



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 2022/037

Région de la capitale nationale

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)

Sheila J. Thornton¹, Scott Toews¹, Eva Stredulinsky², Katherine Gavrilchuk¹, Christine Konrad¹,
Rianna Burnham³, Dawn P. Noren⁴, Marla M. Holt⁴, et Svein Vagle³

¹Centre d'entreprise des sciences du Pacifique
Pêches et Océans Canada
4160, Marine Drive
West Vancouver (Colombie-Britannique) V7V 1N6

²Station biologique du Pacifique
Pêches et Océans Canada
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (Colombie-Britannique) V9T 6N7

³Institut des sciences de la mer
Pêches et Océans Canada
9860, chemin Saanich Ouest
Sidney (Colombie-Britannique) V8L 5T5

⁴Marine Mammal Program
National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
National Marine Fisheries Service (NMFS)
[Northwest Fisheries Science Center](#)
2725 Montlake Boulevard East
Seattle, Washington 98112

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/>
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2022
ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-44982-1 N° cat. Fs70-5/2022-037F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

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

Also available in English :

Thornton, S.J., Toews, S., Stredulinsky, E., Gavrilchuk, K., Konrad, C., Burnham, R., Noren, D.P., Holt, M.M., et Vagle, S. 2022. Southern Resident Killer Whale (*Orcinus orca*) summer distribution and habitat use in the southern Salish Sea and the Swiftsure Bank area (2009 to 2020). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2022/037. v + 56 p.

TABLES DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	vi
1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODOLOGIE.....	3
2.1. DONNÉES D'OBSERVATION	4
2.1.1. Plateformes de données ponctuelles	4
2.1.2. Données provenant de l'observation des baleines	4
2.1.3. Données de recherche du MPO.....	4
2.1.4. Données combinées sur les observations	5
2.2. MODÉLISATION DE L'EFFORT CORRIGÉ	5
2.2.1. Modèle de densité par noyau.....	5
2.2.2. Modèle d'occurrence de l'épaulard résident du sud.....	6
2.3. ANALYSE COMPORTEMENTALE DE L'ÉPAULARD RÉSIDENT DU SUD.....	9
2.3.1. Collecte des données.....	9
2.3.2. Relevé de suivi ciblé	9
2.3.3. Relevés de comportement de groupe	9
2.3.4. Analyse du comportement	10
2.4. ACTIVITÉS DE DÉTECTION ACOUSTIQUE	11
2.4.1. Collecte des données.....	11
2.4.2. Détection et identification des épaulards	12
2.4.3. Estimation de la performance des détecteurs automatisés	13
3. RÉSULTATS.....	13
3.1. MODÈLE DE DENSITÉ PAR NOYAU	13
3.2. MODÈLE D'OCCURRENCE DE L'ÉPAULARD RÉSIDENT DU SUD.....	14
3.3. MODÈLE COMPORTEMENTAL.....	15
3.4. DÉTECTIONS ACOUSTIQUES ET DURÉE DES RENCONTRES	15
4. DISCUSSION.....	17
5. CONCLUSION	24
6. REMERCIEMENTS	25
7. RÉFÉRENCES CITÉES	25
8. TABLEAUX	31
9. FIGURES	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Descriptions des états comportementaux des épaulards utilisées pour les études comportementales du MPO	31
Tableau 2. Paramètres du modèle INLA pour le suivi ciblé (SC) et l'enquête sur le comportement de groupe (ECG) du MPO et les études comportementales de la NOAA analysés à l'aide de champs aléatoires gaussiens et de Markov (CAGM).	31
Tableau 3. Périodes d'enregistrement acoustique à chaque emplacement et pour chaque mois d'analyse.....	33
Tableau 4. Résumé de la collecte de données acoustiques et des méthodes d'analyse utilisées pour évaluer l'occurrence acoustique des épaulards résidents du sud au banc Swiftsure de 2009 à 2011	34
Tableau 5. Paramètres utilisés pour le détecteur de sifflements et de gémissements de PAMGuard qui permet de détecter automatiquement les appels pulsés des orques.	35
Tableau 6. Les valeurs du critère d'information de déviance (CID) et du delta CID de tous les modèles d'occurrence de l'épaulard résident du sud testés avec les composants du modèle résumés dans les colonnes.	36
Tableau 7. Les suivis ciblés effectués sur les individus d'épaulard résident du sud par le MPO en 2018-2020. ID représente la désignation alphanumérique de l'épaulard individuel suivi.	37
Tableau 8. Résumé des observations pour le suivi ciblé (SC) et l'enquête sur le comportement de groupe (ECG) du MPO, et les études comportementales de la NOAA.	39
Tableau 9. Résumé de l'autocorrélation spatiale (km) et temporelle (min) au sein du suivi ciblé (SC) et de l'enquête sur le comportement de groupe (ECG) du MPO et des études comportementales de la NOAA	40
Tableau 10. Résumé du nombre de jours par mois avec des détections acoustiques d'épaulards résidents du sud, du nombre de jours d'effort (ou de surveillance) par mois et du pourcentage de jours de détection par mois au banc Swiftsure de 2009 à 2011 et de 2018 à 2019	41
Tableau 11. Jours de détection acoustique (dét.) par mois des épaulards résidents du sud, nombre de rencontres (renc.) et durée des rencontres (dur.) en heures (moyenne et écart-type) pour trois emplacements (Swiftsure, Rivière Jordan, Port Renfrew) de mai à octobre en 2018 et 2019.	42

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Les eaux autour du sud de l'île de Vancouver, en Colombie-Britannique. Les zones ombragées délimitent l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud dans les eaux canadiennes (jaune) et américaines (vert).....	44
Figure 2. Répartition des observations et des rencontres avec des épaulards résidents du sud (n = 79 231), d'après Ford et al. (2017). Les sources de données comprennent les rencontres du Programme de recherche sur les cétacés du MPO (1973-2014)	45
Figure 3. Détails bathymétriques pour la zone de Swiftsure et certaines parties de la mer des Salish intérieure.	46
Figure 4. Emplacement des rapports d'observation de la catégorie des observateurs de baleines extraits des bases de données du BC Cetacean Sightings Network et d'OrcaMaster de mai à octobre, de 2009 à 2018 (les doublons ont été supprimés)	47

Figure 5. Données d'observations du MPO non corrigées en fonction de l'effort (lignes grises) de mai à octobre, 2009-2020	48
Figure 6. Grille d'effort (25 km ²) pour OrcaMaster (à gauche) et BC Cetacean Sightings Network (à droite) utilisée dans l'analyse de la plateforme de données ponctuelles	49
Figure 7. A) Maillage de calcul et B) et le maillage double correspondant, formé en construisant des polygones de Voronoï autour des sommets du maillage	50
Figure 8. Le logarithme de l'effort total de recherche (h), effort combiné du MPO et des OB, estimé pour chaque mois et additionné sur toutes les années pour le groupe J.	51
Figure 9. Fréquence annuelle d'occurrence de l'épaulard résident du sud de mai à octobre telle que prédite par la plateforme ponctuelle 2009-2018 (BC Cetacean Sightings Network/OrcaMaster) des observations ajustées à un modèle de densité par noyau.	52
Figure 10. Estimations par le modèle du nombre total observé d'observations faites par mois pour chaque groupe (J, K et L) avec les intervalles de crédibilité à 95 % a posteriori.....	53
Figure 11. Intensité d'occurrences annuelle de l'épaulard résident du sud, estimée par le modèle d'occurrence de l'épaulard résident du sud à l'aide des données combinées des OB et du MPO pour les mois de mai à octobre, 2009-2020.	54
Figure 12. Prévion mensuelle de la préférence d'habitat de l'épaulard résident du sud lorsqu'il se trouve dans son habitat essentiel, en utilisant les données de tous les mois d'été (mai à octobre) pour estimer les seuils de préférence	55
Figure 13. Prévion de la préférence mensuelle d'habitat de l'épaulard résident du sud lorsqu'il se trouve dans son habitat essentiel, en utilisant les données de chaque mois pour estimer les seuils de préférence.....	56
Figure 14. Lieux d'observation des déplacements et de la recherche de nourriture pour a) les suivis ciblés du MPO (2018-2020); b) les relevés comportementaux de groupe du MPO (2018-2020); c) les suivis ciblés de la NOAA (2006); et d) l'échantillonnage comportemental de la NOAA (2007-2009)	57
Figure 15. Modèles comportementaux spatio-temporels prédisant les états comportementaux Déplacement (bleu) et Recherche de nourriture (rouge)	58
Figure 16. Zones de comportement probable de déplacement (bleu) et de recherche de nourriture (rouge) telles que prédites par les sorties du modèle; la transparence accrue du polygone indique une confiance décroissante (probabilité > 0,7, > 0,8 et > 0,9) que la recherche de nourriture ou le déplacement étaient les comportements dominants	59
Figure 17. Nombre de jours par mois avec des détections acoustiques d'épaulards résidents du sud (appels pulsés stéréotypés validés) au banc Swiftsure, à Port Renfrew et à la rivière Jordan de mai à octobre en 2018 (bleu pâle) et 2019 (bleu foncé), exprimé en pourcentage (%) des jours de surveillance acoustique passive (SAP) ou d'effort	60
Figure 18. Durée de rencontre acoustique (h) des épaulards résidents du sud au banc Swiftsure, à Port Renfrew et à la rivière Jordan de mai à octobre en 2018 et 2019 (moyenne et écart-type), telle que déterminée à partir des appels pulsés stéréotypés validés	61
Figure 19. Nombre de jours avec des détections acoustiques d'épaulards résidents du sud (appels pulsés stéréotypés validés) au banc Swiftsure de mai à octobre pour 2009 à 2011.	62

RÉSUMÉ

La population d'épaulards (*Orcinus orca*) résidents du sud dans les eaux du Pacifique canadien est inscrite comme espèce en voie de disparition en vertu de la *Loi sur les espèces en péril*. Des efforts en faveur du rétablissement sont en cours de la part de nombreux secteurs gouvernementaux, intervenants, industries et autres. L'habitat essentiel pour cette population a été défini et comprend les eaux du plateau continental au large du sud-ouest de l'île de Vancouver et, vers l'est, des parties des eaux intérieures de la mer des Salish. Comme l'étendue spatiale de l'habitat essentiel est vaste, il est nécessaire de concentrer les efforts d'atténuation sur les zones qui ont le plus grand potentiel de fournir des avantages à la population. Pour répondre aux demandes d'avis sur les limites spatiales et temporelles définissant les zones de forte présence relative d'épaulards résidents du sud, une nouvelle approche a été adoptée afin de faciliter le regroupement d'ensembles de données disparates et de remédier au biais d'échantillonnage préférentiel dans les données d'observation. Les résultats présentés ici montrent que, de mai à octobre, la fréquence d'occurrence la plus élevée d'épaulards résidents du sud se trouve dans les eaux situées à proximité du banc Swiftsure, dans la partie orientale du détroit de Haro, dans des sections du chenal Swanson et du passage Boundary, et près du fleuve Fraser. L'analyse des données comportementales fournit des informations supplémentaires sur l'utilisation de l'habitat et permet de déterminer les principales aires d'alimentation sur le banc Swiftsure et dans le détroit de Haro. L'évaluation des détections acoustiques et des durées de rencontre provenant des enregistreurs déployés dans l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud permet d'étayer l'interprétation des données d'observation et de fournir des informations supplémentaires sur l'utilisation de l'habitat à petite échelle au sein de l'habitat essentiel de la population.

1. INTRODUCTION

Quatre populations sympatriques d'épaulards (*Orcinus orca*) ont été décrites dans les eaux canadiennes du Pacifique. La population d'épaulards résidents du sud est la plus petite des quatre et, en 2020, elle ne comptait que 74 individus (2020, [Centre for Whale Research](#)). La population d'épaulards résidents du sud figure sur la liste des espèces en voie de disparition de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP) du Canada. Une population en déclin et des menaces croissantes susceptibles de réduire encore davantage le nombre d'individus ont été citées comme justification de la désignation (COSEPAC 2001). Des zones d'eaux côtières et intérieures autour de l'île de Vancouver ont été désignées comme habitat essentiel de l'épaulard résident du sud en vertu de la LEP (figure 1; MPO 2018).

Les épaulards résidents du sud vivent en groupes stables de matrilineages et peuvent être constitués de plusieurs générations d'individus liés par une descendance matrilineaire. Les matrilineages étroitement associés sont regroupés en troupes, qui partagent des répertoires de vocalises stéréotypés pouvant être utilisés pour différencier acoustiquement les groupes et certains matrilineages (Ford 1991). La population d'épaulards résidents du sud se compose de trois groupes, J, K et L, et de 17 matrilineages.

L'aire de répartition de la population d'épaulards résidents du sud s'étend sur plus de 2000 km de côtes, de la baie de Monterey, en Californie, au détroit de Chatham, en Alaska (figure 1). Les données d'observation révèlent que de la fin du printemps au début de l'automne, les épaulards résidents du sud maintiennent une présence soutenue dans la mer des Salish (figure 2; Ford *et al.* 2017; Ford 2006). Les épaulards de l'écotype « résident » sont connus pour se nourrir principalement de saumon, et les mouvements estivaux d'épaulards résidents du sud reflètent les routes migratoires de fraie des stocks de saumon chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) du fleuve Fraser, avec un déplacement vers le saumon kéta (*O. keta*) et le saumon coho (*O. kisutch*) à Puget Sound pour la fin de l'été et l'automne. (Ford et Ellis 2006; Ford *et al.* 1998; Hanson *et al.* 2010). À l'approche de l'hiver, la diminution de la concentration de saumons coïncide avec la dispersion des épaulards résidents du sud hors de la zone, et l'on observe que la variété des espèces faisant partie du régime alimentaire des épaulards résidents du sud augmente pendant les mois d'hiver (Ford *et al.* 2010; Ford *et al.* 2017; Hanson *et al.* 2021).

La mer des Salish comprend les eaux du détroit de Juan de Fuca (JDF), du détroit de Georgie, du détroit de Haro et de Puget Sound, avec une limite occidentale définie par une ligne allant du cap Flattery à pointe Carmanah (figure 1 et figure 3). La zone de l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud située à l'ouest de la limite de la mer des Salish englobe le banc La Perouse, le banc Swiftsure et divers canyons et composants sous-marins. Par souci de commodité, cette partie de l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud sera appelée « zone de Swiftsure » dans le présent document. L'expression « la zone d'étude » se rapporte désormais à la fois à la mer des Salish et à la zone de Swiftsure.

L'état actuel des connaissances sur la répartition de l'épaulard résident du sud dans la mer des Salish se base principalement sur des données de présence seulement provenant d'observations de plateformes ponctuelles (P_{opp}) rapportées par des observateurs volontaires (Hauser *et al.* 2007; Olson *et al.* 2018). Il existe deux ensembles de données sur les observations d'épaulards résidents du sud : l'ensemble de données du British Columbia Cetacean Sightings Network (BCCSN; une collaboration entre le Coastal Ocean Research Institute d'Ocean Wise et Pêches et Océans Canada; MPO), et l'ensemble de données Orca Master (OM; The Whale Museum, Friday Harbour, Washington). Ces ensembles de données ponctuelles bénéficient de la large participation du grand public et des organisateurs d'excursions d'observation des baleines, qui fournissent une couverture spatiale et temporelle

allant au-delà de ce qui est possible par le seul effort de relevé scientifique. Une méthode de correction de l'effort pour ces plateformes d'ensembles de données ponctuelles a été élaborée à l'aide d'un modèle de densité par noyau pour construire une répartition plausible de l'effort déployé par les observateurs des mammifères marins (Rechsteiner *et al.* 2013). Lorsque ces estimations de l'effort ont été appliquées aux observations de l'ensemble des données de l'OM de 1974 à 2014, des zones de forte densité d'épaulards résidents du sud ont été constatées le long du côté est du détroit de Haro, à l'ouest de l'île Pender et au sud de l'île Saturna (Olson *et al.* 2018; figure 3).

Le Programme de recherche sur les cétacés du MPO tient une base de données sur les rencontres avec les épaulards résidents du sud depuis 1973 (Ford *et al.* 2017). Diverses méthodes ont été utilisées pour alimenter cette base de données, la majorité des rencontres ayant été obtenues lors d'études consacrées aux épaulards, ainsi que quelques contributions d'autres chercheurs qui ont collecté des photos de manière ponctuelle lors d'autres activités marines. Ces données démontrent une forte présence d'épaulards résidents du sud dans les eaux autour du banc Swiftsure, situé à l'ouest du détroit de JDF (Ford *et al.* 2017; Ford 2006). Les données sur les rencontres d'épaulards résidents du sud du MPO se chevauchent peu géographiquement avec les données d'observation de P_{opp} , où une frontière généralisée entre ces ensembles de données se trouve à proximité de Jordan River, au milieu de la zone du détroit de JDF (figure 3). La majorité de ces données proviennent d'efforts de relevé particuliers qui fournissent à la fois des données de présence et d'absence pour l'analyse, ainsi que des données d'effort quotidiennes robustes permettant d'exprimer les observations par unité d'effort. La capacité de combiner l'ensemble de données du MPO avec les ensembles de données d'observations de P_{opp} pour évaluer l'occurrence relative dans l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud a été entravée par les difficultés à unifier les données de présence seulement avec les données de relevé de présence-absence et les problèmes de correction de l'effort.

Les modèles de répartition des espèces sont des outils utiles pour identifier les habitats privilégiés, qui peuvent être utilisés pour éclairer les décisions de gestion. Les modèles qui intègrent des variables temporelles sont particulièrement instructifs, car ils offrent une meilleure résolution et une meilleure compréhension des changements saisonniers dans l'utilisation de l'habitat. Ces modèles assurent également une plus grande capacité à tester les hypothèses et à quantifier les incertitudes. Les progrès récents en matière de modélisation statistique offrent une nouvelle approche, c.-à-d. l'approximation de Laplace imbriquée intégrée, pour résoudre les problèmes liés aux données occasionnelles, telles que les données de P_{opp} , pour lesquelles l'effort quantifié fait défaut (Watson 2020; Watson *et al.* 2021). Dans les données spatio-temporelles ponctuelles telles que les observations de baleines, la question de l'échantillonnage préférentiel et la variabilité liée à l'effort d'échantillonnage peuvent introduire des biais ou des inexactitudes dans les résultats. Cette nouvelle approche permet d'estimer la fréquence d'apparition des épaulards résidents du sud tout en ajustant la variabilité de l'effort des observateurs et de la détectabilité des baleines.

Alors que les observations et les données d'occurrence fournissent des informations sur la préférence d'habitat, l'évaluation du comportement éclaire notre compréhension sur son utilisation. Pour les épaulards résidents du sud, la réduction de la disponibilité des proies a été considérée comme une menace principale au rétablissement, et l'identification des zones qui favorisent la recherche de nourriture est nécessaire. La population d'épaulards résidents du sud est caractérisée par un stress alimentaire, comme en témoigne une réduction de la survie et de la reproduction (Ford *et al.* 2010; Ward *et al.* 2009; Wasser *et al.* 2017), et un déclin général de la condition physique (Fearnbach *et al.* 2011; Fearnbach *et al.* 2018) Une comparaison entre les données de photogrammétrie de 2008 et les images obtenues en 2013 indique que 25 % de la population a présenté une diminution de l'état corporel au cours de la période de cinq ans, la

majorité de ces individus étant des femelles en âge de se reproduire (Fearnbach *et al.* 2018). De plus, les baleines adultes âgées de moins de 40 ans présentent des longueurs de corps considérablement plus courtes que celles âgées de 40 ans ou plus (Groskreutz *et al.* 2019), ce qui laisse croire que le stress alimentaire est devenu chronique pour cette population. La mortalité dans la population présente une relation étroite avec l'abondance du saumon chinook à l'échelle de la côte, ce qui révèle que cette espèce-proie peut être un facteur limitant important dans la dynamique des populations (Ford *et al.* 2010; Vélez-Espino *et al.* 2015; Ward *et al.* 2009). L'urgence de répondre aux besoins nutritionnels de l'épaulard résident du sud accroît l'importance d'obtenir des informations détaillées sur l'utilisation de l'habitat pour la recherche de nourriture.

Les efforts visant à caractériser l'utilisation de l'habitat ont eu lieu principalement dans les eaux intérieures de la mer des Salish, de la fin du printemps au début de l'automne, et montrent que les épaulards résidents du sud passent la majorité de leur temps à s'alimenter et à se déplacer (Ashe *et al.* 2010; Heimlich-Boran 1988; Hoelzel 1993; Noren et Hauser 2016; Osborne 1986). Les zones localisées associées à la recherche de nourriture comprennent les côtes sud et ouest de l'île San Juan, le passage Boundary, le canal Swanson, la passe Active, les eaux au large de l'embouchure du fleuve Fraser et le littoral de l'île de Vancouver du détroit de JDF (Ford 2006; Hanson *et al.* 2010). Comparativement à la mer des Salish intérieure (sud du détroit de Georgie et Puget Sound), on en sait beaucoup moins sur les schémas d'utilisation de l'habitat à échelle fine au sein du détroit de JDF (particulièrement à l'ouest de la rivière Jordan) et des eaux entourant le banc Swiftsure, qui font maintenant partie de l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud (Ford *et al.* 2017).

En plus des observations ponctuelles et des données de relevés spécialisés, des informations sur les épaulards résidents du sud peuvent être recueillies à l'aide de systèmes de surveillance acoustique passive (SAP). Bien que limitée dans sa couverture spatiale, l'utilisation de la SAP présente certains avantages par rapport aux relevés visuels, car elle n'est pas aussi perturbée par l'heure de la journée, les conditions d'observation ou l'état de la mer. Dans un certain nombre d'études, il a été démontré que ces techniques permettent de détecter les baleines plus fréquemment que les relevés visuels (Barlow et Taylor 2005; McDonald et Moore 2002; Mellinger *et al.* 2007; Rankin *et al.* 2007; Širović *et al.* 2004). La durée d'une rencontre acoustique a également le potentiel de fournir des informations qui peuvent ne pas être facilement obtenues par des relevés visuels. En les combinant avec des données visuelles ou des observations comportementales simultanées, il est possible de mieux comprendre la signification des données de détection.

Le volume substantiel d'informations et de recherches en cours sur cette population a représenté un enjeu dans la mesure où il s'agit de rassembler et d'exprimer les connaissances d'une manière cohérente pour soutenir l'atténuation. Les analyses suivantes décrivent en détail l'application de l'approche de Watson (2020) aux données disponibles de P_{opp} et du MPO afin de regrouper les observations obtenues à l'aide de méthodes disparates et d'exprimer l'importance relative de la fréquence d'occurrence de l'épaulard résident du sud sur une zone géographique plus étendue. D'autres précisions sur l'utilisation de l'habitat sont fournies par la collecte et l'analyse de données comportementales dans les zones d'occurrence élevée, et par l'évaluation des détections acoustiques et des durées de rencontre à partir des SAP dans l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud pour renforcer l'interprétation des observations.

2. MÉTHODOLOGIE

Les analyses reposaient sur une combinaison d'observations d'épaulards résidents du sud et de données sur l'effort de relevé provenant de deux sources distinctes. Deux approches de

modélisation différentes ont été appliquées aux ensembles de données de P_{opp} et du MPO. La modélisation de la densité par noyau à l'aide des données de P_{opp} a été effectuée pour fournir une comparaison avec les modèles de correction de l'effort précédents qui utilisaient cette approche (Olsen 2018). La modélisation de l'occurrence a été réalisée pour incorporer les informations des ensembles de données de P_{opp} et du MPO.

2.1. DONNÉES D'OBSERVATION

2.1.1. Plateformes de données ponctuelles

Les observations sur dix ans (2009 à 2018) ont été obtenues à partir de deux réseaux d'observation volontaires – le BCCSN, basé au Canada, et la base de données OM, basée aux États-Unis. Les données du 1^{er} mai au 31 octobre ont été analysées; cette période est appelée ci-après « été ». Les ensembles de données OM et BCCSN ont été combinés et sont désignés sous le nom de « Plateformes d'ensemble de données ponctuelles (P_{opp}) » dans ce document.

2.1.2. Données provenant de l'observation des baleines

Un sous-ensemble des données de P_{opp} a été utilisé pour établir une estimation plus précise de l'effort des observateurs avec une grande certitude d'observation. Pour l'analyse présentée ici, seules les observations rapportées par les organisateurs d'excursion pour l'observation des baleines ont été utilisées, car leurs compétences en matière d'identification de l'écotype et du groupe d'épaulards résidents du sud sont très fiables. De plus, ces derniers sont fréquemment sur l'eau et partagent souvent entre eux les observations d'épaulards résidents du sud, ce qui réduit la probabilité de rater des observations d'épaulards résidents du sud. Ces données offrent la meilleure occasion de générer des estimations de l'effort des observateurs avec un haut degré d'exactitude et de précision en connaissant le temps passé sur l'eau et l'itinéraire de recherche ou de trajet. Ces informations ont été recueillies lors d'entretiens avec les organisateurs d'excursions d'observation des baleines (Watson 2020; Watson *et al.* 2021). Ce sous-ensemble de données de P_{opp} est ci-après dénommé « ensemble de données des OB » (figure 4).

