positives, et la moyenne est supérieure à la médiane. L'inverse est vrai pour une valeur négative qui a une asymétrie vers la droite, et la médiane est la valeur plus élevée. L'aplatissement représente la dispersion des données autour d'un sommet, et indique s'il s'agit d'une hausse et d'une baisse marquées (leptokurtique), d'une distribution normale (mésokurtique) ou plate (platikurtique).

Une valeur de l'aplatissement inférieure à 3 représente généralement une distribution platikurtique, ce qui donne à penser que les valeurs aberrantes sont peu fréquentes. Une distribution mésokurtique n'a pas de valeurs extrêmes et les valeurs aberrantes sont rares. Enfin, une distribution leptokurtique, avec une valeur supérieure à 3, présente un sommet plus fort autour de la valeur moyenne et une distribution des données plus importante dans les queues, et donc, une plus grande probabilité de valeurs aberrantes. Dans l'exemple du cas d'essai, on s'attendrait à ce que des valeurs de l'aplatissement soient plus élevées pour les sous-régions définies à l'aide de données sur la présence et le comportement des épaulards que pour les sous-régions définies par le paysage sonore, ce qui était généralement vrai. On s'attendrait à ce que les valeurs de l'asymétrie soient plus faibles, ce qui était également généralement le cas pour les régions qui couvraient des zones semblables (tableaux 6 et 7).

Tableau 6. Valeurs de l'asymétrie et de l'aplatissement pour les sous-régions définies selon (A) les données sur la présence et le comportement des ERS (ligne « Comportement ») et (B) les données sur le paysage sonore, compte tenu des valeurs matricielles de la fréquence d'occurrence (figure 5).

Sous-région	Max.	Moy.	Méd.	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement
(A) Comportement						
Banc La Pérouse	2,00	1,43	1,22	0,39	0,42	1,42
Banc Swiftsure	2,00	1,78	2,00	0,38	-1,37	3,04
Détroit de Juan de Fuca	2,00	1,26	1,01	0,40	1,13	2,44
Détroit de Haro	2,00	1,57	1,89	0,46	-0,27	1,19
Inlet de l'Amirauté	2,00	1,23	1,01	0,39	1,27	2,78
Îles Gulf	2,00	1,38	1,05	0,45	0,53	1,40
Sud du détroit de Géorgie	2,00	1,60	1,74	0,40	-0,32	1,37
Nord du détroit de Géorgie	1,85	1,08	1,05	0,08	2,76	12,75
(B) Paysage sonore						
Banc Swiftsure	2,00	1,57	1,69	0,42	-0,16	1,19
Ouest du dét, de Juan de Fuca	2,00	1,36	1,06	0,43	0,62	1,54
Est du dét, de Juan de Fuca	2,00	1,32	1,02	0,43	0,77	1,72
Haro-Boundary	2,00	1,70	2,00	0,42	-0,85	1,89
Îles Gulf	2,00	1,24	1,01	0,39	1,25	2,71
Détroit de Géorgie	2,00	1,35	1,10	0,39	0,82	1,89

Tableau 7. Valeurs de l'asymétrie et de l'aplatissement pour les sous-régions définies selon (A) les données sur la présence et le comportement des ERS (ligne « Comportement ») et (B) les données sur le paysage sonore, compte tenu des valeurs matricielles de la fréquence d'occurrence et de l'affinement avec l'inclusion de la présence dans la zone d'alimentation (figures 5 à 7).

Sous-région	Max.	Moy.	Méd.	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement
(A) Comportement						
Banc La Pérouse	3,40	1,60	1,22	0,70	1,27	3,33
Banc Swiftsure	4,00	2,86	3,05	0,84	-1,11	3,47
Détroit de Juan de Fuca	3,79	1,66	1,02	0,84	0,89	2,39
Détroit de Haro	3,93	2,38	2,00	1,15	0,03	1,35
Inlet de l'Amirauté	3,75	1,47	1,01	0,88	1,76	4,57
Îles Gulf	2,74	1,58	1,09	0,64	0,48	1,55
Sud du détroit de Géorgie	2,63	1,60	1,74	0,40	-0,31	1,38
Nord du détroit de Géorgie	1,85	1,08	1,05	0,08	2,76	12,67
(B) Paysage sonore						
Banc Swiftsure	4,00	2,00	1,71	0,96	0,52	1,71
Ouest du dét, de Juan de Fuca	3,93	2,08	2,20	0,94	0,07	1,55
Est du dét, de Juan de Fuca	3,93	1,68	1,02	0,99	1,23	2,97
Haro-Boundary	3,91	2,34	2,46	0,92	0,03	1,94
Îles Gulf	2,71	1,35	1,02	0,53	1,29	3,18

Sous-région	Max.	Moy.	Méd.	Écart-type	Asymétrie	Aplatissement
Détroit de Géorgie	2,63	1,35	1,10	0,39	0,82	1,90

Dans tous les cas, les valeurs minimales étaient de 1, car cette valeur a été attribuée sans donnée d'entrée supplémentaire tirée des données sur la présence des épaulards (figure 5) ou sur l'alimentation (figures 6 et 7) à chaque unité de surface ou pixel pour représenter la désignation d'habitat essentiel, défini comme l'habitat nécessaire à la survie ou au rétablissement d'une population en péril. Les différences entre les valeurs des tableaux 6 et 7 indiquent l'inclusion des données sur l'alimentation ainsi que la valeur de la pondération calculée à partir des données sur le comportement par rapport aux régions qui se trouvaient à l'extérieur des limites de ce modèle. Les régions du banc Swiftsure, du détroit de Juan de Fuca et du détroit de Haro présentaient les valeurs de la pondération maximales les plus élevées, ce qui dénote leur importance pour l'ERS, mais souligne également l'incidence d'inclure la pondération découlant des données comportementales pour ces régions (tableau 7). Les valeurs de l'asymétrie se situaient généralement dans la plage acceptable de -2 à 2, avec des valeurs principalement positives (asymétrie vers la gauche). Les régions présentant des valeurs négatives peuvent être influencées par des zones où les valeurs de la fréquence d'occurrence sont très élevées dans la sous-région par rapport à la moyenne (tableaux 6 et 7). Très peu d'asymétrie apparaissait dans les valeurs des sous-régions de l'ouest du détroit de Juan de Fuca et de Haro-Boundary lorsque l'on utilisait les données sur la présence et le comportement (tableau 7), ce qui semble indiquer que même si les sous-régions ont été définies à l'aide de propriétés acoustiques, les limites étaient bien mises en place pour refléter des valeurs similaires dans l'utilisation par les ERS. Plus la valeur de l'aplatissement est élevée, plus les données sont concentrées autour du sommet, ce qui donne à penser que la valeur moyenne représente réellement les données de la sous-région telle qu'elle est définie, et que les limites de la région reflètent effectivement les zones utilisées d'une manière similaire par l'ERS, telles que définies par le facteur de pondération. Cette relation est bien démontrée par la valeur pour la sous-région du nord du détroit de Géorgie, définie à l'aide des données sur la présence (tableaux 6 et 7). Des valeurs de l'aplatissement plus basses, voire plati-kurtiques, suggèrent une plus grande variation dans les valeurs de la présence (tableau 6) ou de la présence et de l'alimentation (tableau 7) dans la sous-région. On s'y attendrait davantage pour les sous-régions définies par le paysage sonore, bien que les valeurs de l'aplatissement les plus faibles aient été observées pour le détroit de Haro, les îles Gulf et le sud du détroit de Géorgie en utilisant les sous-régions définies par les données sur la présence et le comportement des ERS (tableaux 6 et 7). Ces zones affichaient de faibles valeurs d'aplatissement centrées sur la moyenne, ce qui indique une variabilité de la valeur moyenne calculée pour la sous-région et qu'il y a des pixels beaucoup plus précieux que la moyenne, et d'autres beaucoup moins, dans cette sous-région.

On a encouragé une approche prudente lors de l'application des facteurs de pondération, et insisté tout au long de l'examen sur un moyen d'exprimer l'incertitude et la variabilité des valeurs utilisées. Cette façon de faire apporterait plus de transparence au processus de calcul des crédits et montrerait où une plus grande quantité de données pourrait renforcer la certitude de l'estimation et de l'application des crédits dans le cadre de l'approche. Les discussions ont permis de conclure que les calculs des facteurs de pondération ne contenaient pas suffisamment de données sur le comportement pour que l'on puisse les appuyer tels qu'ils sont actuellement appliqués dans le cas d'essai. Cependant, l'inclusion d'une valeur comme l'aplatissement (tableaux 6 et 7) ou une mesure de la confiance a fortement été encouragée.

3.11.2.4. Points chauds et corridors

L'utilisation de facteurs de pondération aide à déterminer les régions de « points chauds » d'importance ou d'utilisation accrue par l'espèce focale. Cependant, lors de la délimitation de

ces zones, il est également important de comprendre leur connectivité et la façon dont elles forment un habitat intégral. Il faut donc utiliser des données d'observation pour déterminer la présence de corridors de transit entre les zones de plus grande utilisation, peut-être à l'aide d'un paramètre pour représenter la connectivité ou l'autocorrélation spatiale entre les habitats comme facteur de pondération supplémentaire, afin de montrer comment l'espèce focale peut se déplacer entre les zones de présence concentrée ou les régions où un comportement précis domine. Il peut être nécessaire d'inclure une composante temporelle ici, ou un autre moyen de reconnaître que ces zones peuvent être utilisées périodiquement et que les déplacements peuvent être très directionnels. Ce niveau de détail dépasse les données disponibles pour le cas d'essai et la collecte de ces données nécessiterait beaucoup de ressources. Cependant, les participants ont encouragé la prise en compte et l'inclusion d'une composante temporelle dans les calculs de la compensation.

3.11.3. Application des facteurs de pondération de la compensation (β) au calcul des crédits

Le facteur de pondération, $\beta(p)$, pour chaque sous-région, p , (tableau 5), combiné à l'excès ou à la réduction du bruit associé à l'ajout de navires ou de mesures de gestion de la compensation (équations 6 et 7, tableau 4), a été utilisé pour calculer les crédits compensatoires pondérés $\varphi(p)$ comparables, et donc échangeables, pour chaque sous-région de la zone d'étude.

Pour la communication :

$$\varphi(500 - 15000Hz) = \beta \times \left(1 - \frac{\sum_{i,j} nl_M(500-15000Hz)}{\sum_{i,j} nl_B(500-15000Hz)}\right) \quad (9)$$

Pour l'écholocalisation :

$$\varphi(15 - 100kHz) = \beta \times \left(1 - \frac{\sum_{i,j} nl_M(15-100kHz)}{\sum_{i,j} nl_B(15-100kHz)}\right) \quad (10)$$

Pour le paramètre des valeurs combinées :

$$\varphi(0,5 - 100kHz) = \beta \times \left(1 - \frac{\sum_{i,j} nl_M(500-15000Hz)}{\sum_{i,j} nl_B(500-15000Hz)} * \frac{\sum_{i,j} nl_M(15-100kHz)}{\sum_{i,j} nl_B(15-100kHz)}\right) \quad (11)$$

Le facteur de pondération calculé (tableau 5) a été appliqué à chaque profondeur sans modification (tableau 8). La variation calculée pour les fréquences de communication et d'écholocalisation avec compensation pourrait indiquer le type de signal qui pourrait être le plus touché dans chaque sous-région. Le paramètre des valeurs combinées représente la variation dans l'ensemble du répertoire des ERS et a été utilisé à la suite des conclusions tirées par les experts en la matière lors de l'atelier de 2021 et d'autres discussions avec le PPPHP. Il a permis de classer les zones les plus touchées par le projet TMX et qui ont encore besoin de compensation, à l'aide d'un seul paramètre tout en intégrant les fréquences pertinentes pour l'espèce. Les valeurs du tableau 8 représentent les crédits gagnés ou déficitaires pour chaque sous-région, définie selon les données sur la présence et sur le comportement des ERS (tableau 8a) ou le paysage sonore (tableau 8b). Lorsqu'on utilise les facteurs de pondération (tableau 5) pour modifier les variations du niveau sonore calculées (tableau 4), les valeurs deviennent sans unité. Pour l'échange, on a présumé que les crédits avaient la même valeur, ce qui n'était peut-être pas une hypothèse appropriée dans un contexte de compensation du bruit (dB). Le nombre de crédits par sous-région pourrait servir à classer les zones où les ERS subiraient le plus de perturbations acoustiques. Seule la sous-région de Haro-Boundary définie selon les données sur le paysage sonore présentait des ajouts globaux de bruit après la prise de mesures de gestion (tableau 4b), lesquels ont été reportés dans les calculs sous forme d'un déficit de crédit (tableau 8b) plutôt que d'un excédent. La comparaison avec les résultats pour la

région similaire définie à l'aide des données sur le comportement montre à quel point la définition des sous-régions pourrait être importante pour le calcul des crédits.

Les totaux pour la mer des Salish correspondent à la somme des crédits pour chaque sous-région pour la gamme de fréquences et la profondeur indiquées, et représentent l'efficacité globale des mesures de ralentissement pour atténuer les ajouts provenant des navires du projet TMX dans l'ensemble de la zone d'étude.

Tableau 8a. Compensations pondérées, ou « crédits », ϕ , pour les sous-régions définies selon les données sur la présence et le comportement des ERS, en tenant compte des valeurs matricielles de la fréquence d'occurrence (colonne « Occurrence »), ou de l'affinement avec l'inclusion de la présence dans la zone d'alimentation (colonne « Occurrence et alimentation ») aux profondeurs de 7,5, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées »). Les valeurs négatives indiquent un déficit global de crédits et les valeurs positives, un excédent global. Les crédits ont été déterminés à partir des ajouts de bruit provenant des navires du projet TMX et des réductions découlant du scénario de ralentissement à 10 nœuds de tous les navires commerciaux qui transitent par la zone d'étude.

Sous-région	Occurrence			Occurrence et alimentation		
	7,5 m	50 m	100 m	7,5 m	50 m	100 m
Banc La Pérouse						
Communication	0,49	0,57	0,55	0,54	0,64	0,61
Écholocalisation	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valeurs combinées	0,29	0,42	0,35	0,33	0,47	0,39
Banc Swiftsure						
Communication	0,80	0,80	0,82	1,29	1,29	1,32
Écholocalisation	0,55	0,68	0,68	0,88	1,10	1,10
Valeurs combinées	0,78	0,80	0,82	1,25	1,29	1,32
Détroit de Juan de Fuca						
Communication	0,57	0,57	0,58	0,75	0,75	0,77
Écholocalisation	0,43	0,50	0,50	0,56	0,66	0,66
Valeurs combinées	0,57	0,57	0,58	0,75	0,75	0,77
Détroit de Haro						
Communication	0,48	0,53	0,56	0,73	0,81	0,84
Écholocalisation	0,10	0,17	0,17	0,16	0,26	0,26
Valeurs combinées	0,46	0,51	0,53	0,70	0,77	0,81
Inlet de l'Amirauté						
Communication	0,13	0,23	0,18	0,16	0,28	0,22
Écholocalisation	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valeurs combinées	0,06	0,11	0,08	0,07	0,13	0,10
Îles Gulf						
Communication	0,45	0,47	0,47	0,51	0,54	0,54
Écholocalisation	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valeurs combinées	0,33	0,38	0,38	0,38	0,44	0,44
Sud du détroit de Géorgie						
Communication	0,80	0,80	0,78	0,80	0,80	0,78
Écholocalisation	0,52	0,47	0,33	0,52	0,47	0,33
Valeurs combinées	0,78	0,80	0,78	0,78	0,80	0,78

Sous-région	Occurrence			Occurrence et alimentation		
	7,5 m	50 m	100 m	7,5 m	50 m	100 m
Nord du détroit de Géorgie						
Communication	0,55	0,56	0,56	0,55	0,56	0,56
Écholocalisation	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valeurs combinées	0,54	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
TOTAL POUR LA MER DES SALISH						
Communication	4,27	4,53	4,51	5,33	5,65	5,65
Écholocalisation	1,60	1,82	1,68	2,12	2,48	2,34
Valeurs combinées	3,81	4,13	4,08	4,79	5,19	5,15

Tableau 8b. Compensations pondérées, ou « crédits », ϕ , pour les sous-régions définies selon les données sur le paysage sonore, en tenant compte des valeurs matricielles de la fréquence d'occurrence (colonne « Occurrence »), ou de l'affinement avec l'inclusion de la présence dans la zone d'alimentation (colonne « Occurrence et alimentation ») aux profondeurs de 7,5, 50 et 100 m pour les gammes de fréquences de communication (de 500 Hz à 15 kHz) et d'écholocalisation (de 15 à 100 kHz), et un paramètre regroupé des deux (ligne « Valeurs combinées »). Les valeurs négatives indiquent un déficit global de crédits et les valeurs positives, un excédent global. Les crédits ont été déterminés à partir des ajouts de bruit provenant des navires du projet TMX et des réductions découlant du scénario de ralentissement à 10 nœuds de tous les navires commerciaux qui transitent par la zone d'étude.

Sous-région	Occurrence			Occurrence et alimentation		
	7.5 m	50 m	100 m	7.5 m	50 m	100 m
Banc Swiftsure						
Communication	0.56	0.60	0.60	0.71	0.77	0.77
Écholocalisation	0.10	0.23	0.23	0.13	0.30	0.30
Valeurs combinées	0.58	0.65	0.67	0.74	0.82	0.85
Ouest du détroit de Juan de Fuca						
Communication	0.50	0.54	0.54	0.77	0.83	0.83
Écholocalisation	0.48	0.56	0.56	0.74	0.86	0.86
Valeurs combinées	0.61	0.63	0.63	0.94	0.96	0.96
Est du détroit de Juan de Fuca						
Communication	0.47	0.51	0.51	0.60	0.64	0.64
Écholocalisation	0.25	0.36	0.34	0.31	0.46	0.43
Valeurs combinées	0.56	0.58	0.59	0.71	0.74	0.76
Haro-Boundary						
Communication	-0.16	-0.08	0.00	-0.23	-0.11	0.00
Écholocalisation	0.11	0.22	0.25	0.16	0.30	0.35
Valeurs combinées	0.52	0.57	0.60	0.72	0.79	0.83
Îles Gulf						
Communication	0.13	0.18	0.23	0.15	0.20	0.25
Écholocalisation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valeurs combinées	0.13	0.21	0.23	0.15	0.23	0.25
Détroit de Géorgie						
Communication	0.75	0.79	0.79	0.75	0.79	0.79
Écholocalisation	0.33	0.28	0.17	0.33	0.28	0.17
Valeurs combinées	0.66	0.67	0.67	0.66	0.67	0.67
TOTAL POUR LA MER DES SALISH						

Sous-région	Occurrence			Occurrence et alimentation		
	7.5 m	50 m	100 m	7.5 m	50 m	100 m
Communication	2.24	2.54	2.67	2.74	3.12	3.28
Écholocalisation	1.27	1.65	1.56	1.67	2.20	2.11
Valeurs combinées	3.07	3.31	3.40	3.91	4.22	4.32

Dans l'ensemble, dans toutes les gammes de fréquences et à toutes les profondeurs considérées, il n'y a pas eu d'ajout net de bruit (tableau 4), ce qui a donné un excédent général de crédits (« Total pour la mer des Salish », tableau 8). Pour chaque cas, le nombre de crédits était plus élevé pour les calculs utilisant les sous-régions définies selon la présence et le comportement des ERS (tableau 8a), mais cela peut être dû au fait que les calculs portaient sur huit sous-régions, contre six pour les sous-divisions définies selon le paysage sonore.

Il convient de souligner que le calcul de ces crédits compensatoires a été effectué uniquement pour montrer le processus et l'application du cadre proposé. Les participants ont relevé des lacunes dans les méthodes pendant l'examen et jugé que certains aspects des calculs des crédits posaient problème, ce qu'il faudrait corriger avant d'approfondir l'approche. L'inclusion de valeurs et l'utilisation de données du cas d'essai, plutôt que de présenter uniquement le concept théorique, aident à mieux démontrer les sensibilités des calculs à des aspects tels que l'échelle temporelle et spatiale, y compris la définition des sous-régions, l'inclusion et le calcul des facteurs de pondération, ainsi que les gammes de fréquences et les profondeurs d'intérêt. Cela n'aurait peut-être pas été évident sans le paramétrage du cadre proposé, lors du travail sur le cas d'essai à l'aide des données sur l'ERS. Les problèmes mis en évidence par l'exemple pratique ont amené les participants à rejeter le calcul et la pondération des crédits compensatoires dans la forme présentée.

3.11.4. Utilisation d'un multiplicateur

En plus des facteurs de pondération, l'utilisation d'un multiplicateur a été proposée durant l'examen du cas d'essai. Ce multiplicateur représenterait le ratio entre l'habitat touché négativement et l'habitat compensé, ou serait représentatif d'un facteur de risque ou d'une incertitude dans l'atteinte de la compensation (Dunford *et al.* 2004, Bruggeman *et al.* 2005, Moilanen *et al.* 2009, Laitila *et al.* 2014). Les gains tirés de la compensation sont estimés par rapport à un scénario de « maintien du statu quo », où aucune mesure d'atténuation propre au projet n'est en place; ils peuvent être multidimensionnels et pourraient permettre de mieux exprimer la valeur de l'habitat (Laitila *et al.* 2014). On pense que l'utilisation d'un multiplicateur permet d'évaluer des objectifs de conservation plus larges, ainsi que de réduire les incertitudes dans les données et le risque d'échec de la compensation. Le multiplicateur peut servir à tenir compte des problèmes temporels au début de la compensation et à permettre un échange de crédits nuancé (Moilanen *et al.* 2009, McKenney et Kiesecker 2010, Brownlie et Botha 2012, Maron *et al.* 2012, Bull *et al.* 2016). Daw *et al.* (2015) proposent également d'utiliser des multiplicateurs pour discerner l'échange de crédits et leur valeur, et distinguer les crédits « sacrés », qui pourraient être liés au succès de l'espèce, aux paramètres de la biodiversité ou à la qualité de l'habitat, des crédits « de longue durée », par exemple ceux qui sont davantage axés sur l'économie ou l'utilisation des ressources. Les multiplicateurs peuvent être un moyen d'exprimer des incertitudes dans le calcul des crédits ou de refléter la variabilité, par exemple, de la participation aux mesures d'atténuation, de la faisabilité ou de la facilité d'application des mesures de gestion de la compensation, des disparités entre les résultats souhaités en matière d'aménagement et de conservation, de l'utilisation de réserves d'habitats ou des décalages entre les impacts liés au projet et les activités de compensation (Laitila *et al.* 2014, Bull *et al.* 2016). La prise en compte de l'incertitude ou de nombreux facteurs qui interagissent dans l'application d'une compensation sans perte nette d'habitat augmenterait le multiplicateur

(Moilanen *et al.* 2009, Pouzols *et al.* 2012, Pilgrim *et al.* 2013, Laitila *et al.* 2014). Les multiplicateurs peuvent être utilisés pour répondre à des préoccupations ou traiter des inconnues, ou pour exprimer la confiance dans les données appliquées au calcul des crédits. Par exemple, les multiplicateurs d'actualisation pondèrent plus fortement les mesures compensatoires visant des moments ou des lieux immédiats que celles visant des moments ou lieux plus éloignés, tandis que les multiplicateurs de résultats de conservation sont conçus pour refléter les mesures prises pour atteindre les objectifs de conservation.