2.1.3. Données de recherche du MPO

Douze années (2009 à 2020) de données sur les rencontres d'épaulards résidents du sud et les balises GPS des navires qui les accompagnent, provenant des relevés du MPO, ont été analysées (figure 5). Les données recueillies entre 2009 et 2020 provenaient de relevés sur l'eau effectués principalement dans la région de Swiftsure et les zones environnantes, et allaient des relevés spécialisés de l'épaulard résident du sud aux observations auxiliaires obtenues au cours d'autres activités de recherche. La majorité des données provenaient de relevés spécialisés corrigés en fonction de l'effort effectués à partir de deux plateformes de navires, un bateau pneumatique à coque rigide de 8 m de long, semblable au type de bateau utilisé par la plupart des organisateurs d'excursions pour l'observation des baleines, et un bateau en aluminium de taille analogue. Les données comprenaient la localisation (lat/long), l'identification du groupe et les informations sur la taille du groupe pour chaque observation. L'effort est défini comme les balises GPS enregistrées du navire océanographique pour chaque jour précédant la rencontre avec des épaulards résidents du sud par l'exploitant du navire, une personne expérimentée ayant une connaissance approfondie de la population d'épaulards résidents du sud. Les données de rencontre associées aux activités de recherche du MPO comprennent à la fois des données de présence et d'absence et sont ci-après appelées « ensemble de données du MPO ».

2.1.4. Données combinées sur les observations

Les « ensembles de données combinés » font référence aux observations provenant des données des OB et de l'ensemble de données du MPO. Les observations des organisateurs d'OB sont des observations de « présence seulement », car les renseignements rapportés ne comprennent pas les endroits ou la durée de l'effort de recherche où les baleines étaient absentes. Comme le suivi des navires pour l'effort des OB n'a pas été enregistré, les données du MPO ont été converties en présence seulement pour permettre de combiner les ensembles de données. Cet ensemble de données est ci-après dénommé « ensemble de données d'observations combinées ».

Les données d'observation des OB et du MPO affichent une autocorrélation spatiale et temporelle importante, les observations d'un même groupe se succédant rapidement au cours d'une même journée. La résolution des données de recherche du MPO est de l'ordre de 15 à 30 secondes d'intervalle, tandis que les données d'observation des OB sont enregistrées à intervalles variables tout au long d'une journée donnée. Pour éliminer ces autocorrélations, la première observation du jour de chaque groupe a été sélectionnée, en supprimant tous les efforts pour chaque jour qui ont eu lieu après l'observation initiale. Comme les baleines se déplacent rapidement par rapport à la zone d'étude (environ 5 à 7 km/h; Hanson *et al.* 2017), une fenêtre d'une nuit a été suffisante pour éliminer toute autocorrélation entre les observations (la période minimale entre les jours d'effort est de huit heures : Watson *et al.* 2021).

2.2. MODÉLISATION DE L'EFFORT CORRIGÉ

2.2.1. Modèle de densité par noyau

Les données d'observation de P_{opp} de l'épaulard résident du sud de 2009 à 2018 ont été ajustées à un modèle de densité par la méthode de densité par noyau comme décrit dans Olson *et al.* (2018). Pour réduire le biais d'échantillonnage et corriger des données d'observation en fonction de l'effort afin de créer une estimation de la densité relative dans la mer des Salish, un processus en cinq étapes a été suivi :

1. Élimination des doublons
2. Estimation des informations de géolocalisation pour les données sans coordonnées GPS
3. Estimation de la taille des groupes d'épaulards résidents du sud
4. Application de la correction de l'effort pour le nombre de baleines observées à l'aide d'une grille de 25 km²
5. Génération d'estimations de densité par noyau corrigée en fonction de l'effort

Tout d'abord, les observations signalées d'épaulards résidents du sud qui étaient séparées de moins d'une heure et de moins de deux milles nautiques (NM) ont été considérées comme des observations répétées des mêmes individus, et toutes les observations comprises dans ces critères de temps et de distances ont été retirées des ensembles de données. Ensuite, l'approche des informations de localisation a été normalisée pour exprimer chaque observation par latitude/longitude pour les deux ensembles de données. La latitude/longitude de chaque observation est rapportée pour l'ensemble de données BCCSN. Pour l'ensemble de données OM, l'emplacement est décrit par la latitude/longitude ou au quadrant le plus proche (l'un des 445 quadrants d'environ 4,6 x 4,6 km établis par The Whale Museum); (Heimlich-Boran 1988). Les observations situées à l'intérieur d'un quadrant ont été transférées à un emplacement unique à l'intérieur du quadrant par rapport aux observations qui disposaient de données GPS (défini comme « gigue ») de sorte que toutes les données se voient attribuer une

latitude/longitude. Troisièmement, comme certaines données d'observation ne comprenaient pas le nombre de baleines présentes, le nombre médian d'animaux par groupe a été estimé à partir des données qui comprenaient le nombre d'individus par rencontre. Quatrièmement, le nombre de baleines par cellule de grille a été exprimé à l'aide de fichiers de forme à grille sur l'effort mis au point pour les données BCCSN (Rechsteiner *et al.* 2013) et les données OM (Olson *et al.* 2018). L'effort pour chaque cellule de la grille a ensuite été exprimé en tant que proportion de l'effort total maximum (figure 6). Pour estimer la densité estivale relative des épaulards résidents du sud dans les différentes zones géographiques, le nombre total d'individus pour chaque observation signalée a été divisé par la valeur d'effort attribuée à la zone où l'observation a eu lieu. Dans la cinquième étape, les estimations de densité corrigées en fonction de l'effort ont ensuite été lissées à l'aide de l'outil de densité par noyau d'ArcGIS^{MC} (version 10.8.1) en utilisant les paramètres par défaut (sortie de cellule de grille de 1 km et rayon de recherche de 4 km), et exprimées en tant que fréquence annuelle de l'occurrence estivale de l'épaulard résident du sud.

2.2.2. Modèle d'occurrence de l'épaulard résident du sud

Un cadre de processus de Cox logo-gaussien (PCLG) a été appliqué à l'ensemble des données combinées pour construire des modèles corrigés de la fréquence d'occurrence de l'épaulard résident du sud en fonction de l'effort, suivant la méthodologie décrite dans Watson (2020). Les composants fondamentaux de ce cadre sont les suivants : 1) les données d'observation de l'emplacement du point pour les épaulards résidents du sud identifiés au groupe; 2) une surface de maillage de calcul définie pour l'intégration du modèle dans toute la zone d'étude (figure 7); et 3) une surface de maillage double qui correspond à l'étendue du maillage de calcul et incorpore l'effort des observateurs comme covariable (figure 7; Watson 2020; Watson *et al.* 2021). Le maillage double est constitué de polygones de Voronoï, qui englobent tous les points autour d'un nœud de maillage qui sont plus proches de ce nœud que de tout autre. Ces polygones constituent les points d'intégration utilisés pour cartographier l'effort des observateurs et les observations d'épaulards résidents du sud.

Les tracés linéaires GPS quotidiens des navires du MPO ont été utilisés pour estimer l'effort des observateurs du MPO. L'effort a été calculé à partir du moment où l'on a commencé l'effort jusqu'à la première observation d'un groupe de baleines. Les emplacements des navires océanographiques ont été déterminés à partir des données de localisation GPS à intervalles réguliers de 30 secondes à l'aide d'un modèle de marche aléatoire corrélé en temps continu. Ce modèle a été utilisé pour ajuster un tracé linéaire à chaque sortie à l'aide du progiciel R « ratissage ». (Johnson et London 2018; Johnson *et al.* 2008). Chaque point représente un niveau d'effort de 30 secondes, qui peut être additionné dans les cellules du maillage double, fournissant une estimation de l'effort total pour chaque nœud de maillage. L'effort mensuel cumulé des observateurs a été estimé à partir de l'effort de tous les relevés du MPO, puis additionné pour les 12 années de relevés du MPO.

L'effort des OB a été défini à l'aide d'un émulateur stochastique, élaboré pour estimer les heures-bateau cumulées passées dans chacune des cellules du maillage double pour chaque jour, mois et année de 2009 à 2018 (Watson 2020). Comme les observations de baleines ne sont pas liées à un navire particulier, on a supposé que l'efficacité des observateurs pour tous les navires d'observation des baleines opérant dans la zone d'étude était constante. Les données sur le nombre de ports d'observation des baleines actifs par an, le nombre maximum de sorties partant chaque jour de chaque port, l'évolution du nombre de sorties quotidiennes au fil des mois et le nombre d'heures de sortie de chaque port pour la période de mai à septembre ont été obtenues auprès de Soundwatch (Seely *et al.* 2017). On a supposé que l'effort diminuait en fonction de la distance par rapport au port, en se basant sur la distance maximale et les

informations sur l'itinéraire fournies par les organisateurs d'excursion pour l'observation des baleines. L'effort a été additionné séparément pour chaque groupe, et l'effort ultérieur a été abandonné dès qu'un groupe était repéré, tandis que l'effort pour repérer les autres groupes se poursuivait jusqu'à ce que le ou les groupes soient repérés ou que la journée se termine. Pour chaque jour, le nombre d'heures de la journée opérationnelle pendant lesquelles les premières observations ont été faites a été enregistré, avec une période opérationnelle quotidienne supposée de 9 heures à 18 heures (Seely *et al.* 2017). Comme les épaulards résidents du sud restent rarement à un endroit pendant de longues périodes, la fenêtre de 15 heures entre les jours d'effort a été jugée suffisante pour éliminer l'autocorrélation spatiale (Watson *et al.* 2021). Pour tenir compte de l'évolution de l'effort tout au long de la journée, nous avons utilisé le nombre de navires signalés par Soundwatch comme étant à proximité des baleines par heure de la journée comme indicateur de l'intensité de l'effort de surveillance des baleines. Les jours sans effort en raison des conditions météorologiques ont été recensés et supprimés à l'aide de données historiques pour calculer le nombre de jours où la vitesse du vent dépassait les seuils d'annulation fixés par le secteur (Watson 2020).

L'effort quotidien d'observation pour chaque groupe a été calculé comme le temps écoulé entre le début de la période opérationnelle quotidienne (9 h) et la fin de la période opérationnelle (18 h) ou l'heure de la première observation pour un groupe. L'effort a ensuite été défini comme une fraction de la période opérationnelle de neuf heures (p. ex., si la première observation du groupe J a eu lieu à 13 heures, l'effort requis pour obtenir cette observation serait exprimé comme quatre heures sur un total de neuf heures d'effort possibles). La fraction de l'effort d'observation des OB dans un mois donné par année a été définie comme la somme de la fraction quotidienne de l'effort d'observation pour chacun des trois groupes par mois pour chaque année. La répartition spatiale de l'effort a été modélisée, en se basant sur les heures-bateau rapportées par les organisateurs d'excursions d'observation des baleines individuels par port, et la distribution de l'effort a ensuite été intégrée par mois et par année pour chaque port, comme le fait Watson (2020). Pour estimer l'effort mensuel cumulé des observateurs, l'effort de tous les observateurs de baleines a été additionné sur les 10 années.

Pour tenir compte des sources d'incertitudes dans les estimations décrites ci-dessus (p. ex. l'effort de recherche mensuel, le nombre de jours annulés en raison de la météo), des distributions de probabilité ont été calculées, le coefficient de variation dépassant 0,25 pour les estimations de certains des plus petits ports. Les distributions ont été calculées à partir de 1000 échantillons de Monte Carlo du champ d'effort, et pour chaque champ d'effort d'observateur échantillonné. Pour produire les estimations de l'intensité de la présence des baleines, le modèle PCLG final a été ajusté et échantillonné une fois à partir des distributions a posteriori de tous les paramètres et effets aléatoires. Les 1000 nouvelles distributions a posteriori ont permis de tenir compte de l'incertitude liée à l'effort des observateurs de baleines.

Comme les types d'observations des OB et du MPO concernaient des navires de taille semblable, on a supposé qu'ils avaient des efficacités identiques. Les deux maillages de l'effort des observateurs ont donc été additionnés pour obtenir l'effort total des observateurs (figure 8).

Plusieurs modèles candidats ont été ajustés pour l'analyse en utilisant le progiciel R-INLA avec l'approche d'équation différentielle partielle stochastique (Lindgren et Rue 2015; Lindgren *et al.* 2011; R Core Team 2020; Rue *et al.* 2009). Les données d'observation combinées (des OB et du MPO) ont été ajustées au modèle. Tous les modèles ont utilisé le champ d'effort estimé des observateurs sans covariables de détectabilité ou d'effort des observateurs. La construction du modèle a commencé par la forme la plus simple de stochasticité spatiale complète, qui suppose que, selon l'effort de l'observateur, l'emplacement des observations pour chaque groupe et chaque mois est régi par un processus de Poisson homogène. Par conséquent, le modèle a supposé que toutes les baleines et tous les groupes de baleines avaient la même probabilité

d'être observés dans toute la zone d'étude pendant tous les mois. Les modèles supplémentaires comprenaient des splines temporels et des champs aléatoires gaussiens (Markov) avec des structures de covariance spatio-temporelles séparables. La sélection des modèles à l'aide de critères d'information de déviance (CID) a été effectuée sur une seule réalisation du champ d'effort des observateurs pour chaque modèle. Cette approche équilibre la qualité de l'ajustement du modèle avec une pénalité pour la complexité du modèle et est utilisée dans la sélection de modèles bayésiens (Spiegelhalter *et al.* 2002). Le « meilleur » modèle final recensé à l'aide des évaluations du CID et de la vérification prédictive a posteriori, comprenait un champ aléatoire spatial partagé entre les trois groupes, des effets spatio-temporels propres aux groupes, et un champ spatial unique au groupe L.

Étant donné que les données sur l'effort des OB présentent une incertitude inhérente et que les données sur l'effort du MPO sont accompagnées de données sur la trajectoire des navires, le meilleur modèle a ensuite été réexécuté 1000 fois en utilisant les incertitudes associées à l'effort des OB à l'aide de la méthode de Monte Carlo par chaînes de Markov décrite dans la section précédente, en procédant à un échantillonnage une fois pour chaque exécution du modèle afin de générer une approximation de la distribution a posteriori du modèle ajusté. La distribution de fréquence a posteriori a ensuite été projetée sur un champ de 300 x 300 pixels (taille des pixels : environ 0,8 km²) à l'aide du progiciel R « inlabru ». (Bachl *et al.* 2019). Les statistiques de fréquence a posteriori ont ensuite été calculées pour chaque pixel. Des contrôles prédictifs a posteriori des modèles candidats ont également été effectués (Gelman *et al.* 1996). En particulier, la capacité des modèles à estimer avec précision le nombre total de premières observations de chaque groupe par mois a été évaluée, ainsi que la capacité des modèles à capturer convenablement la tendance spatiale en comparant le nombre observé d'observations tombant dans la zone d'étude avec leurs intervalles de crédibilité estimés par le modèle.

Le nombre d'observations d'épaulards résidents du sud par unité d'effort de recherche a été exprimé comme l'intensité d'occurrences d'épaulards résidents du sud. Les variations de l'intensité d'occurrences ont été visualisées en relevant les valeurs qui dépassaient certains seuils, avec un niveau de confiance > 0,9. Les données des six mois ont été regroupées pour dégager les valeurs seuils de dépassement correspondant à une intensité d'occurrences de l'épaulard résident du sud de 70 %, 80 % et 90 % pour l'ensemble de la période d'étude. Ces seuils globaux ont ensuite été appliqués aux données de chaque mois pour représenter la façon dont la répartition de l'occurrence de l'épaulard résident du sud a varié au cours de la période d'étude de six mois en utilisant une base de référence commune. L'expression mensuelle de l'intensité d'occurrences a permis d'évaluer la répartition de la préférence d'habitat sur la période d'étude. Pour chaque mois, les zones présentant la plus forte intensité d'occurrences ont été représentées visuellement par un polygone à 90 %, l'intensité décroissante étant décrite par des polygones à 80 % et 70 % pour chaque mois afin d'exprimer la variation de l'intensité spatiale et temporelle de l'occurrence.

Une deuxième série de cartes a été créée pour illustrer la répartition spatiale de l'intensité d'occurrences *au cours* d'un mois donné. Pour cette approche, les valeurs seuils ont été calculées pour chaque mois en utilisant uniquement les données de ce mois. Ces seuils de dépassement « dans le mois » ont mis en évidence les zones importantes de préférence d'habitat au cours d'un seul mois et n'ont pas été influencés par la répartition observée au cours des autres mois.

2.3. ANALYSE COMPORTEMENTALE DE L'ÉPAULARD RÉSIDENT DU SUD

2.3.1. Collecte des données

Des données comportementales ont été recueillies dans le détroit de JDF et la région de Swiftsure par le MPO lors de relevés effectués de juin à août de 2018 à 2020. Des données supplémentaires provenant d'études d'observation du détroit de Haro et des eaux environnantes ont été fournies par la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) et comprenaient les suivis ciblés réalisés en 2006 (Noren *et al.* 2009; Noren et Hauser 2016), et de 2007 à 2009 (Holt *et al.* 2013).

2.3.2. Relevé de suivi ciblé

L'échantillonnage comportemental du MPO a été effectué en utilisant une approche de suivi ciblé, où un animal individuel (cible) a été suivi de près pour observer son état d'activité (Martin *et al.* 1993). Les épaulards résidents du sud individuels ont d'abord été photographiés et recensés avant l'échantillonnage comportemental. Comme l'étude comportementale était axée sur l'identification des aires d'alimentation clés, les femelles adultes avec leur jeune progéniture ont été priorisées pour assurer une taille d'échantillon suffisante de ce segment de la population. Si aucune femelle avec progéniture n'était présente ou si des données de suivi ciblé avaient déjà été collectées sur les femelles, les individus d'autres classes d'âge/sexe étaient alors échantillonnés. Les observateurs se déplaçaient parallèlement à l'animal, à une distance maximale de 100 m, et évaluaient l'état comportemental de l'animal à intervalles de cinq minutes. Le comportement a été classé comme suit : recherche probable de proies, capture de proies, déplacement ou repos (tableau 1; basé sur les descriptions précédentes de Ford 1989, Noren *et al.* 2009 et Holt *et al.* 2013). La durée d'un suivi ciblé était variable, l'arrêt étant déterminé par : a) des conditions défavorables empêchant l'observation de l'animal cible (généralement dans l'état de mer de Beaufort 4 ou plus, ou une visibilité inférieure à 400 m); b) si les observateurs avaient perdu l'animal cible; c) après une heure (12 balayages), si l'animal n'était pas en train de chercher activement de la nourriture; ou d) lorsque l'animal avait été suivi pendant plus d'une heure et avait cessé de chercher activement de la nourriture – selon la première éventualité. Bien qu'il ait été démontré que l'épaulard résident du sud modifie son comportement de recherche de nourriture en présence de navires à moins de 400 m (Holt *et al.* 2021), ces changements semblent se produire à de fines échelles spatiales et temporelles et il est peu probable qu'ils aient biaisé les modèles régionaux de recherche de nourriture détectés dans le cadre de cette étude.

Les protocoles de suivi ciblés utilisés par la NOAA en 2006 (Noren *et al.* 2009; Noren et Hauser 2016) étaient semblables à ceux employés par le MPO; toutefois, les individus cibles ont été choisis au hasard, dans le but d'échantillonner à la fois des mâles et des femelles adultes. Les informations comportementales de l'animal central ont été enregistrées toutes les 10 minutes. Les protocoles de la NOAA et du MPO ont recueilli des données comparables sur les catégories de comportement (recherche de nourriture, déplacement, repos et socialisation; tableau 1). Les suivis de la NOAA étaient interrompus si un événement de surface était manqué par l'observateur, si d'autres navires obstruaient les observations, ou après environ 40 minutes d'échantillonnage continu.

2.3.3. Relevés de comportement de groupe

Pour les relevés du MPO, un protocole de relevé comportemental de groupe a été utilisé lorsque les conditions de l'état de la mer réduisaient la capacité de localiser de façon constante un animal cible (généralement dans une houle supérieure à 1 m ou des conditions de la mer de Beaufort supérieures à 3 [Karniski *et al.* 2015]). Cette méthode de relevé consistait à se

déplacer parmi un groupe d'animaux, à évaluer le comportement dominant du groupe comme une photo instantanée pour cet instant, puis à passer au groupe suivant. Lorsque le groupe cible était atteint, chaque individu était photographié pour confirmer l'appartenance au groupe et sa taille. Le navire océanographique s'est déplacé parallèlement au groupe cible à une distance d'au moins 100 m pendant cinq minutes afin d'évaluer l'état du comportement. L'état comportemental a été défini en utilisant le même éthogramme que les suivis ciblés (tableau 1). L'état comportemental dominant du groupe a été défini comme l'état comportemental que plus de la moitié du groupe présentait pendant plus de la moitié du temps d'observation de cinq minutes. Dans le cas où la collecte des données prenait plus de cinq minutes, par exemple dans le cas où tous les individus du groupe n'étaient pas photographiés, le comportement était évalué toutes les cinq minutes jusqu'au moment de quitter le groupe.

Les groupes ont été définis en utilisant la « règle de la chaîne de 10 mètres » (Smolker *et al.* 1992), selon laquelle un individu est considéré comme membre d'un groupe s'il se trouve à moins de 10 m de tout autre membre. L'exception à cette définition de l'appartenance à un groupe était le cas où un ou plusieurs individus extérieurs au groupe cible, mais se trouvant à proximité immédiate de celui-ci (< 100 m), présentaient des comportements coordonnés avec le groupe et étaient donc inclus dans l'appartenance au groupe. Par conséquent, les individus solitaires sur le plan spatial et comportemental ont été considérés comme un groupe à part entière. Pour éviter tout biais dans l'échantillonnage, une sélection systématique des groupes a été effectuée en se déplaçant méthodiquement parmi les animaux selon une direction présélectionnée, où les observateurs ont travaillé du groupe de tête au groupe suivant, ou de la côte vers le large. Dans les situations où deux groupes ou plus étaient également admissibles pour être sélectionnés, la sélection alternait entre le plus grand ou le plus petit des groupes.

L'échantillonnage comportemental réalisé par la NOAA de 2007 à 2009 (Holt *et al.* 2013) portait sur des groupes de baleines définis par la règle de la chaîne de 10 m décrite précédemment. Les données comportementales visuelles ont été recueillies en même temps que les enregistrements acoustiques à partir d'un navire océanographique stationnaire (moteurs éteints) placé à environ 1 km devant le groupe d'échantillonnage. La taille du groupe comprenait tous les individus se trouvant à moins d'un kilomètre les uns des autres, et les données comportementales étaient enregistrées toutes les 10 minutes. Le comportement du groupe a été attribué à l'un des quatre états (poursuite de proies, recherche de proies, déplacement ou repos; voir le tableau 1 pour les définitions), chacun étant décrit comme probable et non définitif.

2.3.4. Analyse du comportement

Les données des quatre études comportementales (études comportementales ciblées et de groupe du MPO, et études comportementales ciblées et de groupe de la NOAA) ont été analysées indépendamment en utilisant la même approche statistique et les mêmes structures de modèle. L'exploration initiale des données dans les quatre ensembles a fait appel à des analyses de variogrammes pour évaluer l'autocorrélation spatiale et à des analyses de régression binominale en bâtons brisés pour évaluer l'étendue de l'autocorrélation temporelle. Les ensembles de données étaient limités aux observations de deux états comportementaux, soit le déplacement et la recherche de nourriture, qui constituaient la variable de réponse binaire pour nos modèles (déplacement=0, recherche de nourriture=1). Un résumé des paramètres du modèle est présenté dans le tableau 2.

Pour chaque étude, un modèle spatio-temporel avec une distribution d'erreur binomiale a été ajusté aux données en utilisant le progiciel R-INLA avec l'approche de l'équation différentielle partielle stochastique (Lindgren et Rue 2015; Lindgren *et al.* 2011; R Core Team 2020; Rue *et al.* 2009). Ces modèles contenaient un effet aléatoire temporel et un effet aléatoire spatial pour

tenir compte des mesures répétées et de l'autocorrélation au sein des données. Des effets aléatoires spatiaux et temporels continus ont été inclus en utilisant des champs aléatoires gaussiens de Markov. Les champs aléatoires temporels étaient basés sur un maillage 1D avec des nœuds situés à un intervalle constant dans un suivi ou un effort-jour (tableau 2). Les champs aléatoires spatiaux ont été construits à partir de maillages de triangulation de Delauney renseignés par la localisation des observations de l'étude ainsi que par le littoral limitrophe. La couverture géographique des deux études de la NOAA se situait dans un archipel; par conséquent, les modèles de la NOAA ont été construits à l'aide de champs spatiaux non stationnaires (barrières), qui reconnaissent les caractéristiques terrestres et limitent les calculs du modèle à se produire autour de ces caractéristiques et non au-dessus (Bakka *et al.* 2016). Les zones d'étude du MPO sont dépourvues de telles caractéristiques de barrière terrestre et les modèles associés ont donc été construits en utilisant des champs spatiaux stationnaires.