D'autres facteurs peuvent être inclus dans la formulation du multiplicateur pour indiquer si la perte d'habitat est totale ou partielle, ou si l'inclusion de facteurs temporels, comme le taux, l'immédiateté ou la permanence de la perte, peut être exprimée (Laitila *et al.* 2014). S'il était convenu que l'échange de crédits dans le temps était réalisable, le multiplicateur pourrait permettre d'exprimer le délai entre l'impact et la compensation, ce qui ferait en sorte, par exemple, que les gains futurs soient moins valorisés que les gains immédiats (p. ex., actualisation dans le temps : Laibson 1997, Green et Myerson 2004, Moilanen *et al.* 2009) et de réaliser qu'il pourrait ne pas être en mesure de rendre pleinement compte de tout l'habitat perdu (p. ex., Moilanen *et al.* 2009, Maron *et al.* 2010). Un autre aspect temporel de l'utilisation du multiplicateur peut exprimer la durée de l'effet des activités compensatoires (p. ex., Dargusch *et al.* 2010, McKenny et Kiesecker 2010, Van Oosterzee *et al.* 2012). Cependant, les participants à l'examen ont peu discuté du concept de compensation dans le temps par rapport à l'espace ou de la meilleure façon d'appliquer un multiplicateur. De nombreux obstacles ont été déterminés pour l'échange de crédits dans l'espace, et beaucoup d'autres inconnues sont prévues lorsque l'on essaiera d'appliquer le cadre proposé à un échange dans le temps. De plus, les données disponibles et utilisées dans le cas d'essai n'auraient pas une résolution suffisamment fine pour permettre l'échange dans le temps (la résolution temporelle minimale de la fréquence d'occurrence des ERS est mensuelle, voir Thornton *et al.* 2022a). Les calculs ne tiennent également compte que de la variation des niveaux sonores et non des temps modifiés d'exposition au bruit. Par conséquent, l'échange dans le temps n'a pas été inclus dans le calcul des crédits pour le cas d'essai.

3.12. ÉCHANGE DE CRÉDITS COMPENSATOIRES

Des crédits sont gagnés lorsque les mesures de gestion ou de compensation atteignent ou dépassent une réduction des niveaux sonores par rapport à la base de référence. Durant l'examen du cas d'essai, les discussions ont porté sur l'échange de crédits entre les régions spatiales. L'échange de crédits a été envisagé pour l'espace horizontal seulement, car la prise en compte de la variation du niveau sonore à différentes profondeurs ne faisait pas partie de l'examen initial. De plus, peu de temps a été consacré aux discussions sur l'échange de crédits temporels, et les participants étaient très mal à l'aise avec cette application proposée de l'approche de compensation. Une grande partie de la discussion a concerné les échanges entre les sous-régions, bien qu'il ait été convenu que le processus de calcul et d'échange de crédits devrait être effectué à l'échelle la plus fine possible avec les données disponibles.

Les principes directeurs de l'échange de crédits ont été examinés, les participants soulignant que l'échange de crédits devrait se faire entre des zones équivalentes pour qu'il y ait un échange « comparable ». En pratique, cela signifierait des échanges entre des zones ayant des fonctions de pondération (et donc des valeurs de l'habitat) semblables ou une diminution du bruit dans des zones ayant des pondérations plus élevées que les zones où le bruit augmente. Cependant, on ne s'est pas entendu sur la taille d'une plage de pondérations pouvant encore être considérées comme « comparables » les unes aux autres. De plus, la définition de l'équivalence et la façon dont elle permettrait un échange comparable entre les unités de surface, quelle que soit la résolution à laquelle les crédits ont été calculés, n'ont pas été

convenues. L'utilisation de l'habitat par l'espèce focale et l'importance de l'habitat pour celle-ci doivent être comparables pour un échange de crédits, mais les critères d'équivalence biologique n'ont pas été établis. L'équivalence doit également tenir compte de toutes les caractéristiques distinctes d'une zone qui peuvent influencer sur l'utilisation de l'habitat par l'espèce focale. Pour le cas d'essai tel qu'il est présenté actuellement, cela pourrait signifier que l'échange pourrait être possible uniquement entre des zones désignées comme des zones d'alimentation et, peut-être plus précisément, entre des zones d'alimentation courante et fréquente uniquement avec des zones d'un niveau d'utilisation semblable. Un échange hiérarchique a été suggéré, selon lequel, par exemple, les crédits pour les zones désignées pour l'alimentation pourraient être utilisés pour compenser des effets résiduels dans des zones surtout utilisées lors de déplacements, mais sans réciprocité des zones de déplacement vers les zones d'alimentation. Toutefois, pour que cette approche soit mise en œuvre, il faudrait pouvoir déterminer objectivement que ces zones avaient une importance différente pour l'espèce focale et qu'en effet, une zone soutenant un type de contexte comportemental était moins importante pour l'espèce qu'une autre.

Les discussions ont permis d'exprimer l'équivalence en tant qu'unités de surface, y compris les sous-régions, qui pourraient être utilisées par le même segment de la population aux mêmes fins durant la même période que celle actuellement enregistrée. Cela peut signifier non seulement de tenir compte de l'utilisation contextuelle d'une zone, mais aussi du nombre d'animaux qui l'utilisent, de la section de la population qu'ils représentent (p. ex., les mêmes groupes familiaux d'ERS) et de leur temps de résidence. Pour pouvoir échanger des crédits, on suppose que les régions (sous-régions, unités de surface/pixels) démontreraient l'équivalence. Les situations où ce n'est peut-être pas le cas ou lorsque la résolution du facteur de pondération est si fine que l'équivalence absolue n'est pas atteinte n'ont pas été discutées. La nécessité d'évaluer la capacité des zones d'équivalence à résister au stress supplémentaire présumé découlant d'une utilisation supplémentaire, la nécessité de transférer les animaux d'une région à une autre et la manière de réaliser cette évaluation ont été mentionnées, mais pas entièrement examinées. Il a également été suggéré qu'il est nécessaire de comprendre non seulement l'utilisation de l'habitat, mais aussi la connectivité et les déplacements entre les parcelles d'habitat, pour évaluer pleinement l'équivalence.

Plus la résolution dans l'espace ou dans le temps où les crédits sont calculés est fine, plus l'application de l'approche de compensation est axée sur le récepteur, ce qui a été considéré comme un avantage. Les réactions de l'espèce focale aux variations des niveaux sonores se manifesteraient probablement sur ces échelles spatio-temporelles plus fines (mètres à kilomètres/minutes à heures), plutôt que sur les zones de sous-régions regroupées et l'échelle de temps de six mois présentées pour le cas d'essai. Cette hypothèse a mis en évidence la suggestion selon laquelle la définition des sous-régions, l'application du facteur de pondération et, par conséquent, le calcul global des crédits devraient être effectués avec la granularité la plus fine possible. Cependant, il faut veiller à ce que l'échelle utilisée soit biologiquement significative pour l'espèce focale.

Les facteurs de pondération doivent aider à déterminer l'habitat de qualité égale pour l'espèce focale et guider l'échange comparable de crédits. Les participants ont insisté sur le fait qu'il faudrait accorder une attention particulière à l'unité du crédit dans l'élaboration de l'approche, et déterminer les mesures qui seront utilisées comme facteurs de pondération pour calculer les crédits et qui permettront un échange comparable. Toutefois, à mesure qu'ils examinaient le cas d'essai, les participants ont relevé de nombreuses limites et incertitudes dans les données nécessaires pour définir l'équivalence de l'habitat. En général, on pensait que les données appliquées au cas d'essai pour l'ERS n'étaient pas assez rigoureuses ou exhaustives pour

permettre de déterminer avec exactitude l'équivalence des zones. En fin de compte, c'est l'un des facteurs qui ont mené au rejet de l'approche de compensation.

Le taux d'échange et les limites de proximité n'ont pas non plus été déterminés. Il se peut, compte tenu du facteur de pondération d'une région, par exemple, que le ratio des unités de surface échangées ne soit pas de 1/1. Bien qu'il y ait eu consensus pour dire que l'échange doit se faire entre des zones équivalentes, la nécessité d'une certaine proximité spatiale entre ces zones n'a pas été discutée. L'échange entre des régions ou des moments plus immédiats peut être plus favorable que celle entre des régions ou des moments plus éloignés. Les tolérances dans l'espace et le temps, ainsi que l'équivalence des zones ou le contexte comportemental n'ont pas été discutés, et donc, les écarts admissibles ne sont pas définis pour le moment.

3.12.1. Résultats du cas d'essai

Des déficits et des excédents de crédit ont été établis pour les gammes de fréquences de communication et d'écholocalisation des ERS et pour un paramètre combiné (tableau 8). Bien que ce point n'ait pas été abordé en particulier, on présume que dans la définition d'échange comparable de crédits, les crédits ne peuvent être échangés qu'à l'intérieur de chacune de ces gammes de fréquences et non entre elles, et seulement dans l'espace horizontal (entre les sous-régions/unités d'habitat à la même profondeur de l'eau) et non dans l'espace vertical (entre des profondeurs de l'eau). Cependant, trop d'incertitudes ont été relevées pour que l'on puisse approfondir avec confiance un concept d'échange de crédits dans le cadre de l'approche de compensation à l'heure actuelle.

Le cas d'essai présentait deux options de sous-division des zones qui permettaient l'échange de crédits entre les sous-régions. L'utilisation des données sur la présence et le comportement des ERS était le moyen privilégié pour définir les sous-régions, plutôt que l'utilisation des données sur le paysage sonore. Les participants n'ont toutefois pas pu se mettre d'accord sur la mise en place des divisions pour les définitions finales des sous-régions. Des améliorations ont été proposées durant l'examen du cas d'essai. La comparaison a mis en évidence la sensibilité du calcul des crédits à la définition des sous-régions et la dilution des facteurs de pondération dépendants de la définition de la sous-région a été largement discutée pendant l'examen.

Les renseignements sur la fréquence d'occurrence des ERS et la présence de régions d'alimentation ont été désignés comme des variables appropriées des facteurs de pondération, mais la façon dont les facteurs de pondération doivent être calculés, appliqués et utilisés pour guider les échanges n'a pas été décidée au cours de l'examen et a constitué une source d'incertitude et de malaise. Les participants estimaient qu'il fallait ajuster les méthodes de calcul des facteurs de pondération présentés dans le cas d'essai et évaluer l'approche multiplicative en premier lieu.

Ils ont convenu que la variation des niveaux de bruit et l'application des facteurs de pondération doivent être calculées à l'échelle la plus fine et que, dans la mesure du possible, il fallait supprimer l'utilisation de sous-régions. Cependant, ils n'ont pas discuté de l'incidence que cela pourrait avoir sur le calcul des crédits, ni de la détermination des zones d'équivalence. On peut envisager que plus la résolution est fine, plus la variabilité entre les unités de surface est grande, et donc, plus il est difficile de déterminer les régions utilisées de la même manière par les ERS.

Le cas d'essai représentait l'application des données à un concept théorique et à un cadre de compensation proposé. L'exemple de l'ERS et de la mer des Salish a démontré l'utilisation de données abondantes et des meilleures données scientifiques disponibles sur une espèce en péril pour le concept de compensation. Cependant, les données disponibles ne sont suffisantes que pour les calculs de la compensation pour la période de mai à octobre; la période hivernale

de novembre à avril présente des inconnues beaucoup plus importantes en ce qui concerne la présence des ERS et leur utilisation de l'habitat. L'hiver est considéré comme pauvre en données, et l'on ne dispose pas actuellement des données minimales nécessaires pour appliquer le concept de compensation, tel que déterminé durant le processus d'examen.

Les plus grandes sources d'incertitude dans le calcul des crédits pour le scénario d'essai provenaient de l'utilisation des modèles. Le modèle de bruit des navires affichait des écarts par rapport aux données in situ (figure 8), probablement parce que les niveaux d'émission des navires n'avaient pas été reflétés avec suffisamment d'exactitude dans les entrées du modèle, et que toutes les sources de bruit des navires dans les enregistrements n'étaient pas représentées dans les données d'entrée du SIA. Il s'est avéré que des navires de même type ont des niveaux d'émission très variables (voir Simard *et al.* 2016) et des essais sont en cours pour en comprendre l'incidence sur les sorties du modèle. Les calculs des fréquences de communication et d'écholocalisation des ERS ont utilisé des valeurs extrapolées à partir de la sortie pour les basses fréquences du modèle actuel de bruit des navires. La technique utilisée pour extrapoler de la sortie pour les basses fréquences à des fréquences plus élevées que l'on croit plus pertinentes pour l'ERS peut également introduire de l'incertitude. On apporte actuellement des améliorations au modèle pour la modélisation directe dans les fréquences plus hautes. Une grande partie de la zone d'étude n'était pas incluse dans le domaine de modélisation pour déterminer les aires de quête de nourriture; les valeurs déterminées ne concernaient que les régions du détroit de Haro et du banc Swiftsure (figures 6 et 7). De plus, ces données sont limitées à la période estivale. Il pourrait être utile de disposer de données ou de mesures comportementales supplémentaires pouvant être utilisées comme substitut de la quête de nourriture, comme les paramètres de l'abondance des proies, pour continuer d'élaborer le cadre de compensation.

L'application du concept de compensation aux données du cas d'essai visait un objectif double : comprendre comment un cadre de ce type pouvait être paramétré et utilisé comme mesure de conservation; et amorcer l'élaboration d'un cadre plus général qui pourrait s'appliquer plus largement aux espèces en péril soumises au bruit des navires liés au projet. Cependant, il est devenu évident que des améliorations importantes seraient nécessaires pour avoir un cadre de compensation du bruit solide et scientifiquement défendable.

3.12.2. Autres considérations

Le cas d'une application plurispécifique a été examiné durant l'examen des applications plus larges d'un cadre de compensation; cependant, il n'y a pas eu de résolution sur la façon dont les impacts potentiels sur plus d'une espèce en péril pourraient être traités simultanément à l'aide de l'approche décrite dans le cas d'essai. On sait que d'autres espèces inscrites en vertu de la LEP utilisent la mer des Salish pendant les mois d'été en plus de l'ERS : la baleine à bosse et la baleine grise; le marsouin commun et le marsouin de Dall; et le dauphin à flancs blancs du Pacifique, ainsi que d'autres écotypes d'épaulards (McMillian *et al.* 2022). Il a certes été convenu que la réduction des niveaux de bruit profiterait à toutes ces espèces en général, dans le sens où elle améliorerait la qualité de l'habitat acoustique, mais il pourrait être difficile de concilier les différentes fréquences qu'il serait nécessaire d'examiner pour tenir compte de ces espèces ensemble, et de combiner les données de manière à ce que la compensation soit bénéfique pour toutes. Si l'approche de compensation devait être appliquée à un milieu plurispécifique, les crédits calculés pour les échanges pourraient ne pas être équivalents entre les espèces. La « zone de service » ou l'utilisation de l'habitat de la zone d'étude peut différer d'une espèce à l'autre, et le calcul des crédits et l'équivalence de l'habitat peuvent différer en conséquence.

Les participants ont également discuté de la pérennité de l'approche de compensation. Par exemple, certains ont proposé d'inclure des variables ou des multiplicateurs qui tiendraient compte des variations des conditions de l'habitat et des profils de vitesse du son résultant des changements climatiques et des conditions environnementales modifiées. Il n'a toutefois pas été possible de déterminer la façon d'y parvenir, ni quels aspects pourraient être intégrés dans le calcul des crédits. Une analyse de sensibilité pourrait aider à déterminer les paramètres d'entrée qui ont le plus d'influence sur les résultats du modèle et de quelle façon la variation des intrants environnementaux, ou l'incertitude quant à leurs valeurs, influencerait sur les sorties du modèle. Cela aiderait à définir la dépendance du modèle à l'égard de ces variables et la mesure dans laquelle leur entrée est reflétée dans les sorties du modèle. Une analyse de sensibilité pourrait également aider à déterminer les conséquences des variations des variables d'entrée et pourrait être un moyen de comprendre la solidité du modèle dans différentes conditions océanographiques qui représentent des scénarios de changements climatiques.

Il est nécessaire de mieux caractériser comment le succès sera défini et présenté lorsqu'on utilise des mesures de compensation, notamment en utilisant un calendrier et des échéanciers pour les calculs, et en réexaminant l'approche (voir la figure 4). Il faudrait également préciser la vitesse à laquelle les données seront révisées ou les nouvelles données intégrées à mesure qu'elles seront disponibles. L'efficacité des mesures de gestion de la compensation sera déterminée et les mises à jour seront envisagées à ces jalons de surveillance, ainsi que toute mesure corrective ou supplémentaire qui pourrait être nécessaire si les échanges de crédits n'ont pas atteint l'objectif de compensation d'une augmentation nette nulle du bruit. La Politique de compensation du MPO propose une cible de rendement, qui énonce une valeur ou une plage précise qui devrait également pouvoir tenir compte de la variabilité des indicateurs de la qualité de l'habitat ou des facteurs de pondération utilisés. Ce processus de surveillance et cette réévaluation des crédits devraient permettre de confirmer que les mesures procurent les avantages escomptés pour la qualité de l'habitat et les espèces focales. Il est possible que les cibles de rendement ne soient pas atteintes en raison d'une mauvaise conception, mise en œuvre ou conformité aux mesures, ou en raison de la variabilité ou de l'incertitude intégrée dans le calcul des crédits.

3.13. APPLICATION DE LA COMPENSATION

Les participants se sont entendus sur le fait que, sur le plan conceptuel, l'approche de compensation pourrait être un moyen de remédier aux augmentations du bruit lié au projet pour les espèces de cétacés en péril. Un tel cadre peut être utile pour comprendre où des mesures supplémentaires seraient nécessaires pour atténuer ou compenser les effets négatifs; cependant, le calcul nécessite beaucoup de données. Comme le souligne le cas d'essai, l'un des principaux problèmes pour recourir à la compensation réside dans la disponibilité et l'application de l'information nécessaire au calcul des crédits. Les risques et les incertitudes relevés dans les besoins en données et la mise en œuvre ont entraîné un degré élevé de malaise envers l'application de la compensation comme outil de conservation.

Les discussions des participants lors de l'examen du cas d'essai étaient axées sur la façon dont les données qui seraient appliquées au concept de compensation devraient souligner l'importance et la pertinence biologique des changements dans le paysage sonore pour l'espèce focale. Cependant, les incertitudes et les limites des données empiriques ou modélisées disponibles pour guider le calcul des crédits ont été mises en évidence tout au long de l'examen, et les risques liés à l'utilisation de ces données dans le calcul et l'échange des crédits ont été constamment mis en avant. Les données requises sont innombrables, et l'application à des espèces ou à des emplacements dont les données sont limitées a été fortement déconseillée. Les données minimales requises pour explorer l'approche de

compensation pour une espèce en péril n'ont pas été déterminées, bien que les participants aient répété à plusieurs reprises qu'il serait essentiel d'avoir au moins des données sur la présence de l'espèce focale. Elles ne suffiraient toutefois probablement pas pour effectuer des calculs de compensation solides. Le malaise entourant la façon dont les données seraient appliquées au calcul et à l'échange des crédits a entraîné le rejet général de la compensation telle qu'elle a été présentée dans le cas d'essai. Les principales raisons de ce rejet étaient le manque de données suffisantes pouvant être utilisées pour déterminer de manière fiable les sous-régions et les fonctions de pondération, même pour une espèce riche en données et des périodes comme celles démontrées dans le cas d'essai. Les incertitudes liées à l'utilisation de l'habitat par les ERS dans les zones moins utilisées de l'habitat essentiel et dans les zones qui s'étendaient au-delà des domaines du modèle prédictif sont venues s'y ajouter.

Certaines discussions ont porté sur la solidité du modèle et la façon dont les données d'entrée pourraient être utilisées pour « pérenniser » les prédictions. Il s'agissait d'avoir des prévisions réalistes des changements climatiques dans les entrées du modèle, en plus de données environnementales à haute résolution, qui tiendraient compte des changements climatiques si le modèle devait être utilisé pour des prévisions futures. En particulier, il a été suggéré d'intégrer les variations de la vitesse et de la propagation du son dues aux changements de température et de salinité de l'eau en les incluant dans le modèle.

Certains ont suggéré, en particulier pour les espèces inscrites en vertu de la LEP, que l'ampleur de la compensation de l'habitat devrait être beaucoup plus grande que les impacts admissibles sur l'habitat. L'analyse de l'approche de compensation consiste en partie à examiner les dommages admissibles et le niveau d'incertitude acceptable pour faire progresser son application. La compensation consiste à permettre des pertes d'habitat ou des impacts sur les espèces à un endroit ou à un moment en échange d'améliorations apportées à un autre. C'est pourquoi il a également été suggéré d'imposer une limite ou un plafond à l'impact permis, en particulier pour les espèces en déclin ou dont le statut est inconnu ou dans des zones connues pour être importantes pour l'espèce focale. Cette limite ou ce plafond serait en place même si le calcul global des crédits atteint ou améliore l'objectif d'une augmentation nette nulle du bruit et d'une perte nette nulle d'habitat. La prise en compte des seuils de bruit, ou des niveaux auxquels des réactions comportementales ou physiologiques sont connues, pourrait être intégrée, par exemple, pour les espèces pour lesquelles ils sont disponibles. Ces niveaux de référence sont cependant habituellement génériques et s'appliquent à de vastes groupes d'espèces (utilisateurs des basses, moyennes et hautes fréquences; odontocètes, mysticètes, siréniens et pinnipèdes phocidés ou otariidés; NMFS 2018) et risquent de ne pas être très efficaces pour prévenir les dommages. Pourtant, la comparaison avec des niveaux sonores représentatifs propres à chaque espèce peut quand même être utile. Des participants à l'examen ont mentionné que le niveau de variation du son d'un nombre équivalent de décibels peut être perçu différemment par l'espèce focale selon les niveaux de bruit initiaux (c.-à-d. qu'une variation de 92 dB à 90 dB n'est pas la même chose qu'une variation de 132 dB à 130 dB, bien que les deux soient une réduction de 2 dB). Ainsi, les réductions du bruit dans les régions déjà relativement calmes n'auront peut-être pas le même impact global sur l'espèce focale qu'une réduction dans une zone plus fortement touchée par le bruit du projet. Un seuil de niveau sonore minimal pourrait être envisagé dans ce cas, lorsque des réductions supplémentaires du bruit à partir de ce niveau n'auraient que peu ou pas d'impact significatif sur les espèces en péril. La détermination des régions calmes où ce seuil peut s'appliquer pourrait également aider à concentrer les mesures compensatoires sur les régions où elles pourraient avoir le plus d'effet.

Certains participants craignaient également que l'application d'une approche de compensation compromette les principes clés de la hiérarchie des mesures d'atténuation. Ils ont exprimé un

doute quant au fait que les efforts visent tout d'abord prévenir un impact, pour ensuite mettre en œuvre des mesures d'atténuation, et que la compensation ne serait utilisée qu'en dernier recours (Gardner *et al.* 2013), craignant que l'application de la compensation donnerait l'impression que des mesures sont prises sans que leur efficacité ait été entièrement caractérisée. Les participants ont averti que la mise en œuvre de la compensation sans améliorations importantes peut entraîner un faux sentiment de sécurité relatif à l'atteinte des objectifs de conservation des espèces en péril.