Les champs aléatoires gaussiens de Markov ont ensuite été définis en utilisant des a priori de complexité pénalisée pour tenir compte de la portée spatiale et temporelle et limiter l'ampleur attendue des écarts-types (Fuglstad *et al.* 2019). Par exemple, la probabilité a priori ρ que la portée du champ donné soit inférieure à x minutes ou kilomètres, pour le champ aléatoire gaussien temporel et spatial, respectivement (tableau 2). Une probabilité a priori de 0,01 que les écarts-types des champs soient supérieurs à 3 a été attribuée; par conséquent, les croyances a priori voulaient que les champs soient lisses et ne présentent pas de grandes variations d'amplitude. Le modèle a ainsi été réglé de manière à ne pas prévoir qu'un comportement particulier serait plus susceptible de se produire n'importe où dans la zone d'étude.

Pour chaque modèle spatio-temporel, 1000 échantillons ont été générés à partir de l'a posteriori approximé du modèle ajusté sur le maillage spatial, projeté sur un champ de 300 x 300 pixels (taille des pixels : 0,14 à 0,30 km², selon l'ensemble de données) en utilisant le progiciel R inlabru (Bachl *et al.* 2019). Les statistiques de fréquence a posteriori ont ensuite été calculées pour chaque pixel. Pour faciliter la comparaison entre les modèles des quatre études, les polygones des zones où la probabilité que la recherche de nourriture ou les déplacements soient les comportements dominants était >0,7, >0,8 et >0,9 ont été identifiés à l'aide des données de suivi ciblé individuel et de relevé comportemental de groupe.

2.4. ACTIVITÉS DE DÉTECTION ACOUSTIQUE

2.4.1. Collecte des données

Des enregistrements acoustiques ont été obtenus à partir de systèmes de surveillance acoustique passive à trois endroits dans l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud : le banc Swiftsure, Port Renfrew et la rivière Jordan (tableau 3; figure 1). Les emplacements de déploiement des enregistreurs ont été choisis pour représenter les zones d'utilisation de l'habitat de l'épaulard résident du sud, ainsi que celles qui étaient susceptibles d'être affectées par le trafic maritime transitant par les voies de navigation. La distance entre les emplacements successifs des enregistreurs était d'environ 30 km.

Les enregistrements ont été effectués à l'aide d'un enregistreur acoustique multicanal autonome (AMAR, Jasco Applied Sciences G4) équipé d'un hydrophone GeoSpectrum Technologies M36-100 monté sur un système d'amarrage fabriqué par Oceanetic Measurement Ltd, qui a positionné l'hydrophone à environ 2 m du fond de la mer. Le système a été étalonné par le fabricant, puis à nouveau à 250 Hz avant chaque redéploiement. Les enregistrements ont été réalisés en continu à une fréquence d'échantillonnage de 256 kHz avec résolution de 24 bits

et stockés sur des cartes mémoire SD internes comme fichiers WAV; les appareils ont été entretenus régulièrement pour garantir un enregistrement continu (tableau 4). Lors de la récupération, les fichiers WAV ont été post-traités avec des scripts Python personnalisés, modifiés par rapport à ceux utilisés par Merchant (2015).

2.4.2. Détection et identification des épaulards

Pour chaque déploiement, les données acoustiques ont été enregistrées sous forme de fichiers WAV de quatre ou cinq minutes. Tous les fichiers WAV ont d'abord été traités à l'aide du logiciel libre PAMGuard (Gillespie *et al.* 2008), équipé d'un détecteur automatisé configuré par l'utilisateur (détecteur de sifflements et de gémissements; Gillespie *et al.* 2013). L'algorithme de détection a recherché dans le spectrogramme les sons dont le rapport signal/bruit (SNR) dépasse un seuil d'amplitude prédéterminé de 5 dB dans la bande de fréquences de 800 à 30 000 Hz. L'application de ce seuil a produit une carte binaire bidimensionnelle (temps~fréquence) des points du spectrogramme, qui se trouvaient au-dessus et en-dessous du seuil de 5 dB. Les points situés à proximité les uns des autres et dépassant le seuil ont ensuite été réunis pour former des contours (c.-à-d. ce que le détecteur a reconnu comme un appel tonal ou pulsé de l'épaulard). Des paramètres « d'alarme » supplémentaires ont été utilisés pour réduire le nombre de faux positifs en configurant le détecteur pour qu'il se déclenche uniquement si un certain nombre d'appels ont été entendus dans un laps de temps donné (voir le tableau 5); des évaluations de détection antérieures ont démontré le succès de cette approche pour améliorer la précision et l'exactitude de l'algorithme de détection des appels d'épaulards (tableau 5).

La sortie du détecteur consistait en l'horodatage de toutes les détections, qui ont ensuite été regroupées dans leur fichier acoustique respectif de quatre ou cinq minutes. Les rencontres acoustiques sont apparues comme des grappes de fichiers WAV contenant des détections, entrecoupées de fichiers acoustiques ne contenant aucune détection. Un examen manuel et auditif a été effectué pour d'abord confirmer la présence d'appels d'épaulards dans un fichier donné au sein de la grappe, puis pour identifier les heures approximatives de début et de fin de chaque rencontre. Compte tenu de l'objectif de l'étude, l'examen de tous les fichiers contenant des détections n'était pas requis, seulement ce qui était nécessaire pour confirmer la population d'épaulards et pour déterminer la durée des rencontres. Les fichiers contenant des détections ont été examinés dans le logiciel d'analyse sonore Raven Pro (Center for Conservation Bioacoustics 2014) ou PAMlab-Lite (JASCO Applied Sciences 2017). Les épaulards ont été notés comme étant présents ou absents d'un fichier acoustique donné, où la présence était confirmée si un ou plusieurs appels pulsés stéréotypés étaient constatés. L'identification de la population étant basée sur la présence de vocalises stéréotypées, les sifflements ou les clics d'écholocalisation seuls n'ont pas été utilisés pour confirmer la présence. Étant donné la résolution taxonomique du détecteur (à l'échelle de l'espèce seulement), et la présence de multiples populations d'épaulards sur la côte ouest du Canada, chaque rencontre a été revue manuellement par un second acousticien ayant une connaissance approfondie du répertoire d'appels pulsés stéréotypés produit par chaque population d'épaulards.

La durée des rencontres acoustiques avec l'épaulard résident du sud a également été évaluée. Les rencontres étaient considérées comme indépendantes si les appels étaient absents pendant deux heures ou plus (Burham *et al.* 2016; Riera *et al.* 2013). Cette séparation de deux heures entre les rencontres était basée sur la vitesse de déplacement moyenne des épaulards de 7 km/h, ce qui plaçait la baleine à portée audible de l'enregistreur pendant environ 1,7 h, en supposant une distance de détection moyenne de 5,9 km pour juin/juillet à l'emplacement de l'enregistreur de Swiftsure (Riera *et al.* 2019). Comme le seuil de séparation de deux heures dépend d'hypothèses concernant à la fois la vitesse de déplacement des baleines et la

performance des détecteurs, les durées de rencontre ont également été évaluées en utilisant un seuil de trois heures pour délimiter les rencontres séparées afin d'évaluer l'impact potentiel des hypothèses.

2.4.3. Estimation de la performance des détecteurs automatisés

Plusieurs paramètres ont été utilisés pour évaluer les performances du détecteur automatique sur une base fichier par fichier, notamment le rappel (R; Éq. 1), la précision (P; Éq. 2) et l'exactitude (A; Éq. 3),

$$R = \frac{VP}{VP + FN} \quad (1)$$

$$P = \frac{VP}{VP + FP} \quad (2)$$

$$A = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} \quad (3)$$

où le rappel (R) décrit la proportion de fichiers acoustiques avec de vraies détections qui ont été capturées par le détecteur, la précision (P) décrit la proportion de fichiers avec des détections automatisées qui étaient exactes, et l'exactitude (A) décrit la capacité globale du détecteur à identifier correctement la présence et l'absence d'épaulards. Les vrais positifs (VP) font référence au nombre de fichiers dans lesquels le détecteur a correctement identifié les épaulards; les faux positifs (FP) font référence au nombre de fichiers dans lesquels le détecteur a faussement identifié les épaulards; les vrais négatifs (VN) étaient des fichiers dans lesquels le détecteur a correctement identifié l'absence d'épaulard (aucune vocalisation), et les faux négatifs (FN) étaient des fichiers dans lesquels le détecteur a omis des vocalisations d'épaulards. Au cours du processus d'examen manuel des fichiers pour évaluer la durée de la rencontre acoustique, une proportion de fichiers ont été examinés qui ne contenaient pas de détections. Cette proportion variait en fonction de l'emplacement de chaque enregistreur et du nombre de rencontres constatées, et constituait donc un sous-ensemble non aléatoire et inégalement réparti qui a contribué au calcul global des VN et FN. Un petit sous-ensemble supplémentaire (1 %) de données sans détections automatisées a été examiné manuellement pour calculer les VN et les FN. Ce sous-ensemble était constitué d'un échantillon aléatoire d'environ 1 % des enregistrements quotidiens (répartis de manière relativement égale sur chaque jour), provenant des trois emplacements d'enregistreurs pour toute la période d'étude. Les deux sous-ensembles ont été combinés pour calculer les mesures de performance des détecteurs.

3. RÉSULTATS

3.1. MODÈLE DE DENSITÉ PAR NOYAU

Les données d'observations d'épaulards résidents du sud de 2009 à 2018 de l'OM et du BCCSN ont été corrigées pour tenir compte des biais, aboutissant à une base de données de 36 623 observations à partir des 75 354 d'origine. Les estimations de densité par noyau ont été visualisées afin d'afficher la fréquence relative de l'occurrence de l'épaulard résident du sud dans la zone d'étude (figure 9). D'après les données de P_{opp} , la zone la plus constante de forte occurrence de l'épaulard résident du sud se trouve dans les eaux du détroit de Haro, au large du côté ouest de l'île San Juan.

D'autres zones où la présence d'épaulards résidents du sud est relativement élevée sont les eaux du chenal Swanson, le long du côté ouest de l'île Pender Nord, et dans le passage Boundary, le long de l'extrémité sud-est de l'île Saturna (figure 9). Contiguë à la zone de forte occurrence relative dans le détroit de Haro, la divergence des observations suggère une répartition relativement égale du déplacement des animaux par la passe Active au nord et le passage Boundary au sud.

3.2. MODÈLE D'OCCURRENCE DE L'ÉPAULARD RÉSIDENT DU SUD

Les données d'observation des baleines de 2009 à 2018 (n = 1906) combinées aux données d'observation du MPO de 2009 à 2020 (n = 369) ont été incorporées dans un cadre de modélisation qui fournit des estimations mensuelles de l'intensité d'occurrence de l'épaulard résident du sud au sein de son habitat essentiel. Le meilleur modèle final, tel que sélectionné par le critère d'information de déviance (CID) et évalué par des contrôles prédictifs a posteriori, comprenait un champ spatio-temporel partagé entre les trois groupes et un champ spatial unique au groupe L (tableau 6). Le champ spatial unique a pris en compte l'autocorrélation spatiale spécifique attribuée au groupe L et a amélioré les performances du modèle. Le modèle a pu estimer avec précision le nombre total de premières observations de chaque groupe, par mois (figure 10).

Une carte résumant l'occurrence de l'épaulard résident du sud pour 2009 à 2020 de mai à octobre a été produite en prenant l'exposant des valeurs d'intensité logarithmique de tous les paramètres du modèle pour tous les mois pour chacune des 1000 simulations MCMC et en calculant les observations par unité d'effort (temps), exprimées comme intensité d'occurrence (figure 11). L'intensité relative de l'occurrence de l'épaulard résident du sud dans la mer des Salish de mai à octobre, comme prédit par le modèle utilisant les données combinées des OB et du MPO, était spatialement dominée par les eaux à l'entrée du détroit de JDF et du groupe Swiftsure, avec une plus petite zone d'occurrence constamment élevée dans le détroit de Haro le long du côté ouest de l'île San Juan. Les autres zones qui présentaient une forte probabilité d'occurrence de l'épaulard résident du sud comprennent un parcours contigu allant du détroit de Haro vers le nord dans le passage Boundary jusqu'à un endroit situé à l'extrémité sud du chenal Swanson, adjacent aux falaises le long du côté ouest de l'île Pender Nord, ainsi que des zones le long du côté est du détroit de Georgie dans la région du fleuve Fraser. Un modèle général d'occurrence élevée est observé le long de l'extrémité orientale du détroit de JDF dans les eaux entre la rivière Jordan et le bassin Sooke. La répartition spatiale de l'occurrence dans ces zones a montré une association plus étroite avec les masses terrestres qu'avec les eaux centrales des canaux.

Les zones où l'intensité de l'occurrence de l'épaulard résident du sud est la plus élevée varient d'un mois à l'autre de mai à octobre, mais elles sont comparables, que l'effort de recherche soit considéré sur l'ensemble des mois (figure 12) ou sur une base mensuelle (figure 13). Ces habitats privilégiés comprenaient les eaux de la région du banc Swiftsure, la partie orientale du détroit de Haro, l'embouchure du fleuve Fraser, de la passe Active, du chenal Swanson près du côté ouest des îles Pender Nord et Sud, de l'aspect nord du passage Boundary le long des îles Pender Sud et Saturna (figure 11). Les sorties du modèle d'occurrence de l'épaulard résident du sud démontrent que la zone de Swiftsure présente la plus grande étendue spatiale d'occurrence élevée de l'épaulard résident du sud, avec une plus petite région d'occurrence élevée dans le détroit de Haro le long du côté ouest de l'île San Juan. Pour la zone de Swiftsure, la probabilité d'occurrence a augmenté régulièrement de mai à juillet, a atteint un sommet en août, puis a diminué en automne. Pour le détroit de Haro, le sommet de la probabilité d'occurrence de l'épaulard résident du sud a été atteint en septembre, avant qu'une réduction ne soit notée pour le mois d'octobre.

3.3. MODÈLE COMPORTEMENTAL

De 2018 à 2020, l'étude de suivi ciblé du MPO a recueilli 889 observations comportementales de 34 individus uniques sur 93 suivis (tableau 7). La majorité des observations du suivi ciblé du MPO (n = 743/889) ont révélé un comportement de déplacement ou de recherche de nourriture (tableau 8; figure 14a). Au cours de la même période, les relevés comportementaux de groupe du MPO ont permis de recueillir 1131 observations comportementales, dont 821 concernaient des comportements de déplacement ou de recherche de nourriture (tableau 8; figure 14b).

La grande majorité des observations comportementales de la NOAA en 2006 faisaient état d'un comportement de déplacement ou de recherche de nourriture (n = 522/571; figure 14c), les observations de comportement de déplacement étant largement supérieures en nombre aux observations de recherche de nourriture (tableau 8). Les données comportementales du groupe NOAA de 2007 à 2009 ont généralement noté un comportement de déplacement ou de recherche de nourriture (n=358/373; tableau 8; figure 14d). Les quatre ensembles de données présentaient une forte autocorrélation temporelle et spatiale. Alors que les deux ensembles de données du MPO présentaient une autocorrélation temporelle comparable, avec un temps de l'ordre d'une heure environ, l'autocorrélation spatiale était présente dans les ensembles de données du MPO à différentes échelles spatiales (tableau 9). L'autocorrélation temporelle observée dans les données de la NOAA était d'une durée considérablement plus longue que celle des données du MPO (1,5 h et 3 h pour 2006 et 2007-2009, respectivement); tableau 9). L'autocorrélation spatiale dans les données 2007-2009 de la NOAA était d'une ampleur comparable à celle des données du relevé comportemental de groupe du MPO. Cependant, l'effet spatial du modèle de suivi ciblé de la NOAA de 2006 était exceptionnellement élevé, à environ 180 km.

La comparaison des modèles de suivi ciblé et de relevé comportemental de groupe du MPO suggère des tendances spatiales générales comparables dans les comportements de déplacement et d'alimentation de l'épaulard résident du sud dans la région de Swiftsure et du détroit de JDF. Les deux modèles prédisent une forte probabilité de comportement de déplacement dans le détroit de JDF et sur le banc Swiftsure, et les deux prédisent une forte probabilité de comportement de recherche de nourriture au large de Nitinat et de la bordure est du banc Swiftsure (figure 15a,b; figure 16a).

Des modèles spatiaux complémentaires dans les comportements de déplacement et d'alimentation des épaulards résidents du sud dans la région du détroit de Haro des eaux intérieures ont été recensés à l'aide des données de la NOAA. Bien que les données de 2006 de la NOAA n'aient pas permis de définir les zones privilégiées pour le comportement de recherche de nourriture, elles montraient une forte probabilité de déplacement dans la zone nord de l'île San Juan et au-delà, ce qui était comparable à ce que les données 2007-2009 de la NOAA révélaient (figure 15c,d; figure 16b). Les zones à forte probabilité de recherche de nourriture ont été recensées au large de la côte ouest et sud de l'île San Juan à l'aide des données 2007-2009 de la NOAA.

3.4. DÉTECTIONS ACOUSTIQUES ET DURÉE DES RENCONTRES

De mai à octobre 2018, un total de 474 jours cumulatifs de données de surveillance acoustique passive a été recueilli à trois endroits dans la partie ouest de l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud (banc Swiftsure : 167 j, Port Renfrew : 125 j, rivière Jordan : 182 j; tableau 10). Les batteries se sont épuisées plus tôt que prévu (avant l'entretien périodique des enregistreurs) à Swiftsure et Port Renfrew en 2018, ce qui a entraîné un écart de 17 j du 30 juillet au 15 août à Swiftsure et un écart de 60 j du 21 juin au 18 août à Port Renfrew. Des difficultés techniques mineures ont entraîné une brève interruption de 2 j sans enregistrements

pour la rivière Jordan du 7 au 8 juin 2018. De mai à octobre 2019, un total de 552 jours cumulatifs de données de surveillance acoustique passive a été recueilli sur le banc Swiftsure (184 j), à Port Renfrew (184 j) et dans la rivière Jordan (184 j), sans aucune interruption des enregistrements (tableau 10).

En 2018, 27 % des fichiers acoustiques contenaient des détections automatisées à Swiftsure, 2,1 % à Port Renfrew et 2,4 % à la rivière Jordan. Parmi les dossiers comportant des détections à Swiftsure, 17,4 % (n=2507) ont été examinés manuellement pour valider la présence d'épaulards résidents du sud, 34,6 % (n=295) à Port Renfrew et 57 % (n=798) à la rivière Jordan. En 2019, 6,3 % des fichiers acoustiques contenaient des détections au banc Swiftsure, 2,0 % à Port Renfrew et 2,1 % à la rivière Jordan. Parmi ces dossiers comportant des détections, 35,4 % (n=1484) ont été examinés manuellement à Swiftsure, 31,1 % (n=421) à Port Renfrew et 51,3 % (n=697) à la rivière Jordan.

En 2018, des épaulards résidents du sud ont été détectés acoustiquement à Swiftsure pendant 47,3 % des jours d'enregistrement (79/167), à Port Renfrew pendant 48,8 % (61/125) et à la rivière Jordan pendant 30,2 % des jours d'enregistrement (55/182). En 2019, des épaulards résidents du sud ont été détectés acoustiquement à Swiftsure pendant 33,2 % des jours d'enregistrement (61/184), à Port Renfrew pendant 30,4 % (56/184) des jours d'enregistrement et à la rivière Jordan pendant 14,7 % des jours d'enregistrement (27/184). Le pourcentage de jours avec des détections d'épaulards résidents du sud était faible à tous les endroits en mai 2018 et 2019 (< 7 %), et a progressivement augmenté pour atteindre un sommet en août à Swiftsure (93,8 % en 2018 et 80,7 % en 2019) et à Port Renfrew (77,0 % en 2018 et 71,0 % en 2019). Le sommet de la présence d'épaulards résidents du sud a eu lieu en octobre à la rivière Jordan en 2018 (58,1 % des jours d'enregistrement), alors qu'il était considérablement plus bas en octobre 2019 (32,3 %). La présence à Port Renfrew et à la rivière Jordan était plus faible tous les mois en 2019 par rapport à 2018; toutefois, cette comparaison est affectée par l'absence d'effort d'enregistrement en juillet 2018 à Port Renfrew (tableau 11; figure 17).

Au cours de la période de deux ans, tous sites confondus, un total de 507 rencontres avec des épaulards a été enregistré, dont 481 ont été positivement identifiées à la population d'épaulards, et 414 (86,1 %) comprenaient des épaulards résidents du sud. C'est à Swiftsure que le nombre de rencontres d'épaulards résidents du sud a été le plus élevé (93 en 2018; 86 en 2019), suivi de Port Renfrew (74 et 75) et de la rivière Jordan (59 et 27). Le nombre de rencontres par mois et par an à chaque endroit est présenté dans le tableau 11 et la figure 17.

La durée (h) moyenne (médiane) \pm écart-type (ET) globale des rencontres d'épaulards résidents du sud en 2018 était de 6,35 (5,0) \pm 4,8 h à Swiftsure, de 2,8 (2,2) \pm 2,2 h à Port Renfrew et de 2,5 (2,1) \pm 1,7 h à la rivière Jordan. En 2019, la durée des rencontres avec les épaulards résidents du sud a diminué à 3,1 (2,1) \pm 3,1 h à Swiftsure, a augmenté légèrement à 3,4 (2,3) \pm 3,0 h à Port Renfrew et est restée relativement stable à la rivière Jordan, 2,8 (2,2) \pm 1,9 h. Les périodes moyennes (médianes) \pm ET entre les rencontres consécutives d'épaulards résidents du sud étaient de 39,5 (14,2) \pm 105,3 h à Swiftsure, 34,1 (17,2) \pm 50,3 h à Port Renfrew et 92,7 (46,4) \pm 182,7 h à la rivière Jordan. Les variations mensuelles de la durée des rencontres pour chaque site et chaque année sont présentées dans le tableau 11 et la figure 18. L'utilisation d'un seuil de 3 heures (sans appel d'épaulard entendu) pour définir des rencontres distinctes au lieu du seuil de 2 heures n'a eu aucun effet notable sur le nombre total de rencontres d'épaulards résidents du sud ou la durée moyenne des rencontres pour chaque combinaison année-site-mois (tests du coefficient de corrélation de Pearson, toutes les valeurs $p > 0,05$).

Les performances du détecteur étaient les suivantes pour les trois sites d'enregistrement de Swiftsure, Port Renfrew et rivière Jordan : le taux de rappel (la proportion de vraies détections

[fichiers] qui ont été capturées par le détecteur automatisé) était de 0,58, 0,61 et 0,30, respectivement; la précision (la proportion de détections automatisées [fichiers] qui étaient exactes) était de 0,23, 0,49 et 0,23; l'exactitude (la proportion de vrais positifs et de vrais négatifs, combinés) était de 0,56, 0,66 et 0,53. Un pourcentage élevé de fichiers contenait des faux positifs (Swiftsure : 77 %, Port Renfrew 51 %, rivière Jordan 77 %), déclenchés principalement par le bruit des navires et les vocalisations des rorquals à bosse. Étant donné le rappel plus faible que prévu, un test de sensibilité a été effectué en excluant au hasard 50 % des fichiers acoustiques quotidiens et en recalculant la présence mensuelle des épaulards pour chaque site. Ce test de sensibilité a donné lieu à des différences inférieures à 4 % pour la présence mensuelle d'épaulards sur l'ensemble des années et des sites, ce qui suggère que les résultats à la résolution présentée ici (échelle journalière) étaient robustes face aux performances sous-optimales des détecteurs, ainsi qu'aux performances variables selon les sites et les mois. Les taux de rappel plus faibles à la rivière Jordan sous-entendent qu'une plus grande proportion de fichiers contenant des appels d'épaulards ont été manqués par le détecteur par rapport aux deux autres sites. Cependant, la présence acoustique plus faible des épaulards à la rivière Jordan a été soutenue par les données du relevé visuel. Les détections acoustiques représentent les estimations minimales de la présence mensuelle des épaulards résidents du sud et de la durée des rencontres à chaque endroit (figures 17 à 19).