L'application d'une approche de compensation doit être évaluée au cas par cas, espèce par espèce, avant les impacts résiduels. Le manque de données pourrait limiter la nature quantitative de cette évaluation, tout comme l'estimation des dommages admissibles dans les zones visées par l'approche et la réaction prévue de l'espèce. Le cadre de l'approche décrit pour le cas d'essai (voir la figure 4) n'a pas été conçu pour être prescriptif, mais pour aider, dans le processus décisionnel, à déterminer si la compensation serait bénéfique pour une espèce, et pour faciliter l'élaboration du concept et son application pour chaque espèce et milieu pris en considération. Selon cette description, l'utilisation de l'approche ne permet pas d'évaluer l'efficacité des mesures d'atténuation ou de compensation pour soutenir la poursuite ou le rétablissement d'une espèce en péril; déterminer les impacts sur l'espèce ou le potentiel de perturbation acoustique ou comportementale; déterminer les conséquences physiologiques, pour les individus ou les populations, de la modification de la production énergétique; ou évaluer les effets cumulatifs. Cependant, la superposition des régions d'impact (figure 21) et d'atténuation/compensation (figure 22) peut montrer les endroits où les mesures visent directement les ajouts liés au projet. L'application de facteurs de pondération aux régions d'impact ou de compensation, plutôt qu'aux sous-régions, pourrait déterminer davantage le niveau de perturbation que pourraient subir les ERS et préciser l'estimation du niveau d'impact des navires du projet TMX.

3.13.1. Résultats

Même si les participants ont convenu qu'une approche de compensation pourrait être possible sur le plan conceptuel, l'incapacité de réaliser le cadre conceptuel tel qu'il est présenté pour l'ERS, pour lequel on dispose d'une relative richesse de données, en raison de multiples lacunes dans les connaissances, donne à penser qu'il serait prématuré de mettre en œuvre une telle approche pour toute espèce à l'heure actuelle. La compensation représente la troisième phase de la hiérarchie des mesures d'atténuation, selon laquelle il faut d'abord éviter ou atténuer les impacts liés au projet avant d'envisager la compensation pour remédier aux effets résiduels (Gardner *et al.* 2013). Le recours à la compensation pour contrer le bruit sous-marin est sans précédent, et l'application des données du cas d'essai pour comprendre comment on pourrait utiliser ce concept pour traiter le bruit résiduel des navires liés au projet était complexe. Les participants à l'examen ont de plus en plus pris conscience du fait que beaucoup de données étaient nécessaires à une mise en œuvre réussie et qu'elles manquaient dans certaines zones, même pour le cas d'essai. Du fait de la quantité d'information nécessaire, l'approche n'a pas été recommandée pour les milieux sur lesquels il existe peu de données, les exigences minimales n'étant pas établies définitivement pour le moment. De plus, les incertitudes et les risques entourant la mise en œuvre des données dans l'approche à l'heure actuelle peuvent l'emporter sur les avantages potentiels et constituent un obstacle à la poursuite de l'approche. Plusieurs participants estimaient qu'il n'y avait pas suffisamment de preuves, à l'heure actuelle, pour confirmer certaines hypothèses qui sous-tendent l'approche, en particulier celle selon laquelle la réduction du bruit des navires liés au projet profitera effectivement à l'espèce focale. Une surveillance importante serait également nécessaire pour évaluer les résultats de l'approche de compensation et sa fonction à long terme pour aider l'espèce focale.

Les participants ont pris conscience qu'il n'existe probablement pas d'approche normalisée; un cadre de compensation, une fois élaboré, devrait être suffisamment souple pour permettre d'intégrer des renseignements supplémentaires à mesure qu'ils deviennent disponibles (voir la figure 4), tout en étant propre à chaque espèce ou zone à laquelle il est appliqué. Un examen de l'utilisation de la compensation et de son application aux espèces en péril a montré que son efficacité était incertaine, certains participants craignant que la mise en œuvre du cadre ne donne un faux sentiment de sécurité dans l'atteinte des objectifs de conservation, ne nuise aux efforts de rétablissement ou ne réduise la rigueur et les efforts déployés à d'autres étapes de la hiérarchie des mesures d'atténuation (MPO 2022). Tout au long de l'examen du cas d'essai, les participants ont soulevé des défis et des préoccupations d'ordre méthodologique concernant l'efficacité de l'approche en tant qu'outil de gestion. Certains aspects du protocole de calcul des crédits compensatoires peuvent certes guider les mesures de réduction du bruit et aider à déterminer si la mise en œuvre est réussie, et où les mesures ont été les plus efficaces, mais des travaux supplémentaires sont nécessaires avant de poursuivre l'approche. Dans son état actuel, elle pourrait être utilisée comme l'un des outils qui aident à comprendre l'efficacité des mesures prises pour réduire le bruit sous-marin, mais on juge que les incertitudes sont trop grandes pour qu'elle puisse traiter avec succès les effets résiduels.

Il n'existe pas de paramètres ou de critères normalisés pour estimer les effets d'une exposition sonore élevée à long terme, ni pour estimer la proportion de l'espèce focale soumise au bruit lié au projet et comment elle pourrait se traduire par des effets sur la santé de l'ensemble de la population, y compris une réduction du succès de la reproduction ou de la survie. L'approche de compensation présentée ici ne tient compte que des variations du niveau de bruit et n'aborde pas les implications des changements de comportement, du masquage des signaux, du stress ou des réactions morphologiques qui peuvent survenir à la suite des changements dans le paysage sonore et l'exposition au bruit. À l'heure actuelle, les impacts et les dommages causés à l'espèce focale, y compris les perturbations, les blessures ou même la mortalité potentielle, ne sont pas intégrés dans le cadre de compensation.

Telle qu'elle est formulée actuellement, l'approche dispose de moyens limités pour prendre en considération le contexte des expositions et aura donc du mal à caractériser véritablement l'impact (Gomez *et al.* 2016, Wright *et al.* 2023). De plus, telle qu'elle est présentée actuellement pour le cas d'essai, il est probable que l'approche sous-estimerait l'impact sur les ERS en raison des incertitudes dans les données ou lorsque des observations ont été appliquées à l'estimation de l'impact sans incorporer la variation naturelle (p. ex. Wobeser 1994, Wright et Kyhn 2014).

Pour pouvoir effectuer des évaluations d'impact plus approfondies, il faut combler un certain nombre de lacunes dans les connaissances, notamment : les capacités auditives et les fréquences auxquelles les espèces sont sensibles; les tendances de l'occurrence de l'espèce focale et de son utilisation de l'habitat dans l'espace et le temps d'après des données d'observation ou acoustiques; l'impact du bruit des navires sur les comportements; le lien potentiel entre les émissions sonores et les collisions avec un navire ou les empêtements; les impacts cumulatifs des activités liées au projet ou d'autres sources de bruit, peut-être dans le cadre d'une approche de cartographie des impacts (Merchant *et al.* 2018) ou probabiliste (Aulancier *et al.* 2017); la tolérance aux impacts du bruit et les conséquences du stress acoustique sur une espèce. Des travaux accrus pour caractériser la base de référence ou des études d'impact avant le début de nouvelles activités du projet seraient également bénéfiques (Wright et Kyhn 2014).

Chaque application de l'approche de compensation aura ses propres considérations et sera assortie des précautions nécessaires pour appliquer les données disponibles pour calculer les crédits et les risques acceptables compte tenu des incertitudes. L'approche de compensation

est l'une des rares à combiner plusieurs ensembles de données, dont la présence des animaux, les données sur l'utilisation de l'habitat, les modèles de déplacement, les données sur le niveau sonore in situ ou modélisées, ainsi que, potentiellement, les données environnementales ou sur l'abondance des proies. Cependant, il est encore difficile de passer d'une approche qui aide à atténuer le bruit à une autre qui aide à comprendre l'impact. Il existe encore beaucoup de lacunes dans les connaissances sur chacun de ces aspects pour de nombreuses espèces en péril, et on comprend mal les conséquences biologiques des changements du paysage sonore sur les cétacés (Wright 2014, Williams *et al.* 2020, Marotte *et al.* 2022). De ce fait, les limites, les hypothèses, les sources d'incertitude et les risques liés à l'attribution des données à l'approche ont été systématiquement mis en évidence durant l'examen. L'utilisation de la compensation inspirera une plus grande confiance si l'on utilise les meilleures données disponibles, à la résolution la plus basse possible pour paramétrer le calcul des crédits, mais encadrées par des mesures de l'incertitude ou des représentations de la variabilité.

4. CONCLUSION

Les participants à l'examen du cadre proposé ont reconnu le potentiel de la compensation comme moyen de contrer les impacts liés au projet, et plus particulièrement dans l'exemple du cas d'essai. Cependant, ils ont convenu que les limites et les incertitudes décrites dans ce document étaient très préoccupantes, et ont conclu que l'application d'une approche de compensation pour le bruit sous-marin lié au projet serait prématurée pour le moment. Sur le plan conceptuel, les mesures prises dans le cadre proposé étaient judicieuses, mais de nombreuses préoccupations ont été exprimées en ce qui concerne la mise en œuvre en raison de la quantité d'information et d'hypothèses requises. Cela a fini par entraver l'avancement de l'approche de compensation. Les participants n'étaient pas à l'aise avec l'utilisation de compensations pour contrebalancer la perte d'habitat ou les impacts sur les espèces dans une zone par une réduction du bruit découlant de mesures mises en œuvre dans une autre. Plusieurs lacunes dans le calcul des crédits ont également été relevées. Aucun consensus n'a été atteint sur l'utilisation de l'approche, bien que de nombreuses suggestions utiles aient été formulées pour sa future prise en considération.

5. REMERCIEMENTS

Équipe d'Ocean Acoustics : Caitlin O'Neill, Robyn Taves, Christie Morrison, Peter Van Buren. David Semeniuk et ses collègues du PPPH pour leurs conseils sur nos travaux.

6. RÉFÉRENCES CITÉES

- Andrew, R.K., Howe, B.M., Mercer, J.A., and Dzieciuch, M.A. 2002. Ocean ambient sound: comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast. *Acoust. Res. Lett. Online*. 3: 65–70.
- Au, W.W.L., Ford, J.K.B., Horne, J.K., and Allman, K.A.N. 2004. Echolocation signals of free-ranging killer whales (*Orcinus orca*) and modelling of foraging for chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *J. Acoust. Soc. Am.* 115: 901–909.
- Aulanier, F., Simard, Y., Roy, N., Garvaise, C., and Bander, M. 2017. Effects of shipping on marine acoustic habitats in Canadian Arctic estimated via probabilistic modelling and mapping. *Mar. Pollut. Bull.* 125: 115–131.