4. DISCUSSION

La compréhension des schémas d'occurrence et d'utilisation de l'habitat dans l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud est un composant essentiel pour la survie et le rétablissement de cette population en voie de disparition. Comme l'étendue spatiale de l'habitat essentiel est grande, la capacité de concentrer les mesures d'atténuation dans les zones de forte occurrence se traduira par une plus grande efficacité des mesures et une plus grande probabilité de succès. Des modèles de préférence d'habitat ont été utilisés ici pour décrire la relation animal-habitat et pour fournir un moyen de prédire l'utilisation différentielle de l'espace par l'épaulard résident du sud.

L'utilisation d'une nouvelle approche statistique pour traiter le biais d'échantillonnage préférentiel et rassembler des ensembles de données disparates a permis d'exprimer l'occurrence relative de l'épaulard résident du sud sur une portée géographique beaucoup plus large. Les sorties du modèle d'occurrence de l'épaulard résident du sud ont démontré que la zone de Swiftsure présente la plus grande étendue spatiale d'occurrence élevée de l'épaulard résident du sud, avec une plus petite région d'occurrence élevée dans le détroit de Haro le long du côté ouest de l'île San Juan. Bien que les eaux à l'ouest du détroit de JDF soient connues pour être un habitat important pour la population (Ford *et al.* 2017), la majorité des travaux publiés sur la présence de l'épaulard résident du sud, les modèles de répartition et l'utilisation de l'habitat ont été entrepris dans le détroit de Haro ou à proximité immédiate (Hauser *et al.* 2007; Seely *et al.* 2017; Olson *et al.* 2018; Larson *et al.* 2018). La région du delta du fleuve Fraser est un autre endroit où la probabilité d'occurrence est élevée. Pour la plupart des endroits, à l'exception notable de la zone de Swiftsure, le modèle d'occurrence de haute intensité a favorisé les eaux plus proches des masses terrestres que les passages centraux des voies navigables.

Il est important de noter que ces sorties de modèle fournissent une mesure de la *probabilité relative* d'occurrence dans la zone d'étude. Le concept de préférence d'habitat, ou l'utilisation disproportionnée d'une zone par rapport à l'ensemble de l'habitat disponible (Hall *et al.* 1997; Beyer *et al.* 2010) fournit des informations sur les zones importantes dont on suppose qu'elles influencent la valeur adaptative. Pour les données de l'épaulard résident du sud présentées ici, les polygones d'intensité d'occurrence peuvent être interprétés comme les zones d'habitat

privilegié au sein de l'habitat essentiel et sur diverses périodes. La carte de la fréquence d'occurrence annuelle moyenne de l'épaulard résident du sud (figure 11) donne un aperçu spatial de la probabilité de présence de l'épaulard résident du sud dans l'habitat essentiel et représente la préférence générale de l'habitat de la population et sa répartition pendant l'été (mai à octobre) sur toute la période d'étude (2009-2020).

La variation de l'intensité de l'occurrence de l'épaulard résident du sud au cours des mois d'été (figure 12) démontre une préférence temporelle et spatiale de l'habitat, avec une intensité maximale de l'occurrence en août et une répartition spatiale favorisant Swiftsure et le détroit de Haro. La variation mensuelle de l'occurrence s'aligne sur l'hypothèse générale selon laquelle l'occupation estivale de l'épaulard résident du sud coïncide avec les migrations de fraie des saumons du fleuve Fraser vers leurs rivières et cours d'eau natals (Groot *et al.* 1984, Healey et Groot. 1987). Pour les mois de septembre et octobre, les données indiquent une diminution de l'intensité de l'occurrence dans la zone de Swiftsure avec une diminution moins profonde dans le détroit de Haro par rapport au sommet d'août. Ce modèle d'occurrence s'aligne sur les remontes de saumon kéta d'automne (*Oncorhynchus keta*) dans Puget Sound, dont la prévalence augmente dans le régime alimentaire de l'épaulard résident du sud en octobre (Hanson *et al.* 2010; 2021) et coïncide avec une diminution de l'occurrence de l'épaulard résident du sud autour du fleuve Fraser et du banc Swiftsure.

L'analyse « dans le mois » fournit une estimation de la répartition de l'intensité de l'occurrence qui s'est produite chaque mois (figure 13), et représente la préférence d'habitat de l'épaulard résident du sud pour chacun des six mois de l'étude. Ces polygones d'intensité mensuelle individuelle ne sont pas influencés par l'intensité de l'occurrence des autres mois, et fournissent une plus grande résolution spatiale sur une période plus courte. Par conséquent, l'intensité des polygones d'occurrence a tendance à être plus grande, en particulier pour les mois de la saison intermédiaire (c.-à-d. mai, octobre). Ces prédictions d'occurrence intramensuelles fournissent un degré de précision supplémentaire lors de l'examen des mesures de gestion qui sont limitées dans le temps (p. ex., les décisions sur l'emplacement d'une ouverture de pêche dans un mois ou les emplacements des mesures à court terme sur l'activité des navires).

Il est intéressant de noter que la majorité des polygones d'occurrence de forte intensité sont situés à proximité de zones de trafic maritime élevé (à la fois le trafic de navires commerciaux le long des voies de navigation et les transits de navires de plaisance depuis les ports et marinas adjacents). Bien que l'on sache que les épaulards résidents du sud sont affectés par les perturbations physiques et acoustiques (Bain *et al.* 2006; Holt *et al.* 2009, 2011, 2015, 2021; Houghton *et al.* 2015; Lusseau *et al.* 2009; Tyack 2008; Williams *et al.* 2009), nos données ne montrent pas de déplacement à partir de ces endroits. La présence durable de l'épaulard résident du sud dans les zones de trafic maritime élevé ne doit pas nécessairement être considérée comme une preuve de tolérance ou d'acclimatation aux perturbations, mais plutôt comme une mesure de l'importance vitale de ces sites pour les besoins de la population.

Une précédente analyse à échelle fine de l'occurrence estivale de l'épaulard résident du sud dans la mer des Salish a été réalisée à l'aide des données de P_{opp} et a permis de documenter la présence de l'épaulard résident du sud de 1976 à 2014 (Olson *et al.* 2018). Les données ont été ajustées à un modèle de densité par noyau et corrigées en fonction de l'effort à l'aide d'une grille d'effort estimée par les observateurs (Rechsteiner *et al.* 2013). Bien que le modèle d'occurrence de l'épaulard résident du sud présente des avantages importants par rapport à cette méthode utilisée par Olsen *et al.* (2018), le maillage de correction de l'effort utilisé dans le modèle d'occurrence de l'épaulard résident du sud dépend des efforts constants et continus des organisateurs de voyages d'écotourisme. Avec la mise en œuvre de la réglementation sur l'augmentation de la distance d'approche pour l'épaulard résident du sud, on constate un changement dans l'effort dirigé pour localiser et observer l'épaulard résident du sud, et les

observations signalées ont diminué. Il se peut que les futurs modèles de correction de l'effort doivent être axés sur les groupes d'observateurs qui ne sont pas affectés par les réglementations sur la distance d'approche, tels que les observations à terre, l'équipage de grands navires marins ou les travailleurs côtiers. Une comparaison des résultats des deux modèles a été entreprise pour évaluer la robustesse des estimations de l'effort utilisées pour divers groupes d'observateurs dans le modèle de densité par noyau.

Lorsqu'on compare les résultats de l'analyse de la densité par noyau de P_{opp} de 2009 à 2018 (figure 9) et de l'analyse du modèle d'occurrence de l'épaulard résident du sud des données combinées des OB et du MPO (figure 11), l'occurrence relative de l'épaulard résident du sud est plus élevée dans les zones adjacentes à l'île Pender Nord (chenal Swanson) et à l'île Saturna (passage Boundary) dans l'analyse de P_{opp} . Bien que la grille d'effort appliquée aux données du BCCSN et de l'OM ait été élaborée à partir de l'effort estimé des observateurs par catégorie, puis pondérée par la contribution relative de chaque catégorie (d'après Rechsteiner *et al.* 2013), l'effort important des observateurs dans les zones mentionnées ci-dessus n'a pas été entièrement pris en compte dans les estimations de l'effort. Par exemple, The Whale Trail, une organisation à but non lucratif basée à Seattle, WA, qui promeut et facilite les observations par les citoyens, dispose de cinq sites d'observation à terre sur l'île de Pender Nord et Sud, donnant sur le canal Swanson, et dispose également d'un site d'observation à terre sur l'île Saturna. En outre, la Saturna Island Research and Education Society (SIMRES), une organisation communautaire à but non lucratif qui soutient la recherche sur l'épaulard résident du sud, a récemment lancé son propre réseau d'observation de Saturna. Si l'effort des observateurs dans ces zones est sous-représenté dans la grille d'effort, la densité des baleines dans ces zones pourrait être élevée dans la carte d'occurrence résultante.

Les estimations de l'effort utilisées dans l'analyse des données combinées des OB et du MPO ont été dérivées à l'aide d'un émulateur stochastique des heures-bateau cumulées et ont fourni une haute résolution temporelle de l'effort d'observation. La différence entre les densités relatives du chenal Swanson et du passage Boundary était donc probablement due à la plus grande précision et à l'incorporation de l'incertitude dans l'évaluation de l'effort pour l'analyse des données combinées des OB et du MPO. Il s'agit d'une observation importante, car un certain nombre de mesures de gestion visant à protéger l'épaulard résident du sud ont été mises en œuvre dans ces zones; un plus grand degré de précision dans l'identification de l'occurrence de l'épaulard résident du sud aidera à affiner l'emplacement des futurs efforts d'atténuation.

Des incertitudes existent également dans la capacité de la grille d'effort de P_{opp} à évaluer les endroits où l'effort peut être plus faible que prévu. Les catégories d'effort des observateurs de P_{opp} incluent les résidents des centres urbains (Rechsteiner *et al.* 2013). La zone située à proximité du fleuve Fraser se trouve dans la catégorie d'analyse coût-distance de la ville de Vancouver, et un niveau d'effort modéré lui a été attribué dans l'analyse de l'effort estimé. Le delta étendu et les barres de sable près des bras du fleuve Fraser, ainsi que le mascaret qui se produit à l'embouchure du fleuve, créent des conditions de navigation de plaisance loin d'être idéales, et entraînent une répartition inégale de l'effort autour du centre urbain. Cependant, l'effort de pêche près de l'embouchure du fleuve Fraser est élevé, avec une variabilité de la présence liée au moment des diverses ouvertures de pêche et des montaisons de saumon. Bien que le nombre de navires à proximité du fleuve Fraser puisse être élevé, le secteur de la pêche récréative est sous-représenté dans les bases de données d'observations. La combinaison d'un effort supposé élevé et d'un faible signalement des observations dans l'analyse des données de P_{opp} s'est reflétée dans les données d'occurrence (figure 9), qui ont montré une occurrence relative plus faible que ce qui a été déduit de l'analyse combinée des données des OB et du MPO (figure 11). L'exploration de méthodologies améliorées de

correction de l'effort pour les données d'observations ponctuelles non dirigées peut être nécessaire pour soutenir l'utilisation des données de plateforme d'observations ponctuelles pour les années à venir.

Analyse d'état comportemental

Bien que les données sur l'occurrence relative de l'épaulard résident du sud fournissent des informations sur la préférence de l'habitat, il faut comprendre comment la population utilise cet habitat pour déterminer la fonction qu'il remplit. Cette étude a combiné les données sur le comportement de l'épaulard résident du sud provenant de publications antérieures avec les résultats de nouveaux relevés pour évaluer l'utilisation de l'habitat dans l'habitat essentiel, en insistant sur le recensement des zones qui favorisent le comportement de recherche de nourriture.

Les données comportementales associées à la partie occidentale de l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud ont montré de multiples zones à forte probabilité de recherche de nourriture le long des isobathes qui descendent des eaux peu profondes du banc Swiftsure. La combinaison d'eau profonde adjacente à des parois abruptes s'aligne sur les observations précédentes de l'habitat associé au comportement de recherche de nourriture de l'épaulard résident du sud (Heimlich-Boran 1988; Jacobsen 1990; Nichol et Shackleton 1996; Ford *et al.* 1998). Les événements de prédation dans la zone, tels que rapportés par Ford *et al.* (2017), se sont produits dans des eaux dont la profondeur moyenne est de 89 m, et plus de 80 % des saumons chinooks étaient originaires du fleuve Fraser. Le saumon chinook est présent à de plus grandes profondeurs que les autres espèces de saumon de la région, et occupe une position dans la colonne d'eau qui est plus éloignée de la surface et plus proche du fond (Smith *et al.* 2015; Riddell *et al.* 2018). Le plateau est coupé par plusieurs canyons profonds, qui créent des remontées d'eau froide riche en nutriments. La présence du banc peu profond dans la trajectoire du flux et reflux constant des marées à l'entrée du détroit de JDF condense l'environnement océanique stratifié qui se distribue normalement dans une colonne de profondeur de 2 à 300 m, et force la biomasse à remonter et à se retrouver sur le banc Swiftsure, créant ainsi un grand bassin d'eau de surface plus froide et une zone hautement productive (Burger, 2003). Ces caractéristiques offrent vraisemblablement aux épaulards résidents du sud un avantage en matière de recherche de nourriture et leur permettent d'accéder aux saumons qui se dirigent vers leurs rivières et cours d'eau natals (Ford *et al.* 2010; Hanson *et al.* 2010).

Dans le détroit de JDF, le comportement prédominant est le déplacement. Les mouvements des individus dans le détroit sont directionnels et parallèles à la côte, ce qui donne à penser que les eaux de ce cours d'eau sont principalement utilisées pour le transit entre les principales aires d'alimentation. Le détroit de JDF est reconnu comme habitat essentiel dans les eaux canadiennes et américaines, et il est coupé en deux par les voies de navigation. Comme les répercussions du trafic maritime constituent une menace pour le rétablissement de la population d'épaulards résidents du sud, ces eaux suscitent l'intérêt et méritent une étude plus approfondie. Les analyses futures des mouvements et du comportement de l'épaulard résident du sud en fonction de la marée, des courants et d'autres paramètres océanographiques permettront de mieux comprendre l'utilisation de l'habitat dans cette zone.

Les résultats de l'analyse des ensembles de données comportementales de la NOAA recueillis dans la partie est de l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud corroborent les travaux antérieurs démontrant que la recherche de nourriture est le comportement dominant dans les eaux au sud et à l'ouest de l'île San Juan. En plus de fréquenter les eaux plus profondes, le saumon chinook a également tendance à se déplacer dans les zones de courant principal et à s'orienter le long des axes des courants de marée, ce qui favoriserait également les eaux

adjacentes au côté est du détroit de Haro. La configuration d'un fond océanique relativement plat qui s'élève rapidement pour former un tombant le long de l'île San Juan est observée dans un certain nombre d'aires d'alimentation, et fournit probablement un certain avantage pendant la poursuite (Wright *et al.* 2017; Jacobsen 1990; Nichol et Shackleton 1996). La rugosité benthique réduite et le relief élevé le long de l'île avec des zones littorales profondes peuvent également améliorer le succès de la recherche de nourriture, car l'écholocalisation et la poursuite des proies risquent d'être entravées dans les zones de bathymétrie complexe. Des recherches sur l'occurrence et le comportement de l'épaulard résident du sud en fonction de la bathymétrie et d'autres covariables sont en cours.

Le comportement prédominant affiché dans les zones au nord du détroit de Haro était le déplacement. Bien que la recherche de nourriture ait été fréquemment observée dans les zones du passage Boundary et du chenal Swanson, particulièrement le long du côté ouest de l'île Pender, un ensemble de données plus important améliorerait notre compréhension de l'utilisation de l'habitat dans ces zones. Une étude plus approfondie du comportement à d'autres endroits où la présence de l'épaulard résident du sud est importante est nécessaire pour donner un aperçu de l'utilisation de l'habitat dans d'autres zones d'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud. Dans l'ensemble, ces analyses comportementales révèlent la présence de lieux d'alimentation principaux (banc Swiftsure et détroit de Haro) avec des déplacements d'animaux traversant le détroit de JDF pour se rendre d'un lieu d'alimentation à un autre ou pour entrer et sortir de la mer des Salish.

Activités de détection acoustique

Les données de détection et de rencontre acoustiques appuient les conclusions des relevés visuels, tant pour l'analyse de l'occurrence que pour celle du comportement. Les données acoustiques montrent que les épaulards résidents du sud étaient fréquemment présents dans les environs du banc Swiftsure et de Port Renfrew, et moins à la rivière Jordan, ce qui concorde avec les données d'observation et les sorties du modèle de fréquence d'occurrence. Les schémas saisonniers dans l'ensemble des données acoustiques semblent indiquer une présence plus faible en mai sur tous les sites d'enregistrement, un pic de présences en août à Swiftsure et Port Renfrew, et un pic plus tardif à la rivière Jordan en octobre. Les détections moins nombreuses d'épaulards résidents du sud en mai concordent avec les tendances saisonnières de l'occurrence au banc Swiftsure présentées dans Ford *et al.* (2017) et Riera *et al.* (2019), ainsi que sur l'occurrence de l'épaulard résident du sud dans les eaux côtières de Washington à la Californie pendant l'hiver et le printemps (Hanson *et al.* 2013, Rice *et al.* 2017). Un pic plus tardif de la présence acoustique de l'épaulard résident du sud à la rivière Jordan pourrait refléter des incursions plus fréquentes dans la partie intérieure de la mer des Salish après les migrations automnales du saumon chinook et coïncider avec la prévalence relativement élevée du saumon kéta de Puget Sound dans son régime alimentaire (Hanson *et al.* 2021). Les tendances saisonnières acoustiques et visuelles de l'occurrence de l'épaulard résident du sud, en particulier la plus faible occurrence en mai et le sommet en août à Swiftsure et Port Renfrew, ont montré des modèles comparables.

La comparaison de la présence mensuelle de l'épaulard résident du sud pendant l'été à Swiftsure sur deux périodes interdécennales (2009-2011 par rapport à 2018-2019) confirme la fréquente utilisation estivale de la zone du banc de Swiftsure (Ford 2006, Ford *et al.* 2017, Riera *et al.* 2019). En comparant les schémas d'occurrence mensuelle entre les décennies, un déplacement du pic d'occurrence à Swiftsure a été noté, de juin/juillet pendant les années 2009 à 2011, à août en 2018 et 2019. Des changements semblables dans l'occurrence saisonnière ont été observés ces dernières années dans la partie orientale de l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud, ce qui suggère une tendance vers une arrivée plus tardive dans toutes les parties de l'habitat essentiel au cours de la dernière décennie (Olson *et al.* 2018,

Shields *et al.* 2018). Une analyse plus poussée des données de SAP contemporaines dans tout l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud est en cours pour corroborer cette tendance.

La durée des rencontres acoustiques (la période pendant laquelle les épaulards résidents du sud qui émettent des vocalisations passent à portée audible des enregistreurs) a fourni une couche supplémentaire d'informations sur les schémas d'utilisation de l'habitat. La durée des rencontres acoustiques peut servir d'approximation pour l'occupation et d'indicateur de la préférence d'habitat (Palmer *et al.* 2019). Les schémas de déplacement associés aux différents comportements suggèrent que les animaux qui passent de longues périodes dans une zone donnée sont plus susceptibles d'être en quête de nourriture, de se reposer ou de socialiser (également appelés déplacements restreints à une zone), par rapport aux déplacements, qui tendent à être des mouvements directionnels avec un temps passé plus court dans une zone donnée (Kareiva et Odell 1987). Les durées moyennes de rencontre étaient nettement plus élevées à Swiftsure en 2018 par rapport aux deux autres sites, et aucune différence notable dans les durées de rencontre entre les sites n'a été constatée en 2019. La durée des rencontres a également montré une plus grande variabilité à Swiftsure par rapport à la rivière Jordan, ce qui suggère que les eaux autour de cette rivière (c.-à-d. au milieu du détroit de JDF) sont associées à un modèle de déplacement plus directionnel avec moins de variation dans les comportements. La plus grande variabilité de la durée des rencontres à Swiftsure par rapport à Port Renfrew ou à la rivière Jordan peut en partie être due à la variété des comportements qui se produisent à Swiftsure, où il existe des preuves de déplacements, de recherche de nourriture et de socialisation (les animaux étant plus susceptibles de rester à un endroit pendant un certain temps). Les rencontres acoustiques plus longues et plus variables à l'enregistreur du banc Swiftsure par rapport aux enregistreurs du détroit de JDF s'alignent également sur les données comportementales caractérisant l'étendue des aires d'alimentation, où les baleines se déplacent régulièrement entre les trajectoires migratoires des saumons retournant vers la rivière Nitinat, le fleuve Fraser et Puget Sound. Les rencontres acoustiques plus longues à Swiftsure, notamment en 2018, peuvent également être liées à la sélection des proies et au comportement. Par exemple, en 2018, des épaulards résidents du sud ont été observés à de nombreuses reprises en train de se nourrir de morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*; S.J. Thornton, comm. pers.) dans une zone relativement circonscrite près du banc Swiftsure. Des rencontres acoustiques plus courtes et moins changeantes à Port Renfrew et à la rivière Jordan peuvent être une indication que les baleines se déplaçaient à travers ces zones lorsqu'elles accédaient à des aires d'alimentation clés dans le détroit de Haro et à Swiftsure. Ces résultats acoustiques corroborent les observations comportementales et les prédictions du modèle, selon lesquelles les épaulards résidents du sud ont été fréquemment trouvés dans la zone de Swiftsure pendant les mois d'été, présentant souvent des déplacements étendus en phase de recherche de nourriture, suivis de périodes de recherche de nourriture, avant de revenir aux déplacements ou à la recherche de proies. Les relevés comportementaux des épaulards résidents du sud dans le détroit de JDF, en particulier à l'est de Port Renfrew, ont révélé que le déplacement était le comportement dominant, la direction du déplacement variant entre l'est et l'ouest. Pendant les relevés comportementaux d'été (de juin à août), les épaulards résidents du sud transitaient souvent entre les eaux au large de Port Renfrew et la zone du banc Swiftsure en suivant les lignes isobathes, ce qui augmentait vraisemblablement leurs possibilités d'intercepter des proies.

Les données acoustiques ont fourni un moyen supplémentaire d'étudier les profils d'occurrence de l'épaulard résident du sud dans la partie ouest de l'habitat essentiel et ont permis de surveiller l'épaulard résident du sud lorsque les relevés visuels en bateau étaient irréalisables (p. ex., au début et à la fin de l'été, les jours de mauvais temps, ainsi que pendant la nuit). L'utilisation de plusieurs enregistreurs a permis une couverture spatiale plus large de la région, et a diminué la probabilité d'une détection manquée due à des baleines ne vocalisant pas. Bien

que la surveillance acoustique passive présente certains avantages par rapport aux relevés visuels, elle se heurte à un certain nombre de limites. Les détections manquées sont possibles, car la surveillance acoustique repose sur des vocalisations survenant lorsque l'animal se trouve dans le champ de l'enregistreur. Les taux de vocalisation peuvent varier selon le comportement, l'heure de la journée et le nombre d'individus dans un groupe, et cette variabilité n'est pas facilement quantifiable. Le taux de détection acoustique varie également en fonction de la portée du détecteur, qui est à son tour affectée par les conditions environnementales et les niveaux de bruit ambiant. Bien que des limites analogues soient rencontrées pour les relevés visuels dans des conditions de mauvaise visibilité ou d'état de mer croissant, la capacité de détecter les baleines par voie acoustique pendant les périodes d'obscurité et de mauvais temps offre un avantage clair sur les relevés visuels pour les programmes de surveillance cohérents à long terme.

Il existe également des sources d'incertitude liées au traitement des données acoustiques pour les détections. Dans cette étude, seule la classe dominante de vocalisation (appels pulsés) a été utilisée pour confirmer la présence de l'épaulard résident du sud. Si les baleines ne produisaient que des clics ou des sifflements, ou si les appels étaient trop faibles ou de mauvaise qualité pour identifier avec certitude la population d'épaulards, ils n'étaient pas pris en compte dans cette analyse. Bien que l'utilisation de détecteurs automatiques de vocalises de baleines ait offert une approche plus efficace que l'analyse manuelle, elle a ajouté une certaine incertitude en raison d'un taux élevé de faux positifs, souvent déclenchés par le bruit des navires et les vocalisations des rorquals à bosse. En outre, l'analyse d'un petit sous-ensemble de données ne contenant aucune détection automatique a révélé que le détecteur a manqué les appels épaulard résident du sud d'un certain nombre de fichiers, ce qui a entraîné un taux élevé de faux négatifs. L'effet de ces faux positifs et faux négatifs sur le rappel et la précision a entraîné une performance médiocre à moyenne des détecteurs sur la plupart des sites; cependant, une grande partie de l'incertitude associée à la performance des détecteurs a été améliorée en résumant les détections à l'échelle quotidienne. Il est important de noter que la présence quotidienne d'épaulards résidents du sud sur chaque site d'enregistrement, ainsi que le nombre de rencontres et la durée des rencontres, ont tous été dérivés de fichiers acoustiques validés manuellement, et représentent donc des estimations minimales. Dans cette étude, les taux de rappel étaient très variables d'un site à l'autre, en partie à cause des variations du bruit acoustique ambiant, ce qui a entraîné des appels manqués. Bien que des efforts considérables soient en cours pour améliorer les paramètres des détecteurs, la nécessité de vérifier manuellement les enregistrements reste l'un des plus grands facteurs limitatifs de la surveillance acoustique passive.