-
- Baird, R.W., Hanson, M.B., and Dill, L.M. 2005. Factors influencing the diving behaviour of fish-eating killer whales: sex differences and diel and interannual variation in diving rates. *Can. J. Zool.* 83: 257–267.
- Bonnell, T.R., Michaud, R., Dupuch, A., Lesage, V., and Chion, C. 2022 Extracting spatial networks from capture-recapture data reveals individual site fidelity patterns within a marine mammal's spatial range. *Ecol. Evol.* 12(2): e8616.
- Brownlie, S., Botha, M. 2012. Biodiversity offsets: adding to the conservation estate, or 'no net loss'? *Imp. Assess. Project Appraisal.* 27(3): 227–231.
- Bruggeman, D.J., Jones, M.L., Lupi, F., and Scribner, K.T. 2005. Landscape Equivalency Analysis: methodology for estimating spatially explicit biodiversity credits. *Environ. Manag.* 36: 518–534.
- Bull, J.W., Suttle, K.B., Gordon, A., Singh, N.J., and Milner-Gulland, E.J. 2013. Biodiversity offsets in theory and practice. *Oryx.* 3: 269–380.
- Bull, J.W., Gordon, A., Law, E.A., Suttle, K.B., and Milner-Gulland, E.J. 2014. Importance of baseline specification in conservation intervention and achieving no net loss of biodiversity. *Conserv. Biol.* 28: 799–809.
- Bull, J.W., Lloyd, S.P., and Strange, N. 2016. Implementation gap between the theory and practice of biodiversity offset multipliers. *Cons. Lett.* 10(6): 656–669.
- Burnham, R.E., Duffus, D.A. 2020. Maternal behaviors of gray whales (*Eschrichtius robustus*) on a summer foraging site. *Mar. Mamm. Sci.* 1: 9.
- Burnham, R., Moore K. 2023. Implications of Fisheries Closures on the Soundscape in areas used by Southern Resident Killer Whales (SRKW). *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3535: v + 69 p.
- Burnham, R.E., Vagle, S. 2023a. Interference of communication and echolocation of southern resident killer whales. In: Popper, A.N., Sisneros, J., Hawkins, A.D., Thomsen, F. *Effects of Noise on Aquatic Life: Principles and Practical Considerations.* Springer Cham.
- Burnham, R., Vagle, S. 2023b. Changes in sound field levels of the Salish Sea resulting from trials of vessel slowdown, lateral displacement and exclusion from Interim Sanctuary Zones in 2021. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3528: v + 72 p.
- Burnham, R.E., Vagle, S., O'Neill, C., and Trounce, K. 2021a. [The Efficacy of Management Measures to Reduce Vessel Noise in Critical Habitat of Southern Resident Killer Whales in the Salish Sea](#). *Front. Mar. Sci.* 8: 664691.
- Burnham, R.E., Vagle, S., O'Neill, C. 2021b. Spatiotemporal patterns in the natural and anthropogenic additions to the soundscape in parts of the Salish Sea, British Columbia, 2018-2020. *Mar. Pollut. Bull.* 170: 112647.
- Burnham, R.E., Vagle, S., Thupaki, P., Thornton, S. 2023. Implications of wind and vessel noise on the sound fields experienced by southern resident killer whales *Orcinus orca* in the Salish Sea. *Endang. Species Res.* 50: 31-40.
- Government of Canada. 2019. [Order in Council 2019-0820](#). June 2018, 2019.
- Canada Gazette. 2019. [Part 1, Volume 153, Number 25: Orders in Council](#). June 22, 2019.
- Canadian Environmental Assessment Act, CEAA. 2012. (S.C. 2012, c. 19, s. 52). Available at Canadian Environmental Assessment Act, 2012.
- [Canadian Hydrographic Service \(CHS\) \(2020\).](#)
-

-
- Center for Whale Research (CWR). 2024. Southern resident orca community demographics, composition of pods, births and deaths since 1998. Harbor, WA: Center for Whale Research.
- Clark, C.W., Ellison, W.T., Southall, B.L., Hatch, L., Van Parijs, S.M., Frankel, A., and Ponirakis, D. 2009. Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 395: 201–222.
- Cominelli, S., Devillers, R., Yurk, H., McGillivray, A.O., Mcwhinnie, L.H., and Canessa, R. 2018. Noise exposure from commercial shipping for the southern resident killer whale population. *Mar. Pollut. Bull.* 136: 177–200.
- COSEWIC. 2008. [COSEWIC assessment and update status report on the Killer Whale *Orcinus orca*, Southern Resident population, Northern Resident population, West Coast Transient population, Offshore population and Northwest Atlantic / Eastern Arctic population, in Canada](#). Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. Ottawa. viii + 65 pp.
- COSEWIC. 2017. COSEWIC assessment and status report on the Grey Whale *Eschrichtius robustus*, Northern Pacific Migratory population, Pacific Coast Feeding Group population and the Western Pacific population, in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. Ottawa. xxi + 74 pp.
- COSEWIC. 2020. COSEWIC assessment and status report on the Yelloweye Rockfish *Sebastes ruberrimus*, Pacific Ocean outside waters population and Pacific Ocean inside waters population in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. Ottawa. xvi + 72 pp.
- COSEWIC. 2022. COSEWIC assessment and status report on the Humpback Whale *Megaptera novaeangliae kuzira*, North Pacific population in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. Ottawa. xii + 63 pp.
- Cure, C., Antunes, R., Alves, A.C., Visser, F., Kvadsheim, P.H., and Miller, P.J.O. 2013. Responses of male sperm whales (*Physeter macrocephalus*) to killer whale sounds: implications for anti-predator strategies. *Sci. Rep.* 3: 7.
- Dahlheim, M., Castellote, M. 2016. Changes in the acoustic behaviour of gray whales *Eschrichtius robustus* in response to noise. *Endang. Species Res.* 31: 227–242.
- Dargusch, P., Harrison, S., and Thomas, S. 2010. Opportunities for small-scale forestry in carbon markets. *Small-scale Forest.* 9: 397–408.
- Daw, T.M., Coulthard, S., Cheung, W.W.L., and Munyi, L. 2015. Evaluating taboo trade-offs in ecosystem services and human well-being. *PNAS.* 112(22): 6949–6954.
- DeFur, P.L., Evans, G.W., Hubal, E.A.C., Kyle, A.D., Morello-Frosch, R.A., and Williams, D.R. 2007. [Vulnerability as a Function of Individual and Group Resources in Cumulative Risk Assessment](#). *Environ. Health Perspect.* 115(5): 817–824.
- Dunford, R.W., Ginn, T.C., and Desvousges, W.H. 2004. The use of habitat equivalency analysis in natural resource damage assessments. *Ecol. Econ.* 48: 49–70.
- Erbe, C., MacGillivray, A., and Williams, R. 2012. Mapping cumulative noise from shipping to inform marine spatial planning. *J. Acoust. Soc. Am.* 132: EL423.
- Erbe, C., Reichmuth, C., Cunningham, K., Lucke, K., and Dooling, R. 2016. Communication masking in marine mammals: a review and research strategy. *Mar. Poll. Bull.* 103: 15–38.

-
- EU Marine Strategy Framework Directive. 2008. European Parliament and Council. 2008. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy.
- Finneran, J.J. 2015. Noise-induced hearing loss in marine mammals: A review of temporary threshold shift studies from 1996 to 2015. *J. Acoust. Soc. Am.* 138: 1702–1726.
- Ford, J.K.B. 1987. A catalogue of underwater calls produced by killer whales (*Orcinus orca*) in British Columbia. Department of Fisheries and Oceans, Fisheries Research Branch, Pacific Biological Station, Nanaimo, BC.
- Ford, J.K.B. 1989. Acoustic behaviour of resident killer whales (*Orcinus orca*) off Vancouver Island, British Columbia. *Can. J. Zool.* 67: 727–745.
- Ford, J.K.B. 1991. Vocal traditions among resident killer whales (*Orcinus orca*) in coastal waters of British Columbia. *Can. J. Zool.* 69: 1454–1483.
- Francois, R.E., Garrison, G.R. 1982. Sound absorption based on ocean measurements. Part II: boric acid contribution and equation for total absorption. *J. Acoust. Soc. Am.* 72: 1879–1890.
- Frisk, G.V. 2012. Noiseconomics: the relationship between ambient noise levels in the sea and global economic trends. *Sci. Rep.* 2.
- Gardner, T.A., von Hase, A., Brownlie, S., Ekstrom, J.M.M., Pilgrim, J.D., Savy, C.E., Stephens, R.T.T., Treweek, J., Ussher, G.T., Ward, G., and Kate, K.T. 2013. [Biodiversity Offsets and the Challenge of Achieving No Net Loss](#). *Conserv. Biol.* 27(6): 1254–1264.
- Gibbons, P., Evans, M.C., Maron, M., Gordon, A., Le Roux, D., von Hase, A., Lindenmayer, D.B., and Possingham, H.P. 2015. [A Loss-Gain Calculator for Biodiversity Offsets and the Circumstances in Which No Net Loss Is Feasible](#). *Conserv. Lett.* 9(4): 252–259.
- Gillespie, A. 2016. Vulnerability and response to the risk of international shipping: The case of the Salish Sea. *Rev. Europe Comp. Int. Environ. Law.* 25: 317–33.
- Gomez, C., Lawson, J.W., Wright, A.J., Buren, A.D., Tollit, D., and Lesage, V. 2016. A systematic review on the behavioural responses of wild marine mammals to noise: the disparity between science and policy. *Can. J. Zool.* 94: 801–819.
- Gray, L.M., Greeley, D.S. 1980. Source level model for propeller blade rate radiation for the world's merchant fleet. *J. Acoust. Soc. Am.* 67: 516–522.
- Green, L., Myerson, J. 2004. A discounting framework for choice with delayed and probabilistic rewards. *Psychol. Bull.* 130(5): 769–792.
- Gross, J.E., Woodley, S., Welling, L.A., and Watson, J.E.M. (eds.). 2016. Adapting to Climate Change: Guidance for protected area managers and planners. Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 24, Gland, Switzerland: IUCN. xviii + 129 pp.
- Haggarty, D., Gregr, E., Lessard, J., Fields, C., and Davies, S. 2018. Deep Substrate (100 m) for the Pacific Canadian Shelf. Fisheries and Oceans Canada: Nanaimo, BC, Canada. (accessed on 1 April 2021).
- Hamilton, E.L. 1980. Geoacoustic modelling of the sea floor. *J. Acoust. Soc. Am.* 68: 1313–1340.
- Hammond, P.S., Francis, T.B., Heinemann, D., Long, K.J., Moore, J.E., Punt, A.E., Reeves, R.R., Sepúlveda, M., Sigurðsson, G.M., Siple, M.C., Víkingsson, G., Wade, P.R., Williams, R. and Zerbini, A.N. 2021. Estimating the Abundance of Marine Mammal Populations. *Front Mar. Sci.* 8: 735770.
-

-
- Hanafiah, R.M., Menhat, M., Jeevan, J., Salleh, N.H.M., and Ngah, A.H. 2021. [Speed reduction: a strategy for sustainable ship operations](#). Aus. J. Mar. Ocean. Affair. 14(3): 204–219.
- Hanson, M., Baird, R.W., Ford, J.K.B., Hempelmann-Halos, J., Doornik, D.V., Candy, J., Emmons, C., Schorr, G., Gisborne, B., Ayres, K.L., Wasser, S., Balcomb-Bartok, K., Sneva, J., and Ford, M. 2010. Species and stock identification of prey consumed by endangered southern resident killer whales in their summer range. Endang. Species. Res. 11: 69–82.
- Hanson, M.B., Emmons, C.K., Ford, M.J., Everett, M., Parsons, K., Park, L.K., Hempelmann, J., Van Doornik, D.M., Schorr, G.S., Jacobsen, J.K., Sears, M.F., Sears, M.S., Sneva, J.G., Baird, R.W., and Barre, L. 2021. [Endangered predators and endangered prey: seasonal diet of southern resident killer whales](#). PLoS One. 16: e0247031.
- Hatch, L.T., Clark, C.W., Van Parijs, S.M., Frankel, A.S., and Ponirakis, D.W. 2012. Quantifying loss of acoustic communication space for right whales in and around a US National Marine Sanctuary. Conserv. Biol. 26 (6): 983–994.
- Haugerud, R.A. 1999. Digital elevation model (DEM) of Cascadia, latitude 39N-53N, longitude 116W-133W. U.S. Geological Survey Open-File Report 99-369.
- Hauser, D., Logsdon, M.G., and Holmes, E.E. 2007. Summer distribution patterns of southern resident killer whale (*Orcinus orca*): core areas and spatial segregation of social groups. Mar. Ecol. Prog. Ser. 351: 301–310.
- Heimlich-Boran, J.R. 1988. Behavioural ecology of killer whales (*Orca orcinus*) in the Pacific Northwest. Can. J. Zool. 66: 565–578.
- Heise, K.A., Barrett-Lennard, L.G., Chapman, N.R., Dakin, D.T. et al. 2017. Proposed metrics for the management of underwater noise for southern resident killer whales. Coastal Ocean Report Series (2). Ocean Wise, Vancouver, p 30.
- Hildebrand, J.A. 2009. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser. 395: 5–20.
- Hoelzel, A.R. 1993. Foraging behaviour and social group dynamics in Puget Sound killer whales. Anim. Behav. 45(3): 581–591.
- Holt, M.M., Noren, D.P., Veirs, V., Emmons, C.K., and Veirs, S. 2009. Speaking up: killer whales (*Orcinus orca*) increase their call amplitude in response to vessel noise. J. Acoust. Soc. Am. 125: EL27-EL32.
- Holt, M.M., Noren, D.P., and Emmons, C.K. 2011. Effects of noise levels and call types on the source levels of killer whale calls. J. Acoust. Soc. Am. 130: 3100–3106.
- Holt, M.M., Noren, D.P., and Emmons, C.K. 2013. An investigation of sound use and behaviour in a killer whale (*Orcinus orca*) population to inform passive acoustic monitoring studies 29(2): E193-E202.
- Holt, M.M., Tennessen, J.B., Ward, E.J., Hanson, M.B., Emmons, C.K., Giles, D.A., and Hogan, J.T. 2021. Effects of vessel distance and sex on the behavior of endangered killer whales. Front. Mar. Sci. 7: 1211.
- Ives, D., Bekessy, S.A. 2015. The ethics of offsetting nature. Front. Ecol. Environ. 13(10): 568–573.
- Jasny, M. 2005. Sounding the Depths. II: The Rising Toll of Sonar, Shipping and Industrial Ocean Noise on Marine Life. Natural Resource Defence Council, Washington, DC.
-