D'autres incertitudes sont associées à l'interprétation de la durée des rencontres, comme les périodes où les épaulards résidents du sud ne vocalisaient pas dans la plage de détectabilité, ainsi que les limites de la plage de détection de l'enregistreur. De courtes rencontres peuvent représenter un transit de baleines dans une zone, ou bien des baleines présentes pendant de plus longues périodes, mais adoptant des comportements calmes comme le repos (Ford 1989). En outre, des rencontres acoustiques plus longues pouvaient se produire si les baleines étaient dispersées et se déplaçaient, chaque individu pouvant passer une durée plus courte à proximité de l'enregistreur, mais en tant que groupe, la période de détection globale était prolongée. La durée des rencontres est affectée par la portée de détection de l'enregistreur et le taux de vocalisation; cependant, le seuil temporel utilisé pour définir des rencontres acoustiques distinctes (2 h contre 3 h) n'a pas modifié le nombre total de rencontres par mois ou la durée des rencontres. L'échelle choisie pour résumer les détections d'épaulards résidents du sud (quotidienne) a été jugée adéquate, malgré les différences de performance des détecteurs entre les sites, ainsi que la variabilité potentielle de la portée de détection des épaulards résidents du

sud en raison de la bathymétrie, de la profondeur de l'enregistreur ou des conditions de bruit ambiant.

Cette étude est la première à utiliser la surveillance acoustique passive pour étudier la présence estivale de l'épaulard résident du sud à plusieurs endroits simultanément dans le secteur ouest de son habitat essentiel. Des années supplémentaires de données provenant de ces sites de déploiement, des données hivernales et d'autres déploiements qui n'ont pas encore été analysés permettront de mieux comprendre la présence de l'épaulard résident du sud tout au long de l'année. Lorsqu'ils sont analysés en conjonction avec les données comportementales, ces enregistrements acoustiques peuvent être utilisés pour étayer les modèles prédictifs de déplacement et contribuer aux efforts d'atténuation pour le rétablissement.

5. CONCLUSION

Les données d'observation montrent que les épaulards résidents du sud passent une grande partie de leur temps dans les eaux de la partie intérieure de la mer des Salish et dans la zone de Swiftsure, qui constituent une partie relativement petite de leur aire de répartition globale (Ford *et al.* 2017). Les données présentées ici fournissent les meilleures informations disponibles sur la fréquence relative de l'occurrence estivale de l'épaulard résident du sud dans le sud de la mer des Salish et dans la zone du banc Swiftsure, et révèlent que l'occurrence est dominée par les eaux à proximité du banc Swiftsure, avec une zone de forte intensité continue dans le détroit de Haro le long du côté ouest de l'île San Juan. Les eaux côtières près du fleuve Fraser figurent également en bonne place sur les cartes d'intensité et montrent une augmentation régulière de la présence d'épaulards résidents du sud à partir du mois de mai jusqu'à un pic en septembre.

Ces analyses fournissent une meilleure résolution pour l'occurrence estivale de l'épaulard résident du sud, et un changement dans le paradigme actuel de l'utilisation de l'habitat dans l'habitat essentiel comme étant dominé par les eaux du détroit de Haro. La possibilité de combiner des données provenant de sources distinctes a permis d'élargir la portée géographique sur laquelle exprimer l'occurrence relative de l'épaulard résident du sud, et a mis en évidence l'importance de la zone de Swiftsure pour la population. Les comparaisons des nouveaux résultats avec les données modélisées antérieures de la présence de l'épaulard résident du sud dans la partie intérieure de la mer des Salish ont démontré des différences dans les résultats des modèles pour la présence de l'épaulard résident du sud dans le passage Boundary, le chenal Swanson et les zones près du fleuve Fraser. Les résultats des relevés comportementaux ont désigné la zone de Swiftsure et le détroit de Haro comme des aires d'alimentation clés, et ont fait ressortir ces zones comme candidates à des mesures d'atténuation pour protéger les environnements d'alimentation vulnérables. Les détections acoustiques et les données sur la durée des rencontres ont apporté un soutien supplémentaire aux résultats de l'occurrence relative et aux observations du comportement. La possibilité d'évaluer des ensembles de données de détection acoustique et visuelle alignés dans le temps et l'espace a donné l'occasion d'évaluer le comportement observé en surface avec le comportement vocal associé en profondeur.

Les données utilisées pour soutenir ces analyses couvrent moins d'une génération d'existence de l'épaulard résident du sud, et représentent la fréquence d'occurrence et l'utilisation de l'habitat en été (mai à octobre). L'extrapolation de ces résultats à d'autres périodes ou pour d'autres comportements doit être menée avec prudence. Au cours de la dernière décennie, un changement dans la préférence d'habitat de l'épaulard résident du sud a été observé et fait actuellement l'objet d'études pour comprendre les facteurs associés à ce changement

d'utilisation de l'habitat. Ces informations sur les zones importantes pour l'épaulard résident du sud permettront de guider les mesures de gestion et d'orienter les recherches futures.

6. REMERCIEMENTS

Les travaux sur le terrain ont été effectués en vertu du permis n° MML 006 délivré par le MPO au titre de la LEP et du *Règlement sur les mammifères marins* au Canada, et du permis n° 21348 du Northwest Fisheries Science Center dans les eaux américaines, avec l'approbation du Comité de protection des animaux de la région du Pacifique du MPO (AUP19-010). Ces études ont été entreprises dans les territoires traditionnels du peuple Salish du littoral, et nous remercions les membres des nations T'Sou-ke, Tsleil-Waututh, Pacheedaht et Ditidaht pour leur apport et leurs discussions.

Nous remercions nos nombreux collègues pour leur contribution à la collecte des données. Une recherche substantielle et un soutien sur le terrain ont été fournis par notre équipe centrale du MPO : Charley Cragg, David Gaspard, Brian Gisborne, Dylan Smyth et Kait Yehle; avec l'aide sur le terrain de Lucas Bent, Damian Dawson, Holly Fellowes, Alex Forman, Charli Grimes, Amy Johnson, Miguel Neves dos Reis, Nicola Rammell et Sara Tavares.

La collecte et l'analyse des données acoustiques n'auraient pas été possibles sans les efforts de Dylan Smyth, Caitlin O'Neill, Harald Yurk, Erin Woodley, JessLynn Shaw, Lynn Rannankari et Elly Chmelnitsky, avec les conseils de James Pilkington et Miguel Neves dos Reis. Nous remercions Harald Yurk et Xavier Mouy pour leur expertise et pour la discussion sur les pertes de transmission et les plages de détection des enregistreurs.

Enfin, l'évolution de cette analyse a bénéficié des discussions avec Joe Watson, John Ford, Brad Hanson, Ruth Joy, Dom Tollit, Jason Wood et Marie Auger-Methe; nous sommes reconnaissants de l'expertise et de la générosité de nos collègues.

7. RÉFÉRENCES CITÉES

- Ashe, E., Noren, D., and Williams, R. 2010. Animal behaviour and marine protected areas: incorporating behavioural data into the selection of marine protected areas for an endangered killer whale population. *Anim. Conserv.* **13**(2): 196-203.
- Bachl, F.E., Lindgren, F., Borchers, D.L., and Illian, J.B. 2019. inlabru: an R package for Bayesian spatial modelling from ecological survey data. *Methods in Ecology and Evolution* **10**(6): 760-766.
- Bakka, H., Vanhatalo, J., Illian, J., Simpson, D., and Rue, H. 2016. Accounting for physical barriers in species distribution modeling with non-stationary spatial random effects. arXiv preprint arXiv:1608.03787.
- Barlow, J., and Taylor, B.L. 2005. Estimates of sperm whale abundance in the northeastern temperate Pacific from a combined acoustic and visual survey. *Mar. Mamm. Sci.* **21**(3): 429-445.
- Burger, A.E., 2003. Effects of the Juan de Fuca Eddy and upwelling on densities and distributions of seabirds off southwest Vancouver Island, British Columbia. *Marine Ornithology* **31**(2): 113-122.
- Burham, R.E., Palm, R.S., Duffus, D.A., Mouy, X., and Riera, A. 2016. The combined use of visual and acoustic data collection techniques for winter killer whale (*Orcinus orca*) observations. *Glob. Ecol. Conserv.* **8**: 24-30. doi:10.1016/j.gecco.2016.08.001.

-
- Center for Conservation Bioacoustics. 2014. [Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software \(Version 1.5 and 1.6\)](#) [Computer software]. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology.
- COSEWIC. 2001. COSEWIC assessment and update status report on the Killer Whale *Orcinus orca* in Canada. Ottawa.
- Fearnbach, H., Durban, J., Ellifrit, D., and Balcomb, K.C. 2011. Size and long-term growth trends of endangered fish-eating killer whales. *Endanger. Species Res.* **13**: 173–180.
- Fearnbach, H., Durban, J.W., Ellifrit, D.K., and Balcomb, K.C. 2018. Using aerial photogrammetry to detect changes in body condition of endangered southern resident killer whales. *Endanger. Species Res.* **35**: 175-180. doi:10.3354/esr00883.
- Fisheries and Oceans Canada. 2018. Amended Recovery Strategy for the Northern and Southern Resident Killer Whales (*Orcinus orca*) in Canada. Fisheries & Oceans Canada, Ottawa.
- Ford, J.K. 1989. Acoustic behaviour of resident killer whales (*Orcinus orca*) off Vancouver Island, British Columbia. *Can. J. Zool.* **67**(3): 727-745.
- Ford, J.K. 1991. Vocal traditions among resident killer whales (*Orcinus orca*) in coastal waters of British Columbia. *Can. J. Zool.* **69**(6): 1454-1483.
- Ford, J.K., and Ellis, G.M. 2006. Selective foraging by fish-eating killer whales *Orcinus orca* in British Columbia. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* **316**: 185-199.
- Ford, J.K., Ellis, G.M., Olesiuk, P.F., and Balcomb, K.C. 2010. Linking killer whale survival and prey abundance: food limitation in the oceans' apex predator? *Biol. Lett.* **6**(1): 139-142.
- Ford, J.K., Ellis, G.M., Barrett-Lennard, L.G., Morton, A.B., Palm, R.S., and Balcomb III, K.C. 1998. Dietary specialization in two sympatric populations of killer whales (*Orcinus orca*) in coastal British Columbia and adjacent waters. *Can. J. Zool.* **76**(8): 1456-1471.
- Ford, J.K.B., Pilkington, J.F., Reira, A., Otsuki, M., Gisborne, B., Abernethy, R.M., Stredulinsky, E.H., Towers, J.R., and Ellis, G.M. 2017. [Habitats of Special Importance to Resident Killer Whales \(*Orcinus orca*\) off the West Coast of Canada](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/035. viii + 57 p.
- Ford, J.K.B. 2006. [An assessment of critical habitats of resident killer whales in waters on the Pacific coast of Canada](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/035. 2006/072: iv + 34 p.
- Fuglstad, G.-A., Simpson, D., Lindgren, F., and Rue, H. 2019. Constructing priors that penalize the complexity of Gaussian random fields. *Journal of the American Statistical Association* **114**(525): 445-452.
- Gelman, A., Meng, X.-L., and Stern, H. 1996. Posterior predictive assessment of model fitness via realized discrepancies. *Statistica Sinica*: **6**(4): 733-760.
- Gillespie, D., Caillat, M., Gordon, J., and White, P. 2013. Automatic detection and classification of odontocete whistles. *The Journal of the Acoustical Society of America* **134**(3): 2427-2437.
- Gillespie, D., Gordon, J., Mchugh, R., McLaren, D., Mellinger, D., Redmond, P., Thode, A., Trinder, P., and Deng, X.Y. 2008. PAMGUARD: Semiautomated, open source software for real-time acoustic detection and localisation of cetaceans. *Proceedings of the Institute of Acoustics* **30**: 67-75.
-

-
- Groot, C. L., Margolis, L., and Bailey, R. 1984. Does the route of seaward migration of Fraser River sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) smolts determine the route of return migration of the adults? In Mechanisms of migration in fishes. Edited by J. D. McCleave, G. P. Arnold, J. J. Dodson, and W. H. Neill. Plenum Press, New York. pp. 283 -292.
- Groskreutz, M., Durban, J., Fearnbach, H., Barrett-Lennard, L., Towers, J., and Ford, J. 2019. Decadal changes in adult size of salmon-eating killer whales in the eastern North Pacific. *Endanger. Species Res.* **40**: 183-188. doi:10.3354/esr00993.
- Hanson, M.B., Baird, R.W., Ford, J.K., Hempelmann-Halos, J., Van Doornik, D.M., Candy, J.R., Emmons, C.K., Schorr, G.S., Gisborne, B., and Ayres, K.L. 2010. Species and stock identification of prey consumed by endangered southern resident killer whales in their summer range. *Endanger. Species Res.* **11**(1): 69-82.
- Hanson, B. M., Emmons, C.K., Ward, E.J., Nystuen, J.A. and Lammers, M.O., 2013. Assessing the coastal occurrence of endangered killer whales using autonomous passive acoustic recorders. *The Journal of the Acoustical Society of America* **134**(5): 3486-3495.
- Hanson, M.B., E.J. Ward, C.K. Emmons, M.M. Holt, and D.M. Holzer. 2017. Assessing the movements and occurrence of Southern Resident Killer Whales relative to the U.S. Navy's Northwest Training Range Complex in the Pacific Northwest. Prepared for: U.S. Navy, U.S. Pacific Fleet, Pearl Harbor, HI. Prepared by: National Oceanic and Atmospheric Administration, Northwest Fisheries Science Center under MIPR N00070-15-MP-4C363. 30 June 2017. 23p.
- 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**(3):e0247031.
- Hauser, D.D., Logsdon, M.G., Holmes, E.E., VanBlaricom, G.R., and Osborne, R.W. 2007. Summer distribution patterns of southern resident killer whales *Orcinus orca*: core areas and spatial segregation of social groups. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* **351**: 301-310.
- Healey, M.C. and Groot, C., 1987. Marine migration and orientation of ocean-type Chinook and sockeye salmon. *In Am. Fish. Soc. Symp* (Vol. 1, pp. 298-312).
- Heimlich-Boran, J.R. 1988. Behavioral ecology of killer whales (*Orcinus orca*) in the Pacific Northwest. *Can. J. Zool.* **66**(3): 565-578.
- Hoelzel, A.R. 1993. Foraging behaviour and social group dynamics in Puget Sound killer whales. *Animal Behaviour* **45**(3): 581-591.
- Holt, M.M., Noren, D.P., Dunkin, R.C. and Williams, T.M., 2015. Vocal performance affects metabolic rate in dolphins: implications for animals communicating in noisy environments. *The Journal of Experimental Biology* **218**(11): 1647-1654.
- Holt, M.M., Noren, D.P., and Emmons, C.K. 2013. An investigation of sound use and behavior in a killer whale (*Orcinus orca*) population to inform passive acoustic monitoring studies. *Mar. Mamm. Sci.* **29**(2): E193-E202. doi:10.1111/j.1748-7692.2012.00599.x.
- 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. *The Journal of the Acoustical Society of America* **125**(1): EL27-EL32.
- Houghton, J., Holt, M.M., Giles, D.A., Hanson, M.B., Emmons, C.K., Hogan, J.T., Branch, T.A. and VanBlaricom, G.R., 2015. The relationship between vessel traffic and noise levels received by killer whales (*Orcinus orca*). *PLoS ONE*, **10**(12): e0140119.
-

-
- JASCO Applied Sciences. 2017. PAMLab-Lite (Version 9.5.7). JASCO Applied Sciences, Halifax Regional Municipality, NS.
- Johnson, D., and London, J. 2018. [Crawl: an R package for fitting continuous-time correlated random walk models to animal movement data](#).
- Johnson, D.S., London, J.M., Lea, M.-A., and Durban, J.W. 2008. Continuous-time correlated random walk model for animal telemetry data. *Ecology* **89**(5): 1208-1215.
- Kareiva, P. and Odell, G., 1987. Swarms of predators exhibit "prey-taxis" if individual predators use area-restricted search. *The American Naturalist* **130**(2): 233-270.
- Karniski, C., Patterson, E.M., Krzyszczyk, E., Foroughirad, V., Stanton, M.A., and Mann, J. 2015. A comparison of survey and focal follow methods for estimating individual activity budgets of cetaceans. *Mar. Mamm. Sci.* **31**(3): 839-852.
- Lindgren, F., and Rue, H. 2015. Bayesian spatial modelling with R-INLA. *Journal of Statistical Software* **63**(19): 1-25.
- Lindgren, F., Rue, H., and Lindström, J. 2011. An explicit link between Gaussian fields and Gaussian Markov random fields: the stochastic partial differential equation approach. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* **73**(4): 423-498. doi:10.1111/j.1467-9868.2011.00777.x.
- Martin, P., Bateson, P.P.G., and Bateson, P. 1993. *Measuring behaviour: an introductory guide*. Cambridge University Press.
- McDonald, M.A., and Moore, S.E. 2002. Calls recorded from North Pacific right whales (*Eubalaena japonica*) in the eastern Bering Sea. *Journal of Cetacean Research and Management* **4**(3): 261-266.
- Mellinger, D.K., Stafford, K.M., Moore, S.E., Dziak, R.P., and Matsumoto, H. 2007. An overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans. *Oceanography* **20**(4): 36-45.
- 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 in Ecology and Evolution* **6**(3): 257-265.
- Nichol, L.M. and Shackleton, D.M., 1996. Seasonal movements and foraging behaviour of northern resident killer whales (*Orcinus orca*) in relation to the inshore distribution of salmon (*Oncorhynchus* spp.) in British Columbia. *Canadian Journal of Zoology* **74**(6): 983-991.
- Noren, D., Johnson, A., Rehder, D., and Larson, A. 2009. Close approaches by vessels elicit surface active behaviors by southern resident killer whales. *Endanger. Species Res.* **8**(3): 179-192.
- Noren, D.P., and Hauser, D.D.W. 2016. Surface-Based Observations Can Be Used to Assess Behavior and Fine-Scale Habitat Use by an Endangered Killer Whale (*Orcinus orca*) Population. *Aquat. Mamm.* **42**(2): 168-183. doi:10.1578/am.42.2.2016.168.
- 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. *Endanger. Species Res.* **37**: 105-118.
- Osborne, R.W. 1986. A behavioral budget of Puget Sound killer whales. *In Behavioral biology of killer whales*. Edited by B.C.K.J.S. Lockard. Alan R. Liss, New York. pp. 211-249.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. Edited by R.F.F.S. Computing, Vienna, Austria.

-
- Rankin, S., Norris, T.F., Smultea, M.A., Oedekoven, C., Zoidis, A.M., Silva, E., and Rivers, J. 2007. A visual sighting and acoustic detections of minke whales, *Balaenoptera acutorostrata* (Cetacea: Balaenopteridae), in nearshore Hawaiian waters. *Pac. Sci.* **61**(3): 395-398.
- Rechsteiner, E.U., Birdsall, C.F.C., Sandilands, D.W.D., Smith, I.U., Phillips, A.V., and Barrett-Lennard, L.G. 2013. Quantifying observer effort for opportunistically-collected wildlife sightings. Report of the Ocean Wise Coastal Ocean Research Institute program: Document ID **143**.
- Rice, A., Deecke, V.B., Ford, J.K., Pilkington, J.F., Oleson, E.M. and Hildebrand, J.A., 2017. Spatial and temporal occurrence of killer whale ecotypes off the outer coast of Washington State, USA. *Marine Ecology Progress Series* **572**: 255-268.
- Riera, A., Ford, J.K., and Ross Chapman, N. 2013. Effects of different analysis techniques and recording duty cycles on passive acoustic monitoring of killer whales. *The Journal of the Acoustical Society of America* **134**(3): 2393-2404.
- Riera, A., Pilkington, J.F., Ford, J.K., Stredulinsky, E.H. and Chapman, N.R., 2019. Passive acoustic monitoring off Vancouver Island reveals extensive use by at-risk Resident killer whale (*Orcinus orca*) populations. *Endangered Species Research* **39**: 221-234.
- Riddell, B.E., Brodeur, R.D., Bugaev, A.V., Moran, P.A.U.L., Murphy, J.M., Orsi, J.A., Trudel, M.A.R.C., Weitkamp, L.A., Wells, B.K. and Wertheimer, A.C., 2018. Ocean ecology of Chinook salmon. *Ocean Ecology of Pacific Salmon and Trout*, pp.555-696.
- Rue, H., Martino, S., and Chopin, N. 2009. Approximate Bayesian inference for latent Gaussian models by using integrated nested Laplace approximations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* **71**(2): 319-392. doi:10.1111/j.1467-9868.2008.00700.x.
- Seely, E., Osborne, R.W., Koski, K., and Larson, S. 2017. Soundwatch: eighteen years of monitoring whale watch vessel activities in the Salish Sea. *PLoS One* **12**(12): e0189764.
- Shields, M.W., Hysong-Shimazu, S., Shields, J.C. and Woodruff, J., 2018. Increased presence of mammal-eating killer whales in the Salish Sea with implications for predator-prey dynamics. *PeerJ* **6**:e6062.
- Širović, A., Hildebrand, J.A., Wiggins, S.M., McDonald, M.A., Moore, S.E., and Thiele, D. 2004. Seasonality of blue and fin whale calls and the influence of sea ice in the Western Antarctic Peninsula. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **51**(17-19): 2327-2344.
- Smith, C.R., Glover, A.G., Treude, T., Higgs, N.D. and Amon, D.J., 2015. Whale-fall ecosystems: recent insights into ecology, paleoecology, and evolution. *Annual Review of Marine Science* **7**: 571-596.
- Smolker, R.A., Richards, A.F., Connor, R.C., and Pepper, J.W. 1992. Sex differences in patterns of association among Indian Ocean bottlenose dolphins. *Behaviour* **123**(1-2): 38-69.
- Spiegelhalter, D.J., Best, N.G., Carlin, B.P., and Van Der Linde, A. 2002. Bayesian measures of model complexity and fit. *Journal of the royal statistical society: Series B (Statistical Methodology)* **64**(4): 583-639.
- Tyack, P.L., 2008. Implications for marine mammals of large-scale changes in the marine acoustic environment. *Journal of Mammalogy* **89**(3), pp.549-558.
-

-
- Vélez-Espino, L.A., Ford, J.K., Araujo, H.A., Ellis, G., Parken, C.K., and Sharma, R. 2015. Relative importance of chinook salmon abundance on resident killer whale population growth and viability. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems* **25**(6): 756-780.
- Ward, E.J., Holmes, E.E., and Balcomb, K.C. 2009. Quantifying the effects of prey abundance on killer whale reproduction. *J. Appl. Ecol.* **46**(3): 632-640. doi:10.1111/j.1365-2664.2009.01647.x.
- Wasser, S.K., Lundin, J.I., Ayres, K., Seely, E., Giles, D., Balcomb, K., Hempelmann, J., Parsons, K., and Booth, R. 2017. Population growth is limited by nutritional impacts on pregnancy success in endangered Southern Resident killer whales (*Orcinus orca*). *PLoS One* **12**(6): 22. doi:10.1371/journal.pone.0179824.
- Watson, J. 2020. Accounting for preferential sampling in the statistical analysis of spatio-temporal data. PhD Thesis. University of British Columbia.
- Watson, J., Joy, R., Tollit, D., Thornton, S.J., and Auger-Méthé, M. 2021. A general framework for estimating the spatio-temporal distribution of a species using multiple data types. *Ann. Appl. Stat.* **15**(4): 1872-1896.
- Wright, B.M., Ford, J.K., 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.*). *Movement Ecology* (**1**), pp.1-18.

8. TABLEAUX

Tableau 1. Descriptions des états comportementaux des épaulards utilisées pour les études comportementales du MPO, adaptées de Ford (1989), Noren et al. (2009) et Holt et al. (2013). Notez que tous les indices d'un comportement donné ne seront pas toujours observés pour cet état comportemental (voir Noren et Hauser 2016).

État comportemental	Description
Déplacements	Réguliers Mouvement directionnel à un rythme régulier (2-5 nœuds, généralement environ 4 nœuds), plongées de courte durée (< 30 sec), souvent avec la coordination de tout le groupe.
	Rapides Mouvement directionnel à un rythme rapide (6 nœuds ou plus), plongées de courte durée (< 30 sec), souvent avec la coordination de tout le groupe; peut inclure le marsouinage.
Comportements fourragers	Phase de recherche Mouvement directionnel, les individus du groupe sont dispersés, plongées de plus longue durée (> 1 minute), un motif de mouvement global en zigzag de la trajectoire de l'individu peut être discerné.
	Phase active Poursuite active (chasse de poissons), capture (mise à mort) et consommation de proies; le comportement de poursuite comprend l'effort de pointe (changements soudains de vitesse ou de direction), les plongées à grande arche, la nage non directionnelle, les déplacements à la surface et les plongées de longue durée (> 1 minute).
Repos	Stationnaire ou nageant à des vitesses d'environ 2 nœuds ou moins, souvent avec une synchronisation respiratoire et une proximité des individus au sein du groupe (serré); les groupes se reposent généralement en ligne serrée côte à côte (« ligne de repos »)
Social	Interaction avec d'autres individus ou avec des objets inanimés (p. ex., jeu dans les varechs); peut inclure des comportements sexuels (c.-à-d., pénis exposé) et des comportements actifs en surface (p. ex., sauts hors de l'eau, sauts d'observation); mouvement souvent non directionnel

Tableau 2. Paramètres du modèle INLA pour le suivi ciblé (SC) et l'enquête sur le comportement de groupe (ECG) du MPO et les études comportementales de la NOAA analysés à l'aide de champs aléatoires gaussiens et de Markov (CAGM).

Étude	Maillage temporel		CAGM spatial	A priori de complexité pénalisée			
				Temps		Espace	
	Résolution	Répétition		Durée (min.)	Probabilité	Durée (km)	Probabilité
SC MPO (2018-2020)	5 min.	Suivi	Stationnaire	28	0,975	4,7	0,975

Étude	Maillage temporel		CAGM spatial	A priori de complexité pénalisée			
	Résolution	Répétition		Temps		Espace	
				Durée (min.)	Probabilité	Durée (km)	Probabilité
ECG MPO (2018-2020)	10 min.	Date	Stationnaire	82	0,975	4,7	0,975
NOAA (2006)	30 min.	Date	Non stationnaire	169	0,975	27,5	0,975
NOAA (2007-2009)	30 min.	Date	Non stationnaire	158	0,975	26,5	0,975

Tableau 3. Périodes d'enregistrement acoustique à chaque emplacement et pour chaque mois d'analyse. Les mois dont les données sont enregistrées sans interruption sont qualifiés de « Complètes »; sinon, les jours du mois avec des enregistrements sont indiqués.

Année	Mois	Banc Swiftsure	Port Renfrew	Rivière Jordan	Sooke	Détroit de Haro	Passage Boundary
2018	Mai	Complet	Complet	Complet	Complet	Complet	Complet
	Juin	Complet	1-20	1-6*, 9-30*	Complet	Complet	Complet
	Juillet	1-29*	Aucun	Complet	Complet	Complet	Complet
	Août	16-31*	19-31*	Complet	Complet	Complet	Complet
	Septembre	Complet	Complet	Complet	Complet	Complet	Complet
	Octobre	Complet	Complet	Complet	Complet	Complet	Complet
2019	Mai	Complet	Complet	Complet	1-18, 31	Complet	Complet
	Juin	Complet	Complet	Complet	Complet	Complet	Complet
	Juillet	Complet	Complet	Complet	Complet	Complet	1-2, 18-31
	Août	Complet	Complet	Complet	1-9, 17-31	Complet	Complet
	Septembre	Complet	Complet	Complet	1-7, 10, 13-15, 17-30	Complet	Complet
	Octobre	Complet	Complet	Complet	1, 18-19, 22-31	Complet	Complet
2020	Mai	Aucun	Aucun	14-31	Aucun	Aucun	12-31
	Juin	21-30	21-30	Complet	Aucun	Aucun	Complet
	Juillet	Complet	Complet	Complet	Aucun	15-31	Complet
	Août	Complet	Complet	Complet	Complet	Complet	Complet
	Septembre	Complet	Complet	Complet	Complet	Complet	Complet
	Octobre	1-26	1-25	1-22	1-23	1-28	1-29

Tableau 4. Résumé de la collecte de données acoustiques et des méthodes d'analyse utilisées pour évaluer l'occurrence acoustique des épaulards résidents du sud au banc Swiftsure de 2009 à 2011 (Ford et al. 2017; Riera et al. 2019) et de 2018 à 2019 (présente étude) entre le 1^{er} mai et le 31 octobre.

Variable de l'étude	Ford et al. 2017, Riera et al. 2019	La présente étude
Dates d'enregistrement	Août 2009 à juillet 2011	Mai à octobre 2018-2019
Lacunes statistiques	Mai à juillet 2009 Août à octobre 2011 ^a	29 juillet au 16 août 2018 (18 j) ^b
Lieu de mouillage	48° 31' N, 124° 56' O	48° 31' N, 124° 56' O
Système d'enregistrement acoustique	<ul style="list-style-type: none"> AURAL-M2 (Autonomous Underwater Recorder for Acoustic Listening-Model 2; <i>Multi Électronique</i>) Hydrophone HTI-96-MIN (High Tech) 	<ul style="list-style-type: none"> AMAR G4 (Autonomous Multichannel Acoustic Recorder; <i>Jasco Applied Sciences</i>) Hydrophone GeoSpectrum Technologies M36-100
Sensibilité/réponse nominale du récepteur	-165 dBV/ μ Pa	-165 dBV/ μ Pa
Profondeur de mouillage	72 m	74 m
Distance au-dessus du plancher océanique	10 m	2 m
Fréquence/taux d'échantillonnage	16 kHz	256 kHz
Calendrier d'enregistrement ^c	<p>Tiers du cycle de service</p> <ul style="list-style-type: none"> Juillet 2009 à mars 2010 : Durée du cycle de 30 minutes (9 ou 10 min en marche/20 ou 21 min à l'arrêt) Mars 2010 à juillet 2011 : Durée du cycle de 15 minutes (4,5 min en marche/10,5 min à l'arrêt) 	Continu
Méthodes de vérification	<ul style="list-style-type: none"> Première année : inspection manuelle de tous les enregistrements Deuxième année : détecteur automatique (application SONS; <i>Laboratori d'Aplicacions Bioacústiques</i>) et inspection manuelle des enregistrements identifiés comme contenant des vocalisations d'épaulards 	Détecteur automatisé (sifflements et de gémissements de PAMGuard) et inspection manuelle des enregistrements identifiés comme contenant des vocalisations d'épaulards
Paramètres des détecteurs	Le détecteur SONS a recherché la bande de fréquence de 8,2 kHz	Le détecteur PAMGuard a recherché la bande de fréquence de 0,8 à 30 kHz

^a Enregistrements disponibles, mais n'ayant pas été analysés

^b La durée de vie de la batterie s'est épuisée plus tôt que prévu, ce qui a entraîné une lacune statistique.

^c Lors de l'exploration des données, les données acoustiques de 2018-2019 ont été sous-échantillonnées pour imiter le calendrier d'enregistrement du cycle de travail utilisé dans l'ensemble de données antérieur (2009-2011); aucune différence dans les jours de détection mensuels de l'épaulard résident du sud n'a été identifiée.

Tableau 5. Paramètres utilisés pour le détecteur de sifflements et de gémissements de PAMGuard qui permet de détecter automatiquement les appels pulsés des orques.

Catégorie de paramètres	Paramètre	Réglage
Filtre	Type de filtre	IIR Chebyshev
	Réponse de filtre – Bande passante	Passe-haut : 600 Hz Passe-bas : 48 000 Hz
	Ordre du filtre	4
	Ondulation de la bande passante	2.0
Transformation de Fourier rapide (TFR – spectrogramme)	Taux d'échantillonnage	250 000 Hz
	Longueur de TFR	1024
	Saut de TFR	512 (par défaut – 50 %)
	Fenêtre	Hann
	Résolution de fréquence	244,14 Hz
	Résolution temporelle	4,10 ms
	Dimension du pas de temps	2,05 ms
Suppression du clic	ARRÊT	-
Suppression du bruit spectral	ARRÊT	-
Détecteur de sifflements et de gémissements – Détection	Fréquence minimale	800 Hz
	Fréquence maximale	30 000 Hz
	Type de connexion	Connect 8 (côtés et diagonales)
	Longueur minimale	25 créneaux temporels
	Taille totale minimale	25 pixels
	Croisement et jointement	Rétablissement des liens à travers les joints
	Longueur transversale maximale	25 créneaux temporels

Catégorie de paramètres	Paramètre	Réglage
Détecteur de sifflements et de gémissements – Bruit et seuillage	Longueur médiane du filtre	61
	Soustraction moyenne	0.02
	Lissage par noyau gaussien	EN MARCHE
	Seuillage	5,0 dB
Alarme	Type de compte	Unique
	Durée du compte	6,0 s
	Compte Amber	2,0
	Compte Red	3,0
	Écart minimum	0,5 s

Tableau 6. Les valeurs du critère d'information de déviance (CID) et du delta CID de tous les modèles d'occurrence de l'épaulard résident du sud testés avec les composants du modèle résumés dans les colonnes.

Modèle	CID	Δ CID	Champ partagé	Champ pour L
0	1380	6419	x	x
3	-4887	152	Spatial	Spatial
1	-4818	222	Spatial	x
2	-4967	72	Spatio-temporel	x
4	-5039	0	Spatio-temporel	Spatial

Tableau 7. Les suivis ciblés effectués sur les individus d'épaulard résident du sud par le MPO en 2018-2020. ID représente la désignation alphanumérique de l'épaulard individuel suivi.

ID	2018	2019	2020	Total
J16	3	1	2	6
J17	2	0	0	2
J19	2	0	1	3
J22	2	1	0	3
J31	2	2	3	7
J35	1	0	0	1
J37	1	1	1	3
J39	1	0	0	1
J41	2	0	0	2
J46	0	1	0	1
J51	1	0	0	1
K12	1	1	1	3
K14	0	1	2	3
K16	0	1	2	3
K20	0	0	1	1
K22	1	1	1	3
K27	0	1	4	5
K43	0	0	1	1
L103	2	0	3	5
L22	0	1	2	3
L25	0	0	1	1
L47	0	0	1	1
L54	0	0	1	1
L55	0	0	2	2
L72	2	0	1	3
L77	1	0	2	3
L82	0	0	3	3

ID	2018	2019	2020	Total
L83	1	0	0	1
L85	0	0	1	1
L86	0	0	3	3
L88	0	0	1	1
L90	1	1	0	2
L91	2	1	3	6
L94	2	1	5	8
TOTAL	30	15	48	93

Tableau 8. Résumé des observations pour le suivi ciblé (SC) et l'enquête sur le comportement de groupe (ECG) du MPO, et les études comportementales de la NOAA.

Étude	Nb d'observations			Effort-jour	Suivis ciblés	Individus uniques suivis	Résumé des suivis/enquêtes					
	Total	Déplacements	Comportements fourragers				Durée (min)		Nb d'observations		Temps entre les observations (min)	
							Moyenne	Plage	Moyenne	Plage	Moyenne	Plage
SC MPO (2018-20)	889	418	325	41	93	34	53	5-120	9.6	1-22	5.6	2-25
ECG MPO (2018-20)	1131	397	424	55	S.O.	S.O.	112	5-538	7.0	1-104	8.7	1-108
NOAA (2006)	571	402	120	38	123	33*	46.8	5-241	4.2	1-12	17.5	3-193
NOAA (2007-2009)	373	122	236	37	S.O.	S.O.	199	5-447	9.7	1-20	22.8	1-167

* Ce chiffre représente un compte minimum, car six individus non identifiés ont été observés dans l'étude NOAA de 2006.

Tableau 9. Résumé de l'autocorrélation spatiale (km) et temporelle (min) au sein du suivi ciblé (SC) et de l'enquête sur le comportement de groupe (ECG) du MPO et des études comportementales de la NOAA, comme indiqué par les hyperparamètres du modèle comportemental des champs aléatoires gaussien et de Markov (CAGM) à partir de la répartition antérieure.

Étude	CAGM	Moyenne	Écart-type	Quantile 0,025	Médiane	Quantile 0,975	Mode
SC MPO	Temps	60,7	14,7	37,8	58,7	95,1	54,7
	Espace	14,0	6,8	5,4	12,5	31,5	10,1
ECG MPO	Temps	57,8	13,2	36,9	56,0	88,5	52,5
	Espace	7,0	3,2	2,5	6,5	14,8	5,4
NOAA (2006)	Temps	88,0	47,7	24,3	78,9	206,0	59,4
	Espace	179,5	1,7	65,1	176,7	532,7	166,8
NOAA (2007- 2009)	Temps	179,2	41,1	111,8	174,7	272,5	166,1
	Espace	19,6	2,7	3,1	19,2	143,4	17,6

Tableau 10. Résumé du nombre de jours par mois avec des détections acoustiques d'épaulards résidents du sud, du nombre de jours d'effort (ou de surveillance) par mois et du pourcentage de jours de détection par mois au banc Swiftsure de 2009 à 2011 et de 2018 à 2019. Les données de 2009-2011 sont une courtoisie du Programme de recherche sur les cétacés du MPO (Ford et al. 2017; Riera et al. 2019).

Année	Mois	Nombre de jours d'effort	Nombre de jours de détection	% de jours de détection
2009	Août	31	11	35,5
2009	Sept.	30	9	30,0
2009	Oct.	31	5	16,1
2010	Mai	31	9	29,0
2010	Juin	30	19	63,3
2010	Juill.	31	14	45,2
2010	Août	31	10	32,3
2010	Sept.	30	6	20,0
2010	Oct.	31	7	22,6
2011	Mai	16	5	31,3
2011	Juin	30	17	56,7
2011	Juill.	31	21	67,7
2018	Mai	31	1	3,2
2018	Juin	30	9	30,0
2018	Juill.	29	19	65,5
2018	Août	16	15	93,8
2018	Sept.	30	13	43,3
2018	Oct.	31	21	67,7
2019	Mai	31	1	3,2
2019	Juin	30	1	3,3
2019	Juill.	31	12	38,7
2019	Août	31	25	80,7
2019	Sept.	30	15	50,0
2019	Oct.	31	7	22,6

Tableau 11. Jours de détection acoustique (dét.) par mois des épaulards résidents du sud, nombre de rencontres (renc.) et durée des rencontres (dur.) en heures (moyenne et écart-type) pour trois emplacements (Swiftsure, Rivière Jordan, Port Renfrew) de mai à octobre en 2018 et 2019.

Emplacement	Année	Mois	Nombre de jours d'effort	Nombre de jours de dét.	% de jours de dét.	Nombre de renc.	Moyenne dur. (h)	écart-type de dur. (h)
SWIFTSURE	2018	Mai	31	1	3,2	1	3,5	-
SWIFTSURE	2018	Juin	30	9	30,0	10	5,8	3,8
SWIFTSURE	2018	Juill.	29	19	65,5	20	6,6	5,0
SWIFTSURE	2018	Août	16	15	93,8	27	8,2	5,6
SWIFTSURE	2018	Sept.	30	13	43,3	16	3,6	2,1
SWIFTSURE	2018	Oct.	31	21	67,7	17	5,9	4,7
PORT RENFREW	2018	Mai	31	2	6,5	2	3,1	3,5
PORT RENFREW	2018	Juin	20	7	35,0	7	3,1	3,4
PORT RENFREW	2018	Juill.	0	-	-	-	-	-
PORT RENFREW	2018	Août	13	10	76,9	13	3,7	2,7
PORT RENFREW	2018	Sept.	30	20	66,7	28	2,2	1,9
PORT RENFREW	2018	Oct.	31	21	67,7	23	2,8	1,7
RIVIÈRE JORDAN	2018	Mai	31	1	3,2	1	1,6	-
RIVIÈRE JORDAN	2018	Juin	28	7	25,0	8	2,9	0,9
RIVIÈRE JORDAN	2018	Juill.	31	9	29,0	9	1,9	1,8
RIVIÈRE JORDAN	2018	Août	31	12	38,7	10	2,8	2,1
RIVIÈRE JORDAN	2018	Sept.	30	8	26,7	7	2,9	1,7
RIVIÈRE JORDAN	2018	Oct.	31	18	58,1	24	2,4	1,7
SWIFTSURE	2019	Mai	31	1	3,2	1	0,1	-
SWIFTSURE	2019	Juin	30	1	3,3	1	2,3	-
SWIFTSURE	2019	Juill.	31	12	38,7	13	3,1	2,3
SWIFTSURE	2019	Août	31	25	80,7	37	4,2	3,9

Emplacement	Année	Mois	Nombre de jours d'effort	Nombre de jours de dét.	% de jours de dét.	Nombre de renc.	Moyenne dur. (h)	écart-type de dur. (h)
SWIFTSURE	2019	Sept.	30	15	50,0	24	2,1	1,8
SWIFTSURE	2019	Oct.	31	7	22,6	10	2,0	1,3
PORT RENFREW	2019	Mai	31	0	0,0	0	-	-
PORT RENFREW	2019	Juin	30	0	0,0	0	-	-
PORT RENFREW	2019	Juill.	31	9	29,0	8	3,1	3,1
PORT RENFREW	2019	Août	31	22	71,0	35	3,3	2,7
PORT RENFREW	2019	Sept.	30	17	56,7	21	4,2	3,8
PORT RENFREW	2019	Oct.	31	8	25,8	11	2,1	1,8
RIVIÈRE JORDAN	2019	Mai	31	1	3,2	1	2,1	-
RIVIÈRE JORDAN	2019	Juin	30	0	0,0	0	-	-
RIVIÈRE JORDAN	2019	Juill.	31	2	6,5	2	1,9	0,7
RIVIÈRE JORDAN	2019	Août	31	6	19,4	6	2,8	1,9
RIVIÈRE JORDAN	2019	Sept.	30	8	26,7	10	2,4	1,7

9. FIGURES

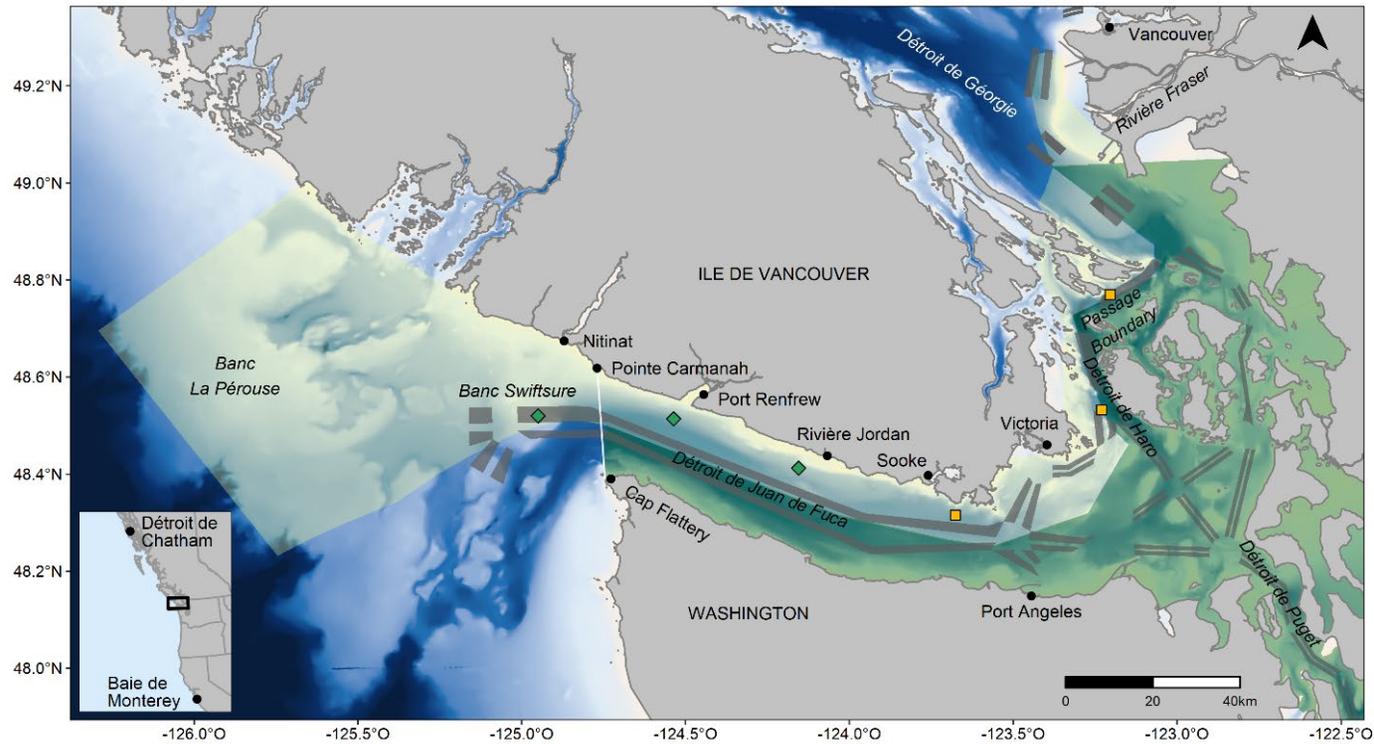


Figure 1. Les eaux autour du sud de l'île de Vancouver, en Colombie-Britannique. Les zones ombragées délimitent l'habitat essentiel de l'épaulard résident du sud dans les eaux canadiennes (jaune) et américaines (vert). Les voies de navigation sont indiquées en gris. Les losanges verts correspondent aux emplacements des déploiements d'enregistreurs acoustiques utilisés dans cette étude; les carrés jaunes correspondent aux emplacements des enregistreurs pour lesquels des analyses sont en cours. La ligne blanche représente la limite occidentale de la mer des Salish; les eaux situées à l'est de Sooke sont appelées « mer des Salish intérieure » dans ce document. Les eaux situées à l'ouest de la ligne blanche sont appelées « zone de Swiftsure ».

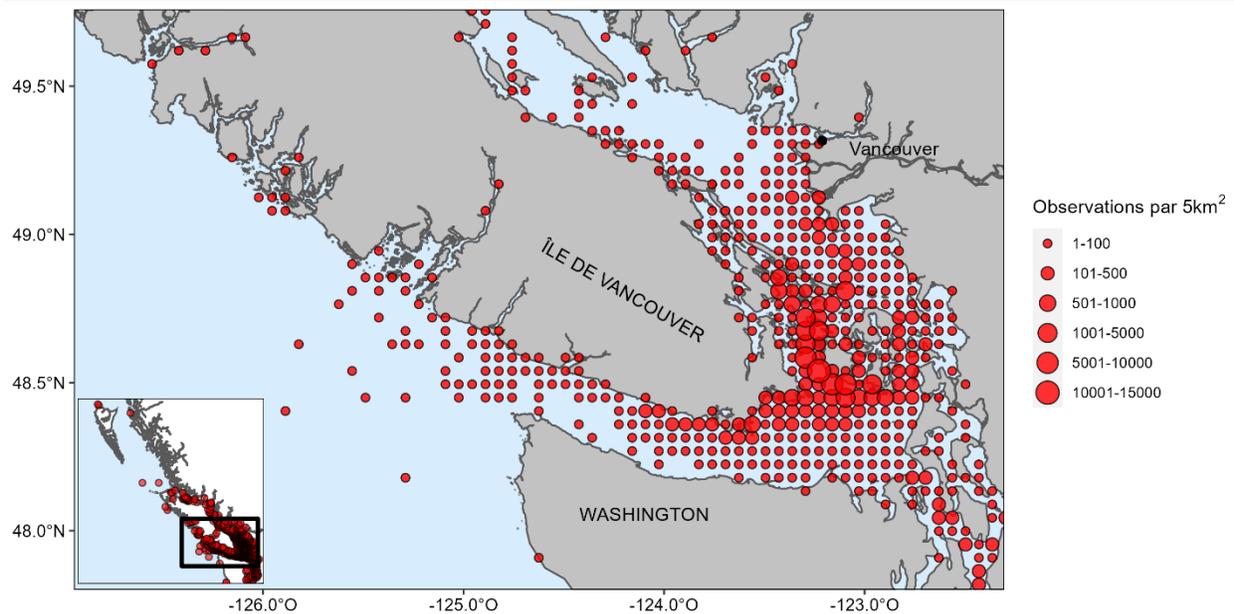
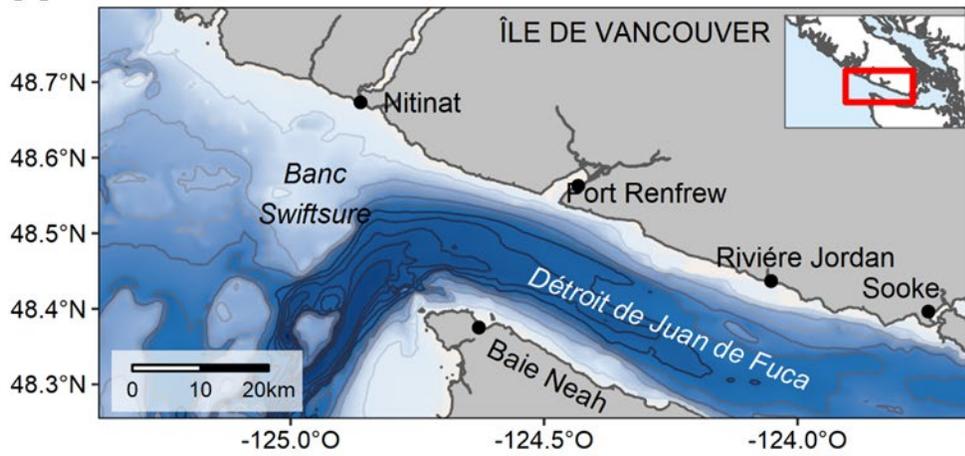
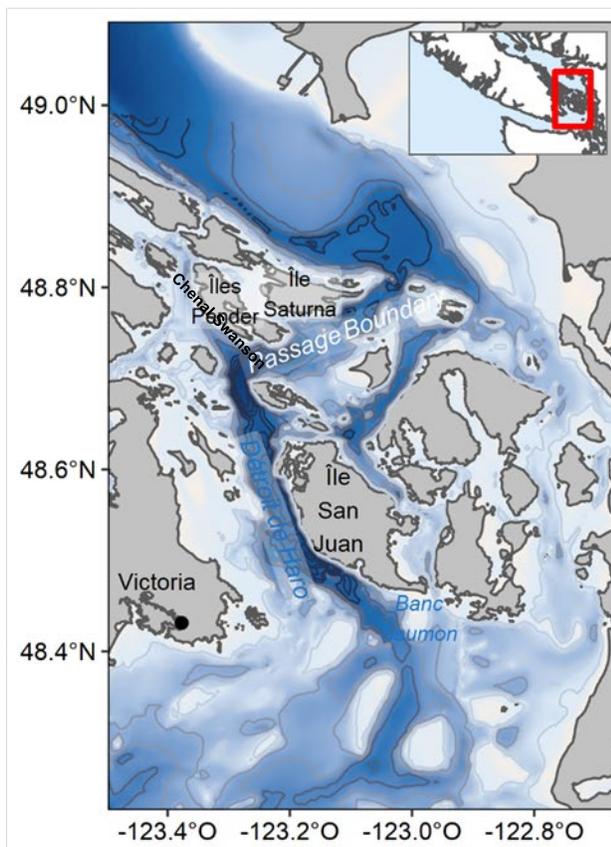


Figure 2. Répartition des observations et des rencontres avec des épaulards résidents du sud ($n = 79\ 231$), d'après Ford et al. (2017). Les sources de données comprennent les rencontres du Programme de recherche sur les cétacés du MPO (1973-2014), les observations du BC Cetacean Sightings Network (2000-2015) et les observations d'OrcaMaster (1990-2015). La carte en médaillon ne comprend pas les rencontres dans le sud-est de l'Alaska ni celles au sud de l'État de Washington.