-
- Jensen, F.B., Kuperman, W.A., Porter, M.B., and Schmidt, H. 2011. Computational ocean acoustics. Springer, New York, NY.
- Kanga, J., Kullberg, P., Pekkonen, M., Kotiaho, J.S., and Ollikainen, M. 2021. [Precision, Applicability, and Economic Implications: A Comparison of Alternative Biodiversity Offset Indexes](#). Environ. Manage. 68: 170–183.
- Ketten, D.R., Lien, J., and Todd, S. 1993. Blast injury in humpback whales ears: Evidence and implication. J. Acoust. Soc. Am. 94: 1849–1850.
- Kiesecker, J.M., Copeland, H., Pocewicz, A., Nibbelink, N., McKenney, B., and Dahlke, J. 2009. A framework for implementing biodiversity offsets: selecting sites and determining scale. BioScience. 59: 77–84.
- Lacy, R.C., Williams, R., Ashe, E., Balcomb III, K.C., Brent, L.J.N., Clark, C.W., Croft, D.P., Giles, D.A., MacDuffee, M., and Paquet, P.C. 2017. [Evaluating anthropogenic threats to endangered killer whales to inform effective recovery plans](#). Sci. Rep. 7(14119).
- Laibson, D. 1997. Golden eggs and hyperbolic discounting. Quart. J. Econ. 112(2): 443–477.
- Laitila, J., Moilanen, A., and Pouzols, F.M. 2014. A method for calculating minimum biodiversity offset multipliers accounting for time discounting, additionality and permanence. MEE 5: 1247–1254.
- Lawson, J.W. and Lesage, V. 2013. [A draft framework to quantify and cumulate risks of impacts from large development projects for marine mammal populations: A case study using shipping associated with the Mary River Iron Mine project](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/154. iv + 22 p.
- Lusseau, D., Bain, D.E., Williams, R., and Smith, J.C. 2009. Vessel traffic disrupts the foraging behaviour of southern resident killer whales *Orcinus orca*. Endang. Species Res. 6: 211–221.
- MacGillivray, A.M., Li, A. 2018. Vessel noise measurements from the ECHO Slowdown Trial: final report. Document 01518, Version 3.0. Technical report by JASCO Applied Sciences for Vancouver Fraser Port Authority ECHO Program. JASCO Applied Sciences. Victoria, BC.
- MacGillivray, A.O., Zizheng, L., Hannay, D.E., Trounce, K., and Robinson, O.M. 2019. Slowing deep-sea commercial vessels reduces underwater radiated noise. J. Acoust. Soc. Am. 146: 340–351.
- Madsen, P.T., Wisniewska, D., and Beedholm, K. 2010. Single source sound production and dynamic beam formation in echolocating harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). J. Exp. Biol. 213(18): 3105–3110.
- Malakoff, D. 2010. [A Push for Quieter Ships](#). Science. 328(5985): 1502–1503.
- Maloni, M., Paul, J.A., and Gligor, D.M. 2013. Slow steaming impacts on ocean carriers and shippers. Mar. Econ. Logist. 15: 151–171.
- Maron, M., Hobbs, R.J., Moilanen, A., Matthews, J.W., Christie, K., Gardner, T.A., Keith, D.A., Lindenmayer, D.B., and McAlpine, C.A. 2012. [Faustian bargains? Restoration realities in the context of biodiversity offset policies](#). Biol. Conserv. 155: 141–148.
- Marotte, E., Wright, A.J., Breeze, H., Wingfield, J., Matthews, L.P., Risch, D., Merchant, N.D., Barclay, D., Evers, C., Lawson, J., Lesage, V., Moors-Murphy, H., Nolet, V., and Theriault, J.A. 2022. [Recommended metrics for quantifying underwater noise impacts on North Atlantic right whales](#). Mar. Poll. Bull. 175: 113361.
-

-
- Matthews, M.-N.R., Groom, C. 2021. Assessment of vessel noise within southern resident killer whale interim sanctuary zones. JASCO Applied Sciences Canada Ltd Report prepared for Innovation Centre of Transport Canada.
- Matthews, M.-N.R., Alavizadeh, Z., Hannay, D.E., Horwich, L., and Frouin-Mouy, H. 2018. Assessment of vessel noise within the southern resident killer whale critical habitat. JASCO Applied Sciences Canada Ltd Report prepared for Innovation Centre of Transport Canada.
- McDougall, T.J., Barker, P.M. 2011. Getting started with TEOS-10 and the Gibbs Seawater (GSW) oceanographic toolbox. In: SCOR/IAPSO WG127, p 28.
- McKenney, B., Kiesecker, J.M. 2010. Policy development for biodiversity offsets: a review of offset frameworks. *Environ. Manage.* 45: 165–176.
- McMillan, C.J., Keppel, E.A., Spaven, L.D., and Doniol-Valcroze, T. 2022 Preliminary report on the seasonal abundance and distribution of cetaceans in the southern Salish Sea in response to TMX Recommendations 5 and 6 (Year 1). *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3474: vi + 33 p.
- Merchant, N.D., Fristrup, K.M., Johnson, M.P., Tyack, P.L., Witt, M.J., Blondel, P., and Parks, S.E. 2015. Measuring acoustic habitats. *Methods Ecol. Evol.* 6: 257–265.
- Merchant, N.D., Faulkner, R.C., and Martinez, R. 2018. Noise budgets in practice. *Cons. Lett.* 11(3): e12420.
- Miksis-Olds, J.L., Nichols, S.M. 2016. Is low frequency ocean sound increasing globally? *J. Acoust. Soc. Am.* 139: 501–511.
- Miller, P.J.O. 2002. Mixed-directionality of killer whale stereotyped calls: a direction of movement cue? *Behav. Ecol. Sociobiol.* 52: 262–270.
- Miller, P.J. 2006. Diversity in sound pressure levels and estimated active space of resident killer whale vocalizations. *J. Comp. Physiol. A* 192: 449–459.
- Miller, P.J.O., Bain, D.E. 2000. Within-pod variation in the sound production of a pod of killer whales, *Orcinus orca*. *Anim. Behav.* 60: 617–628.
- Moilanen, A., Teeffelen, J.A., Ben-Haim, Y., and Ferrier, S. 2009. How much compensation is enough? A framework for incorporating uncertainty and time discounting when calculating offset ratios for impacted habitat. *Restor. Ecol.* 17: 470–478.
- MPO. 2017a. [Désignation des habitats d'importance particulière pour les épaulards \(*Orcinus orca*\) résidents au large de la côte Ouest du Canada](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Rép. des Sci. 2017/011.
- MPO. 2017b. [Évaluation des preuves scientifiques à l'appui de la probabilité d'efficacité des mesures d'atténuation des niveaux de bruit dus aux navires subis par les épaulards résidents du Sud](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Rép. des Sci. 2017/041.
- MPO. 2018. [Programme de rétablissement modifié de l'épaulard \(*Orcinus orca*\), populations résidentes du nord et du sud au Canada](#). Série de programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril, Pêches et Océans Canada, Ottawa. x + 91 p.
- MPO 2019. Policy for Applying Measures to Offset Adverse Effects on Fish and Fish Habitat Under the Fisheries Act. Fish and Fish Habitat Protection Program, Ottawa.
- MPO. 2021. [Détermination des zones pour l'atténuation des menaces posées par les navires pour la survie et le rétablissement de l'épaulard résident du sud](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2021/025.
-

-
- MPO. 2022. [Compte rendu de la réunion nationale d'examen par les pairs au sujet des avis scientifique visant à soutenir le cadre d'évaluation du risque pour la délivrance de permis en vertu de la Loi sur les espèces en péril; du 6 au 8 novembre 2018](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Compte rendu. 2022/033.
- National Marine Fisheries Service (NMFS). 2018. 2018 Revisions to: Technical guidance for assessing the effects of anthropogenic sound on marine mammal hearing (Version 2.0): Underwater thresholds for onset of permanent and temporary threshold shifts. U.S. Dept. of Commer., NOAA, Silver Spring. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59, 167 p.
- National Marine Fisheries Service (NMFS). 2024. 2024 Update to: Technical guidance for assessing the effects of anthropogenic sound on marine mammal hearing (Version 3.0): Underwater and in-air criteria for onset of auditory injury and temporary threshold shifts. NOAA Technical Memorandum.
- National Energy Board (NEB). 2019. National Energy Board reconsideration of aspects of its OH-001-2014 Report as directed by Order in Council P.C. 2018-1177 (MH-052-2018). National Energy Board.
- National Research Council (NRC). 2005. Marine mammal populations and ocean noise: Determining when noise causes biologically significant effects. The National Academies Press, Washington, DC.
- New, L.F., Harwood, J., Thomas, L., Donovan, C., Clark, J.S., Hastie, G., Thompson, P.M., Cheney, B., Scott-Hayward, L., and Lusseau, D. 2013. [Modelling the biological significance of behavioural change in coastal bottlenose dolphins in response to disturbance](#). *Funct. Ecol.* 27(2): 314–322.
- New, L.F., Clark, J.S., Costa, D.P., Fleishman, E., Hindell, M.A., Klanjšček, T., Lusseau, D., Kraus, S., McMahon, C.R., Robinson, P.W., Schick, R.S., Schwarz, L.K., Simmons, S.E., Thomas, L., Tyack, P., and Harwood, J., 2014. [Using short-term measures of behaviour to estimate long-term fitness of southern elephant seals](#). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 496: 99–108.
- Noren, D.P., Johnson, A.H., Rehder, D., and Larson, A. 2009. Close approaches by vessels elicit surface active behaviours by southern resident killer whales. *Endang. Species Res.* 8: 179–192.
- Nowacek, D.P., Thorne, L.H., Johnston, D.W., and Tyack, P.L. 2007. Responses of cetaceans to anthropogenic noise. *Mammal Rev.* 37(12): 81–115.
- Olson, J.K., Wood, J., Osborne, R.W., Barrett-Lennard, L., and Larson, S. 2018. Sightings of southern resident killer whales in the Salish Sea 1976–2014: the importance of a long-term opportunistic dataset. *Endang. Species Res.* 37: 105–118.
- Palmer, M., Filoso, S. 2009. Restoration of ecosystem services for environmental markets. *Science.* 325(5940): 575–576.
- Parks, S.E., Clark, C.W., and Tyack, P.L. 2007. Short- and long-term changes in right whale calling behavior: The potential effects of noise on acoustic communication. *J. Acoust. Soc. Am.* 122(6): 3725–3731.
- Pilgrim, J.D., Brownlie, S., Ekstrom, J.M.M., Gardner, T.A., von Hase, A., ten Kate, K., et al. 2013. A process for assessing the offsetability of biodiversity impacts. *Cons. Lett.* 6(5): 376–384.
- Quétier, F., Lavorel, S. 2012. Assessing ecological equivalence in biodiversity offset schemes: key issues and solutions. *Biol. Conserv.* 144: 2991–2999.
-