A

Profondeur du contour

-50
-100
-150
-200
-250

B

Profondeur

-50
-100
-200
-300
-400

Figure 3. Détails bathymétriques pour la zone de Swiftsure et certaines parties de la mer des Salish intérieure.

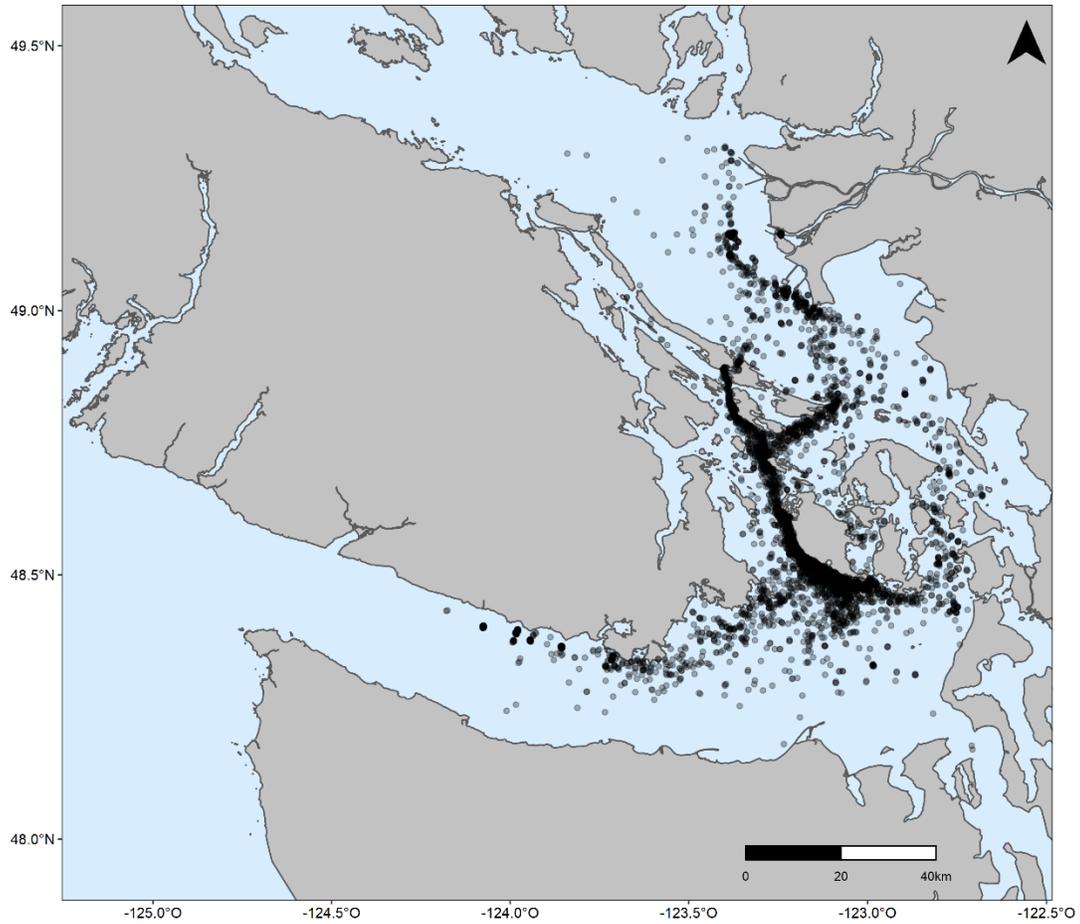


Figure 4. Emplacement des rapports d'observation de la catégorie des observateurs de baleines extraits des bases de données du BC Cetacean Sightings Network et d'OrcaMaster de mai à octobre, de 2009 à 2018 (les doublons ont été supprimés). Les cercles gris représentent les observations; les endroits où les observations se chevauchent apparaissent en noir dans la figure.

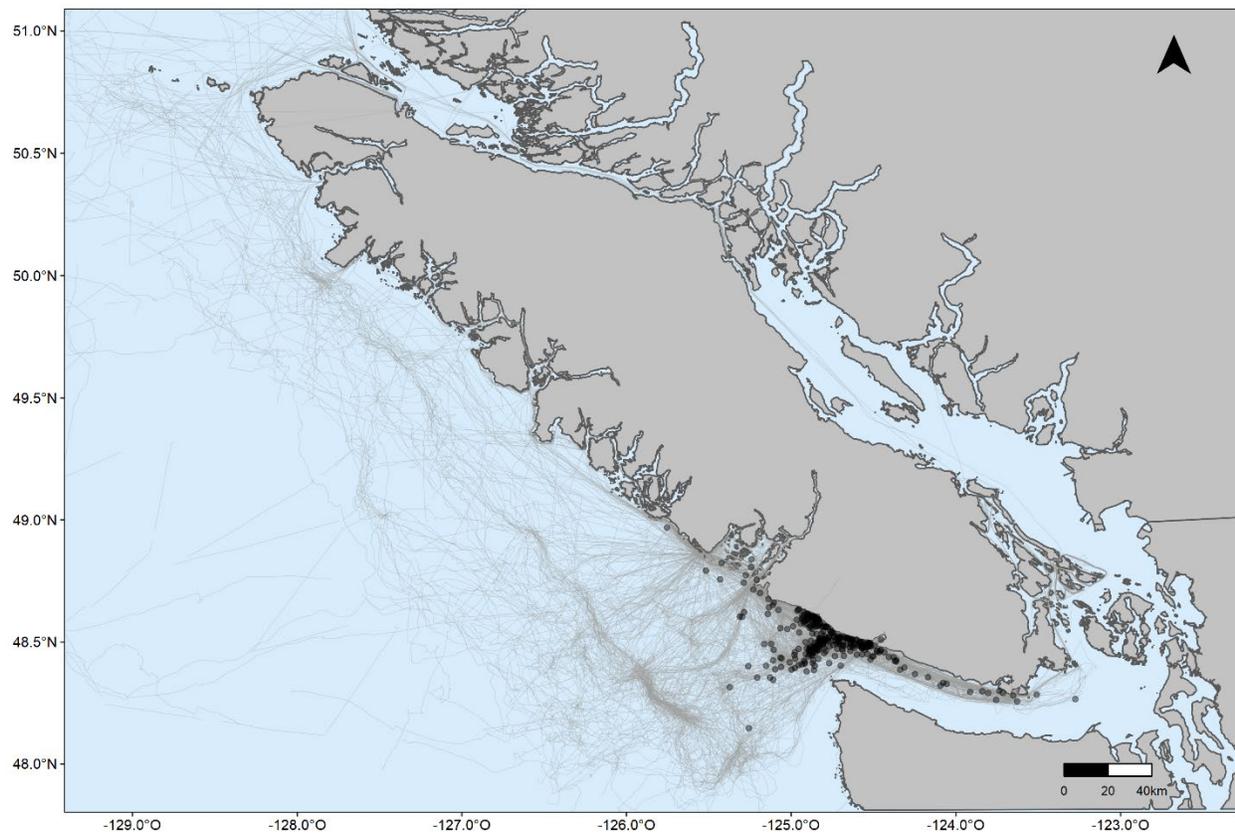


Figure 5. Données d'observations du MPO non corrigées en fonction de l'effort (lignes grises) de mai à octobre, 2009-2020. Les rencontres d'épaulards résidents du sud (cercles gris pleins) sont définies comme l'identification positive d'un ou de plusieurs membres de la population d'épaulards résidents du sud à un endroit unique un jour donné. Les emplacements dont les rencontres se chevauchent apparaissent en noir dans la figure.

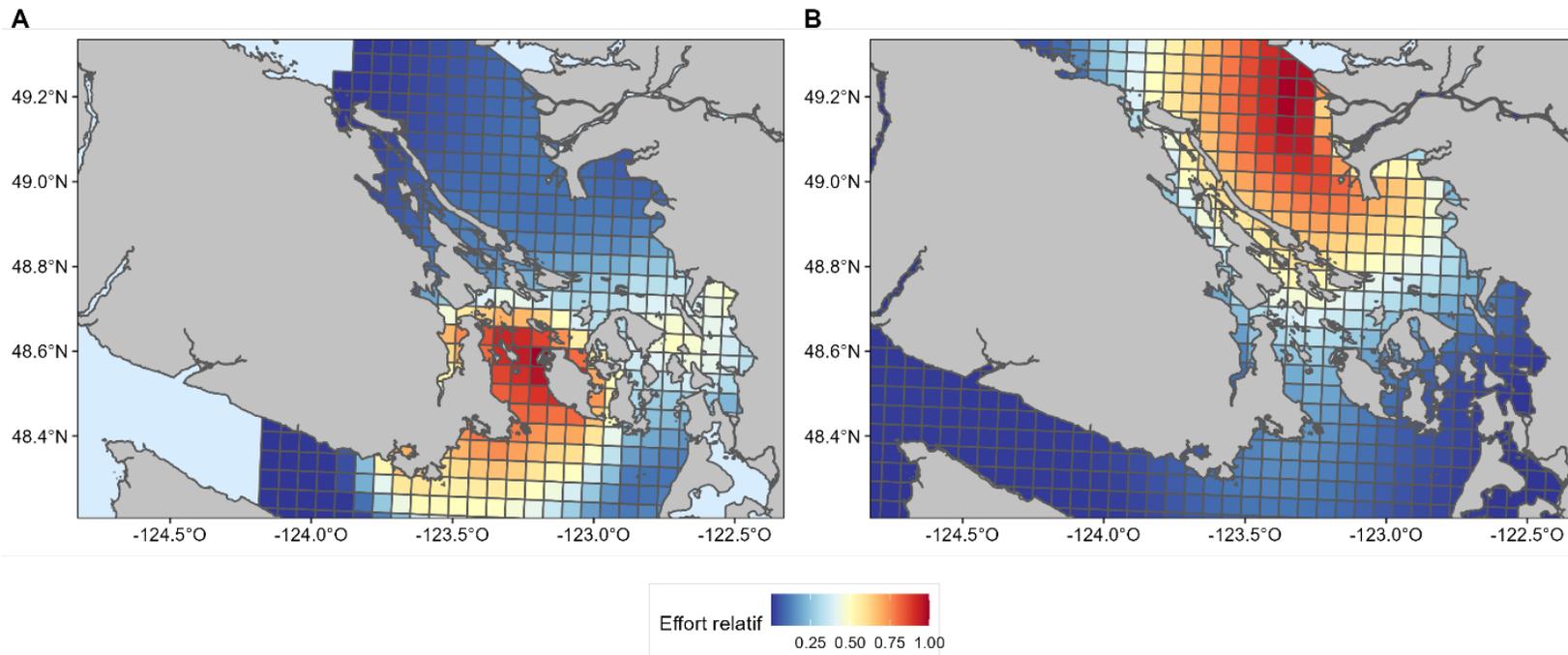


Figure 6. Grille d'effort (25 km^2) pour OrcaMaster (à gauche) et BC Cetacean Sightings Network (à droite) utilisée dans l'analyse de la plateforme de données ponctuelles. Les grilles ont été élaborées en reconstruisant et en combinant la distribution de l'effort pour sept groupes d'observateurs afin de générer une valeur totale de l'effort pour chaque cellule de la grille, comme décrit dans Rechsteiner et al. (2013).

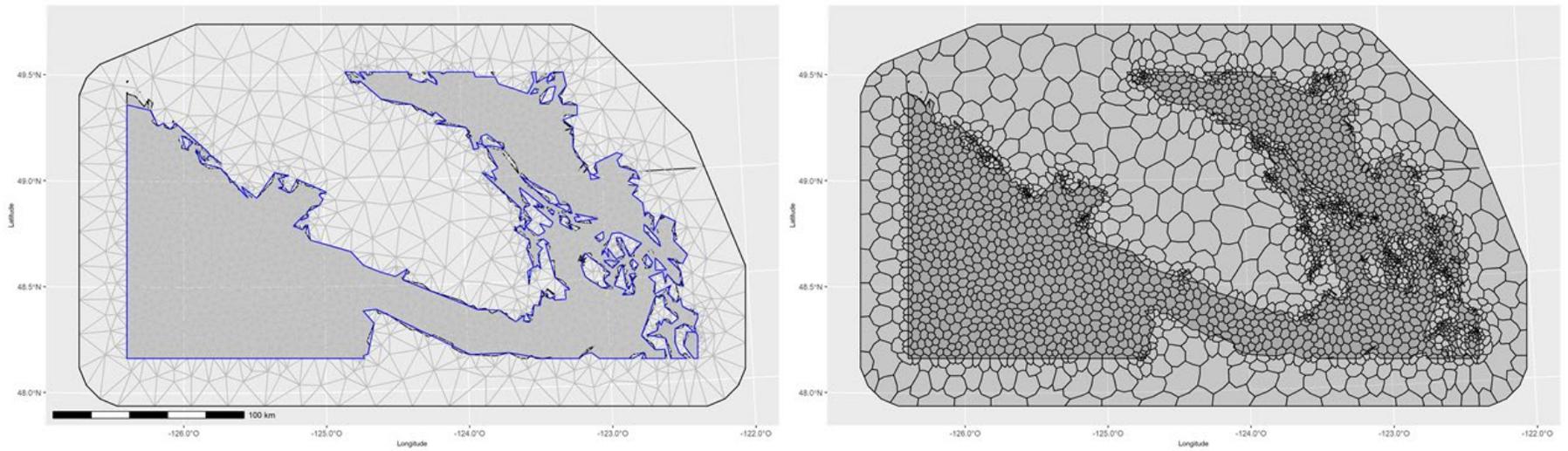


Figure 7. A) Maillage de calcul et B) et le maillage double correspondant, formé en construisant des polygones de Voronoï autour des sommets du maillage. Les polygones constituent les points d'intégration utilisés pour cartographier l'effort des observateurs et les observations d'épaulards résidents du sud.

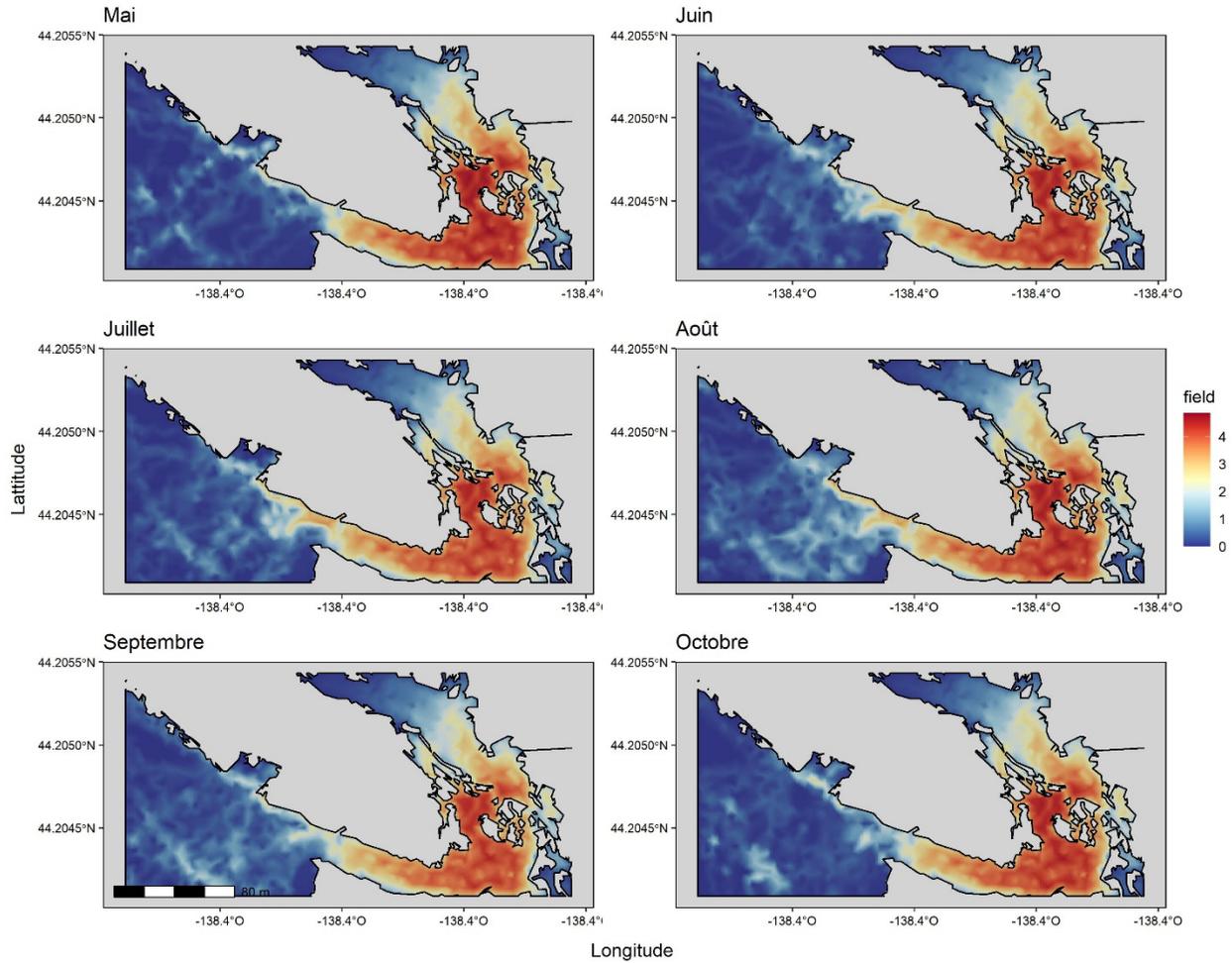


Figure 8. Le logarithme de l'effort total de recherche (h), effort combiné du MPO et des OB, estimé pour chaque mois et additionné sur toutes les années pour le groupe J.

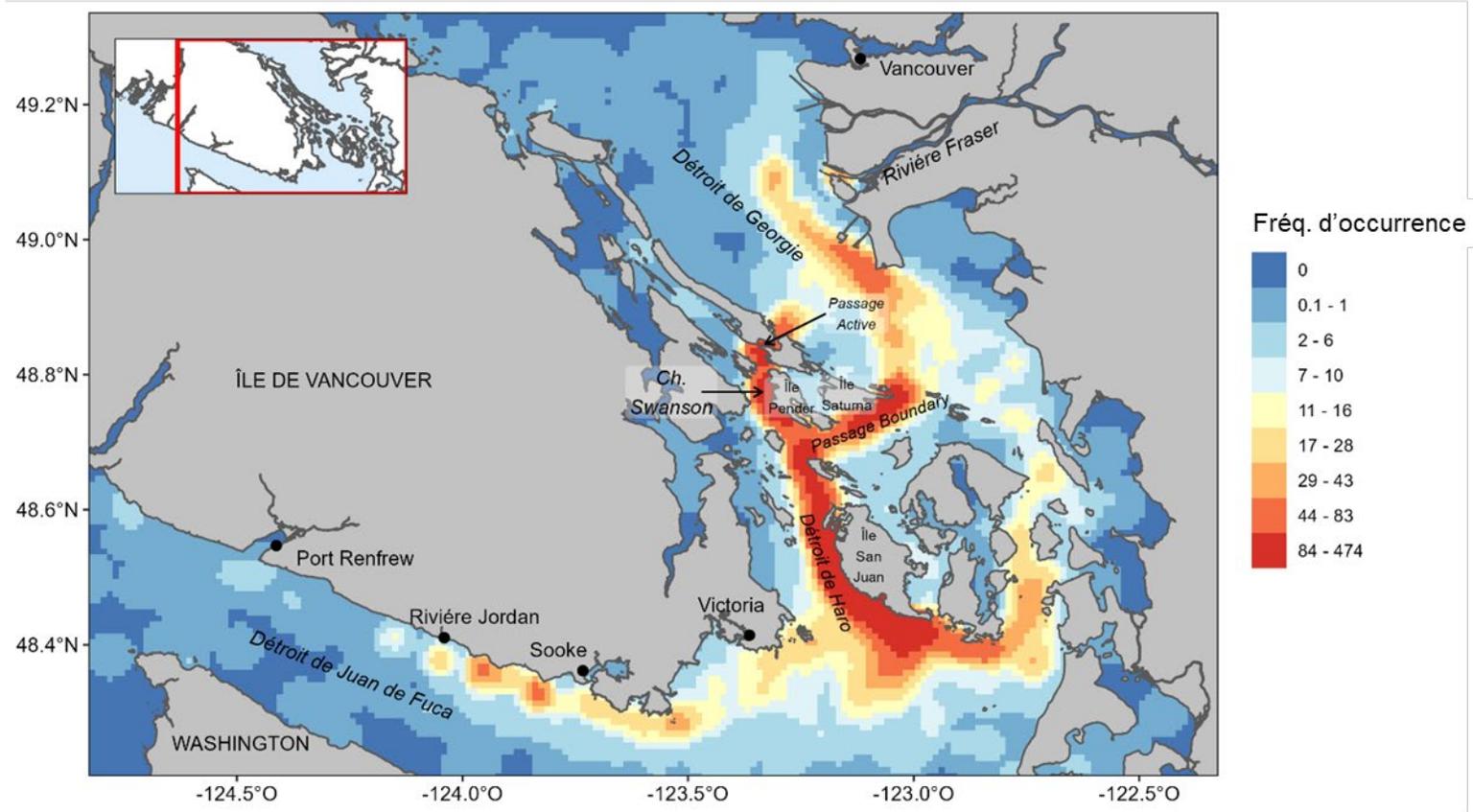


Figure 9. Fréquence annuelle d'occurrence de l'épaulard résident du sud de mai à octobre telle que prédite par la plateforme ponctuelle 2009-2018 (BC Cetacean Sightings Network/OrcaMaster) des observations ajustées à un modèle de densité par noyau.