-
- Raverty, S., St. Leger, J., Noren, D.P., Burek Huntington, K., Rotstein, D.S., Gulland, F.M.D., Ford, J.K.B., Hanson, M.B., Lambourn, D.M., Huggins, J., Delaney, M.A., Spaven, L., Rowles, T., and Gaydos, J.K. 2020. [Pathology findings and correlations with body condition index in stranded killer whales \(*Orcinus orca*\) in the northeastern Pacific and Hawaii from 2004 to 2013](#). PLoS One. 15: e0242505.
- Riesch, R., Ford, J.K.B., and Thomsen, F. 2006. Stability and group specificity of stereotyped whistles in resident killer whales, *Orcinus orca*, off British Columbia. Anim. Behav. 71: 79–91.
- Rolland, R.M., Parks, S.E., Hunt, K.E., Castellote, M., Corkeron, P.J., Nowacek, D.P., Wasser, S.K., and Krause, S.D. 2012. Evidence that ship noise increases stress in right whales. Proc. R. Soc. B. 279(1737): 1–6.
- Sato, M., Trites, A.W., and Gautier, S. 2021. Southern resident killer whales encounter higher prey densities than northern resident killer whales during summer. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 78: 1732–1743.
- Shields, M. (2023) 2018–2022 [Southern resident killer whale presence in the Salish Sea: continued shifts in habitat usage](#). Peer J. 11: e15635.
- Simard, Y., Roy, N., Gervaise, C., Chorus, C., and Giard, S. 2016. Analysis and modelling of 225 source levels of merchant ships from an acoustic observatory along the St. Lawrence seaway. J. Acoust. Soc. Am. 140(3): 2002–2018.
- Simmonds, M., Dolman, S., and Weilgart, L. 2004. Oceans of noise. In: A WDCS Science Report WDCS. The Whale and Dolphin Conservation Society, Plymouth, MA.
- Soontiens, N., Allen, S.E. 2017. Modelling sensitivities to mixing and advection in a sill-basin estuarine system. Ocean Model. 112: 17–32.
- Soontiens, N., Allen, S.E., Latornell, D., Le Souëf, K., Machuca, I., Paquin, J.-P., Lu, Y., Thompson, K., and Korabel, V. 2016. [Storm Surges in the Strait of Georgia Simulated with a Regional Model](#). Atmos.-Ocean. 54(1): 1–21.
- Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene, Jr. C.R., Kastak, D., Ketten, D.R., Miller, J.H., Nachtigall, P.E., Richardson, W.J., Thomas, J.A., and Tyack, P.L. 2007. Marine mammal noise-exposure criteria. Aquat. Mamm. 33(4): 411–522.
- Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene, Jr. C.R., Kastak, D., Ketten, D.R., Miller, J.H., and Nachtigall, P.E. 2008. Marine mammal noise-exposure criteria: initial scientific recommendations. Bioacoustics- Int. J. Animal Sound Record. 17(1–3): 273–275.
- Southall, B., Berkson, J., Bowen, D., Brake, R., Eckman, J., Field, J., Gisiner, R., Gregerson, S., Lang, W., Lewandoski, J., Wilson, J., and Winokur, R. 2009. Addressing the effects of human-generated sound on marine life—An integrated research plan for U.S. Federal Agencies: Interagency Task Force on Anthropogenic Sound and the Marine Environment of the Joint Subcommittee on Ocean Science and Technology, Washington, DC.
- Southall, B.L., Finneran, J.J., Reichmuth, C., Nachtigall, P.E., Ketten, D.R., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Nowacek, D.P., and Tyack, P.L. 2019. Marine mammal noise exposure criteria: Updated scientific recommendations for residual hearing effects. Aquat. Mamm. 45: 125–232.
- Southall, B.L., Nowacek, D.P., Bowles, A.E., Senigaglia, V., Bejder, L., and Tyack, P.L. 2021. Marine mammal noise exposure criteria: assessing the severity of marine mammal behavioral responses to human noise. Aquat. Mamm. 47(5): 421–464.
-

-
- Stredulinsky, E., Toews, S., Watson, J., Noren, D.P., Holt, M.M., and Thornton, S. 2023. Delineating important killer whale foraging areas using a spatiotemporal logistic model. *Glob. Ecol. Cons.* 48: e02726.
- Szabo, A., Duffus, D. 2008. Mother-offspring association in the humpback whale, *Megaptera novaeangliae*: following behaviour in an aquatic environment. *Anim. Behav.* 75(3): 1085–1092.
- Tennessen, J.B., Holt, M.M., Hansen, M.B., Emmons, C.K., Giles, D.A., and Hogan, J.T. 2019a. Kinematic signatures of prey capture from archival tags reveal sex differences in killer whale foraging activity. *J. Exp. Biol.* 222: 1–13.
- Tennessen, J.B., Holt, M.M., Ward, E.J., Hansen, M.B., Emmons, C.K., Giles, D.A., and Hogan, J.T. 2019b. Hidden Markov models reveal temporal patterns and sex difference in killer whale behaviour. *Sci. Rep.* 9: 14951.
- Thornton, S.J., Toews, S., Stredulinsky, E., Gavrilchuk, K., Konrad, C., Burnham, R., Noren, D.P., Holt, M.M., et Vagle, S. 2022. [Répartition estivale de l'épaulard résident du sud \(*Orcinus orca*\) et utilisation de l'habitat dans le sud de la mer des Salish et dans la zone du banc Swiftsure \(2009 à 2020\)](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/037. vii + 62 p.
- Thornton, S.J., Toews, S., Burnham, R., Konrad, C.M., Stredulinsky, E., Gavrilchuk, K., Thupaki, P., et Vagle, S. 2022. [Zones à risque élevé d'effets physiques et acoustiques liés aux navires dans l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud \(*Orcinus orca*\)](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/058. vii + 49 p.
- Vagle, S. 2020. Evaluation of the efficacy of the Juan de Fuca lateral displacement trial and Swiftsure Bank plus Swanson Channel interim sanctuary zones, 2019. *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci.* 332: vi + 60 p.
- Vagle, S., and Neves, M. 2019. Evaluation of the effects on underwater noise levels from shifting vessel traffic away from Southern Resident Killer Whale foraging areas in the Strait of Juan de Fuca in 2018. *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci.* 329 : vi + 64 p.
- Vagle, S., Burnham, R.E., O'Neill, C., and Yurk, H. 2021. Variability in anthropogenic underwater noise due to bathymetry and sound speed characteristics. *J. Mar. Sci. Eng.* 9: 1047.
- Vanderlaan, A.S.M., Taggart, C.T. 2007. Vessel collisions with whales: the probability of lethal injury based on vessel speed. *Mar. Mamm. Sci.* 23: 144–156.
- van Oosterzee, P., Blignaut, J., and Bradshaw, C.J.A. 2012. iREDD hedges against avoided deforestation's unholy trinity of leakage, permanence and additionality. *Conserv. Lett.* 5: 266–273.
- Veirs, S., Veirs, V., and Wood, J.D. 2016. Ship noise extends to frequencies used for echolocation by endangered killer whales. *Peer J.* 4: e1657.
- Veirs, S., Veirs, V., Williams, R., Jasny, M., and Wood, J. 2018. A key to quieter seas: half of ship noise comes from 15% of the fleet. *Peer J. Preprints.* 6: e26525v1.
- Villegas-Amtmann, S., Schwarz, L.K., Sumich, J.L., and Costa, D.P. 2015. [A bioenergetics model to evaluate demographic consequences of disturbance in marine mammals applied to gray whales](#). *Ecosphere.* 6(10): 183.
-

-
- Villegas-Amtmann, S., Schwarz, L.K., Gailey, G., Sychenko, O., and Costa, D.P. 2017. East or west: the energetic cost of being a gray whale and the consequence of losing energy to disturbance. *Endanger. Species Res.* 34: 167–183.
- Watson, J., Joy, R., Tollit, D., Thornton, S.J., Auger-Méthé, M. 2021. Estimating animal utilization distributions from multiple data types: a joint spatiotemporal point process framework. *An. Appl. Stat.* 15(4): 1872–1896.
- Weilgart, L. 2007. The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Can. J. Zool.* 85: 1091–1116.
- Williams, R., Lusseau, D., Hammond, P.S. 2006. Estimating relative energetic costs of human disturbance to killer whales (*Orcinus orca*). *Biol. Cons.* 133: 301–311.
- Williams, R., Erbe, C., Ashe, E., Beerman, A., and Smith, J. 2014. [Severity of killer whale behavioral responses to ship noise: a dose-response study](#). *Mar. Pollut. Bull.* 79 (1–2): 254–260.
- Williams, R., Cholewiak, D., Clark, C.W., Erbe, C., George, J.C., Lacy, R.C., Leaper, R., Moore, S.E., New, L., Parsons, E.C.M., Rosenbaum, H.C., Rowles, T.K., Simmonds, M.P., Stimmelmayer, R., Suydam, R.S., and Wright, A.J. 2020. [Chronic ocean noise and cetacean population models](#). *J. Cetacean Res. Manage.* 21: 85–94.
- Williams, R., Lacy, R.C., Ashe, E., Barrett-Lennard, L., Brown, T.M., Gaydos, J.K., Gulland, F., MacDuffe, M., Nelson, B.W., Nielsen, K.A., Nollens, H., Raverty, S., Reiss, S., Ross, P.S., Collins, M.S., Stimmelmayer, R., and Paquet, P. 2024. Warning sign of an accelerating decline in critically endangered killer whales (*Orcinus orca*). *Comms. Earth Environ.* 5: 173.
- Wobeser, G. 1994. Investigation and management of disease in wild animals. Plenum Press, New York.
- Wood, J., Southall, B.L., and Tollit, D.J. 2012. PG&E offshore 3-D Seismic Survey Project EIR – Marine Mammal Technical Draft Report. SMRU Ltd. 121 p.
- Wright, A.J. 2014. Reducing impacts of human ocean noise on cetaceans: knowledge gap analysis and recommendations. WWF International. Gland, Switzerland.
- Wright, A., Kyhn, L. 2014. Practical management of cumulative anthropogenic impacts with working marine examples. *Cons. Biol.* 29(2): 333–340.
- Wright, A.J., Soto, N.A., Baldwin, A.L., Bateson, M., Beale, C.M., Clark, C., Deak, T., Edwards, E.F., Fernández, A., Godinho, A., Hatch, L.T., Kakuschke, A., Lusseau, D., Martineau, D., Romero, L.M., Weilgart, L.S., Wintle, B.A., Notarbartolo-di-Sciara, G., and Martin, V. 2007. [Do Marine Mammals Experience Stress Related to Anthropogenic Noise?](#) *Int. J. Compar. Psych.* 20(2): 274–316.
- Wright, B.M., Ford, J.K.B., Ellis, G.M., Deecke, V.B., Shapiro, A.D., Battaile, B.C., and Trites, A.W. 2017. Fine-scale foraging movements by fish-eating killer whales (*Orcinus orca*) relate to the vertical distributions and escape responses of salmonid prey (*Oncorhynchus* spp.). *Mov. Ecol.* 5:3.
- Wright, A., Moors-Murphy, H., and Yurk, H. 2023. Applying technical guidance from the USA for management of impacts of anthropogenic noise on wildlife in other countries; the Canadian context. *Can. J. Zool.* 101: 222–241.
- WSP. 2020. Long-term container traffic forecast 2020-2060. Final Report. Prepared by WSP Inc. for Vancouver Fraser Port Authority #200203-.04.
-