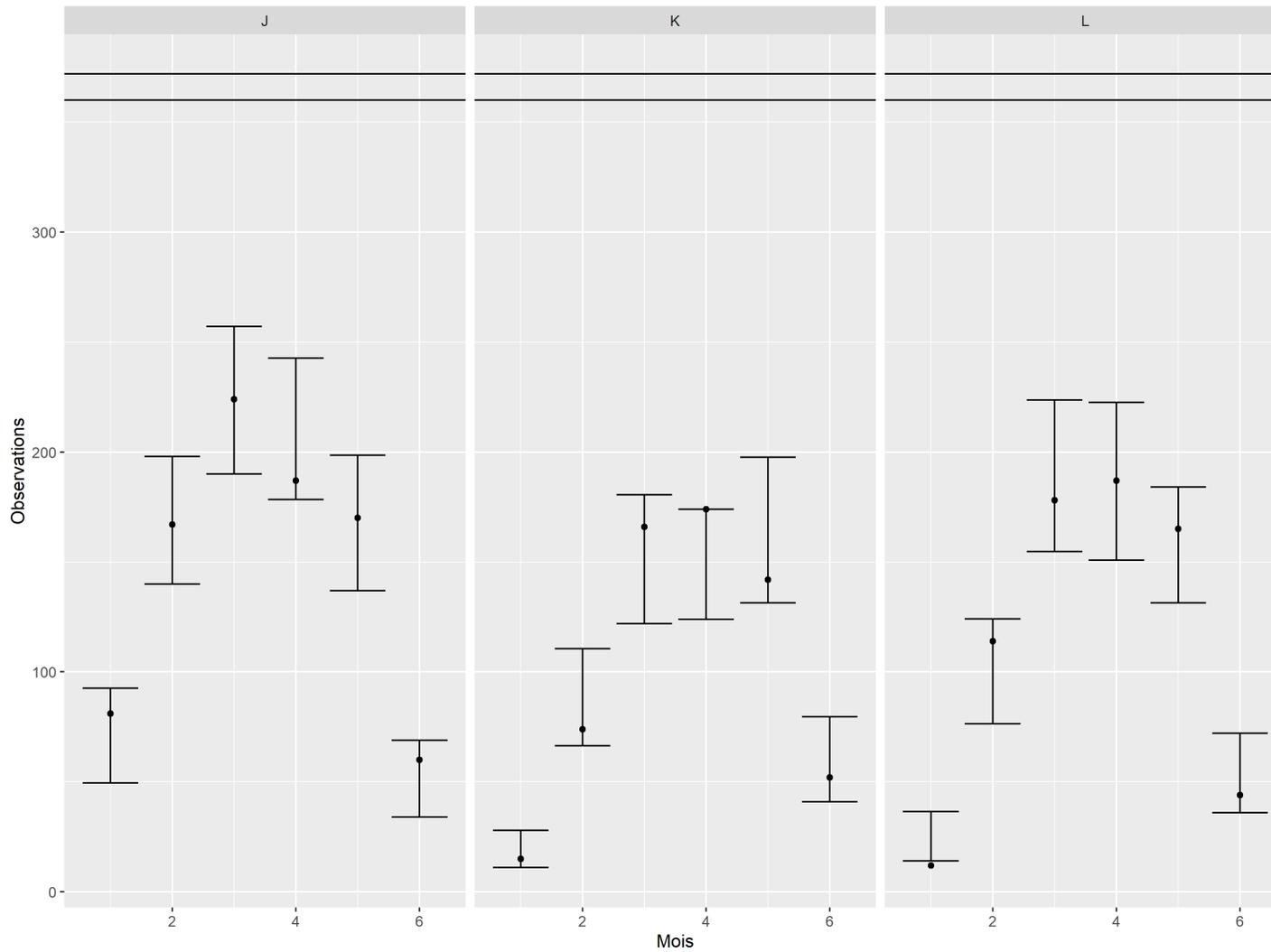


Figure 10. Estimations par le modèle du nombre total observé d'observations faites par mois pour chaque groupe (J, K et L) avec les intervalles de crédibilité à 95 % a posteriori. Les lignes horizontales indiquent le nombre maximal possible d'observations qui pourraient être faites dans les mois comptant 30 et 31 jours, respectivement.

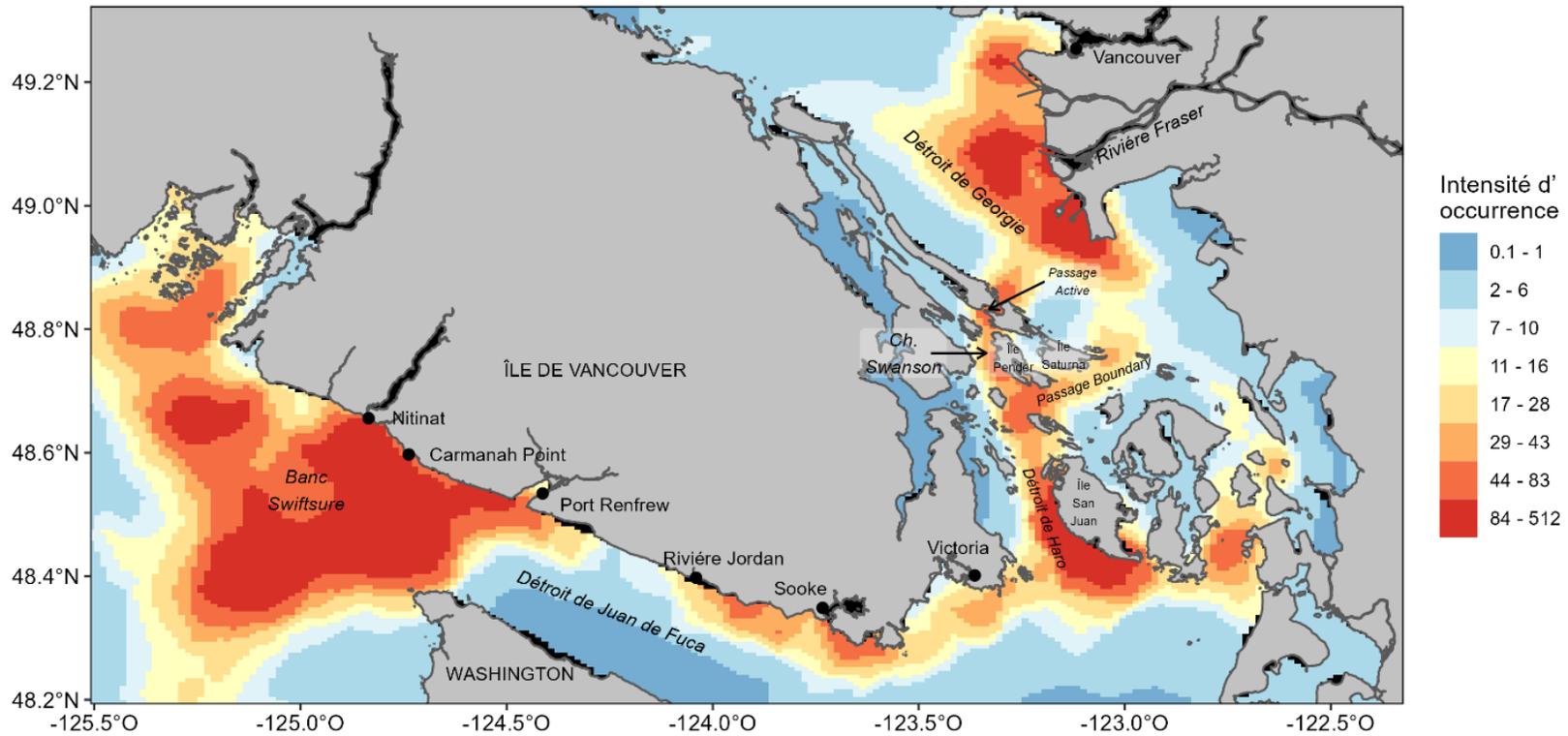


Figure 11. Intensité d'occurrences annuelle de l'épaulard résident du sud, estimée par le modèle d'occurrence de l'épaulard résident du sud à l'aide des données combinées des OB et du MPO pour les mois de mai à octobre, 2009-2020.

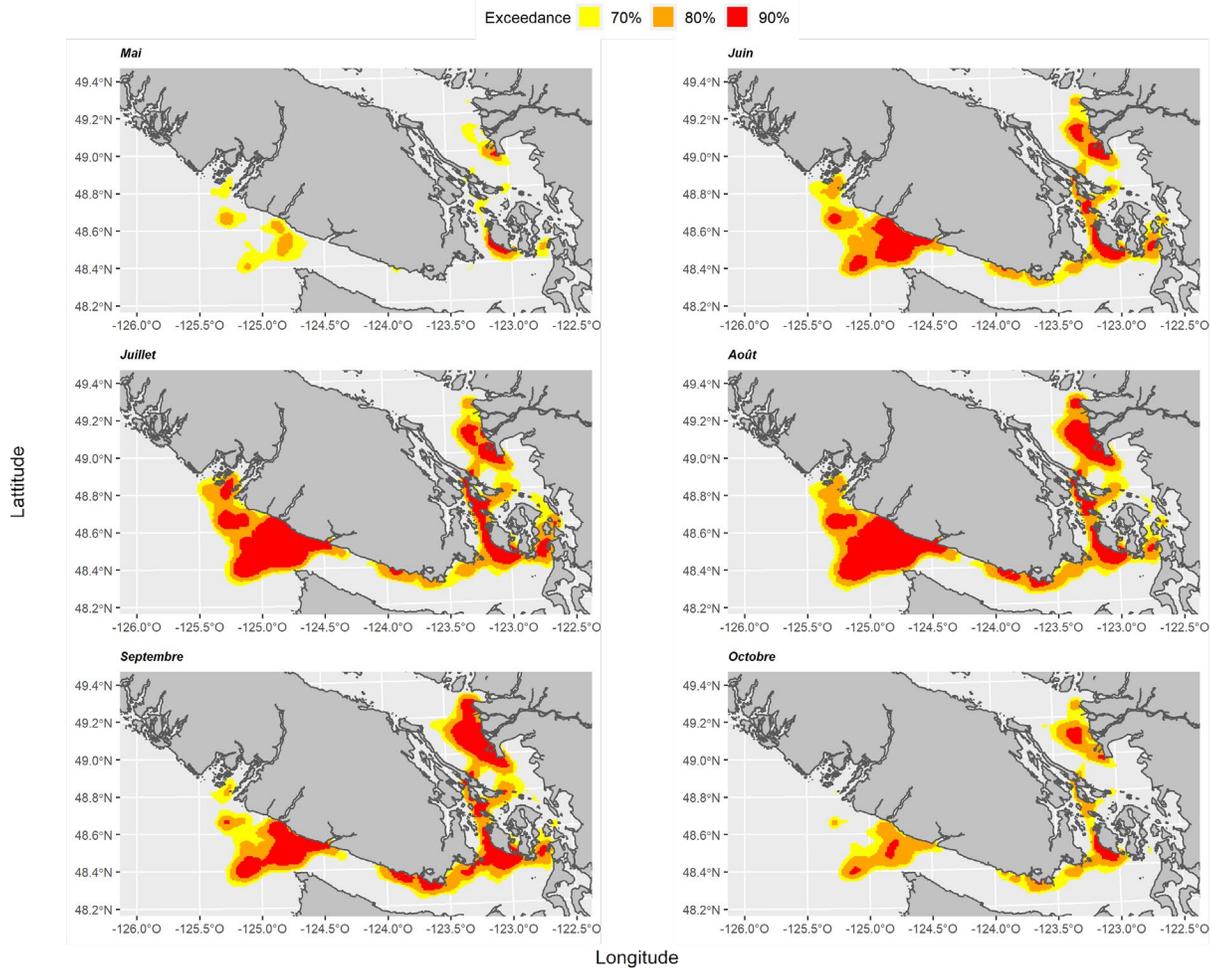


Figure 12. Prévission mensuelle de la préférence d'habitat de l'épaulard résident du sud lorsqu'il se trouve dans son habitat essentiel, en utilisant les données de tous les mois d'été (mai à octobre) pour estimer les seuils de préférence. Le nombre prévu d'observations d'épaulards résidents du sud par unité d'effort de recherche à un endroit donné est appelé l'intensité d'occurrences de l'épaulard résident du sud. Le polygone de 90 % (rouge) représente les zones où les valeurs d'intensité d'occurrences d'épaulards résidents du sud sont les plus élevées sur la période de six mois, l'intensité décroissante étant illustrée par les polygones de 80 % (orange) et 70 % (jaune).

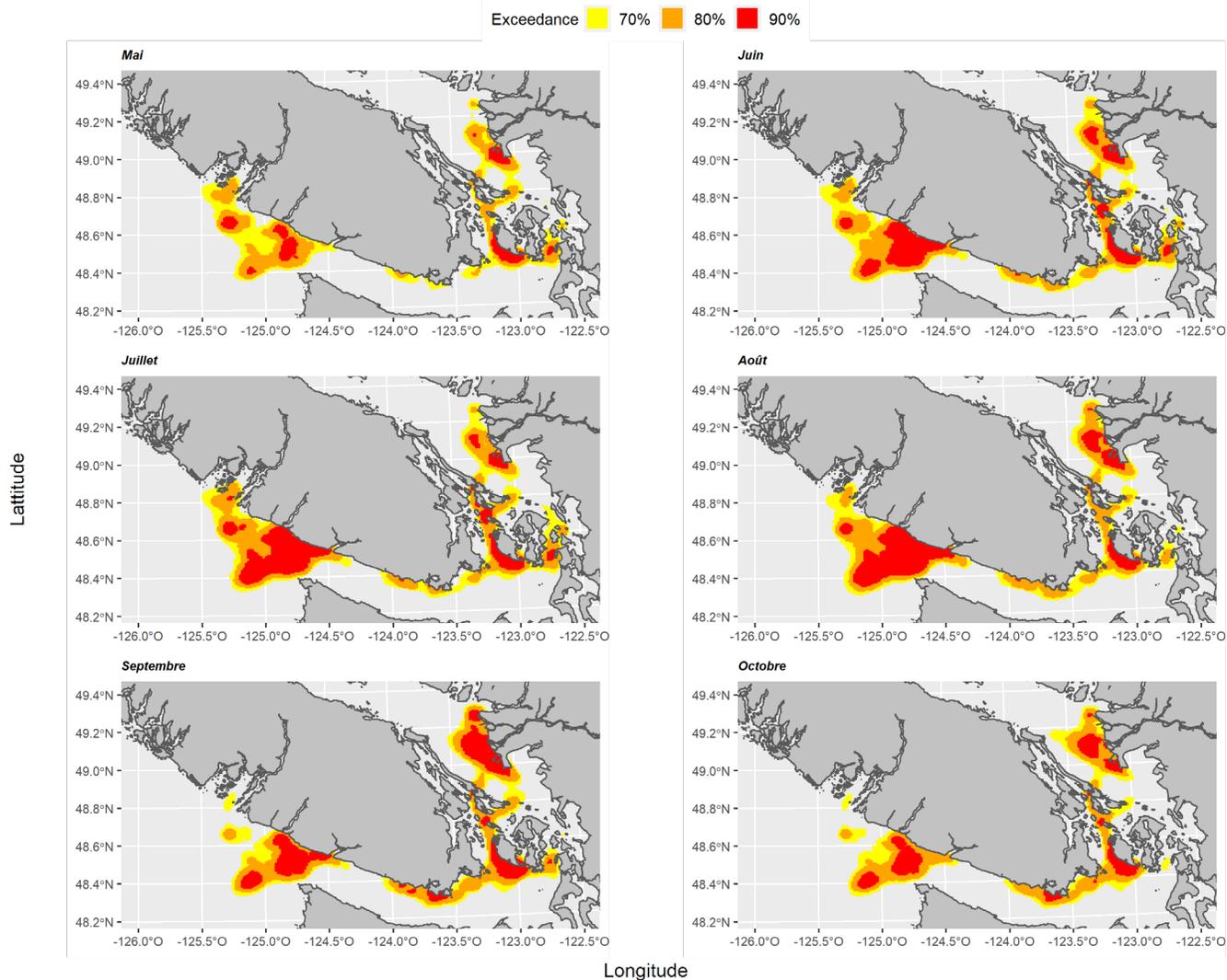


Figure 13. Prévion de la préférence mensuelle d'habitat de l'épaulard résident du sud lorsqu'il se trouve dans son habitat essentiel, en utilisant les données de chaque mois pour estimer les seuils de préférence. Le nombre prévu d'observations d'épaulards résidents du sud par unité d'effort de recherche au cours de chaque mois à un endroit donné est appelé intensité d'occurrence de l'épaulard résident du sud. Le polygone de 90 % (rouge) représente les zones où les valeurs d'intensité d'occurrences de l'épaulard résident du sud sont les plus élevées pour chaque mois individuel, l'intensité décroissante étant illustrée par les polygones de 80 % (orange) et de 70 % (jaune).

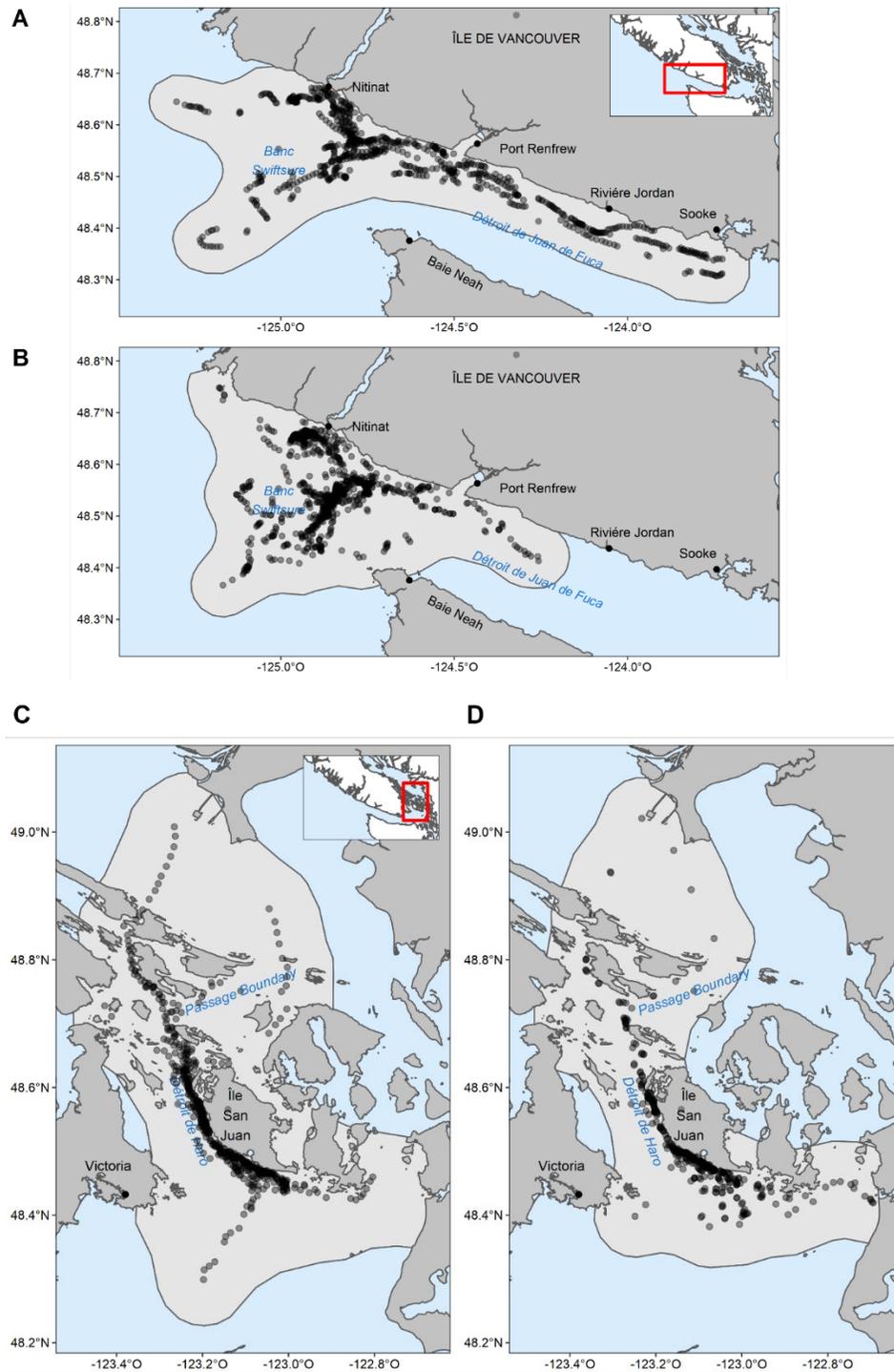


Figure 14. Lieux d'observation des déplacements et de la recherche de nourriture pour a) les suivis ciblés du MPO (2018-2020); b) les relevés comportementaux de groupe du MPO (2018-2020); c) les suivis ciblés de la NOAA (2006); et d) l'échantillonnage comportemental de la NOAA (2007-2009). Les polygones correspondent aux limites de l'étendue du modèle; chaque cercle gris représente une seule analyse comportementale. Les emplacements dont les balayages se chevauchent apparaissent en noir dans la figure.

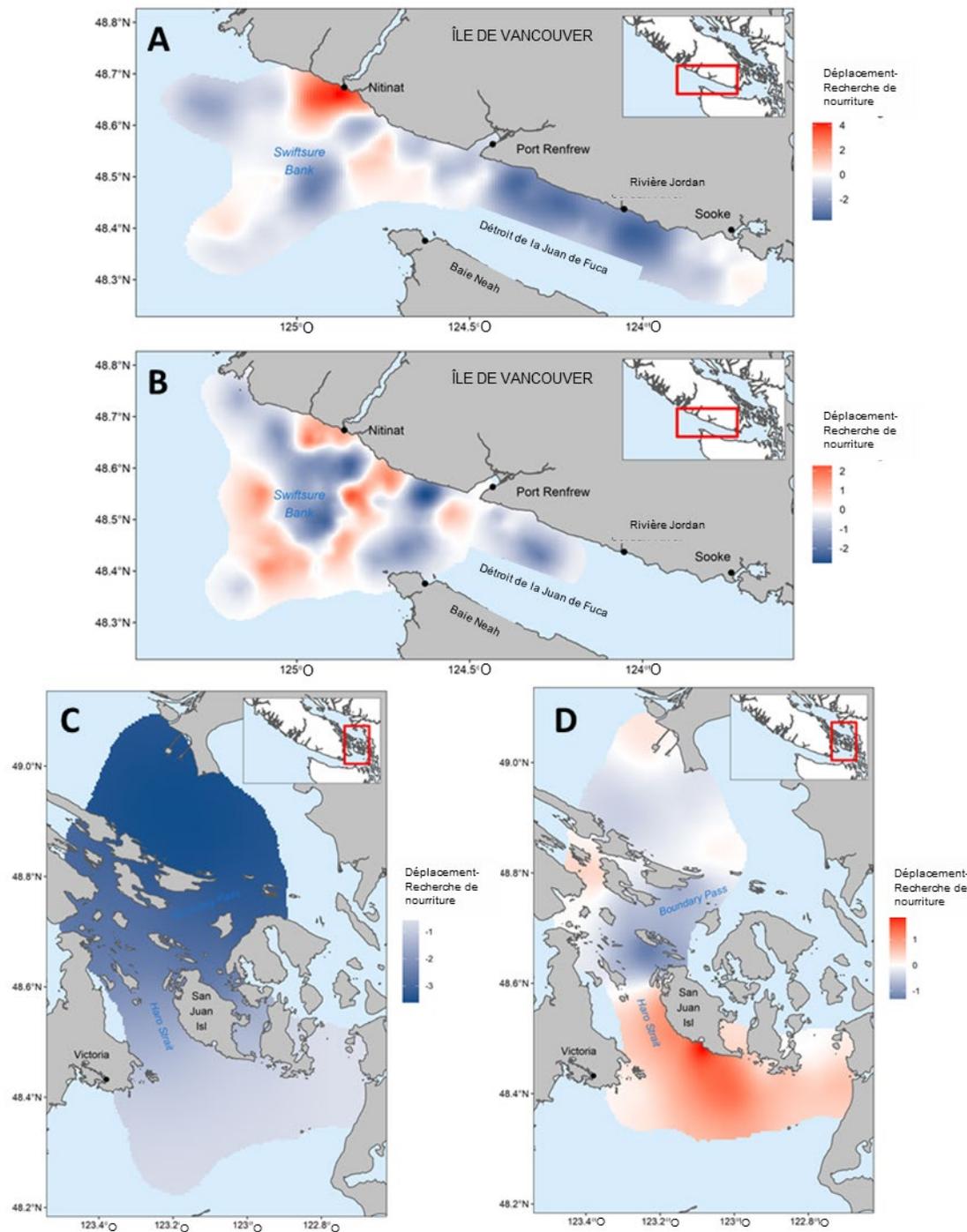


Figure 15. Modèles comportementaux spatio-temporels prédisant les états comportementaux Déplacement (bleu) et Recherche de nourriture (rouge). Les moyennes a posteriori des champs aléatoires gaussiens spatiaux de Markov sont présentées pour a) le suivi ciblé du MPO; b) les relevés comportementaux de groupe du MPO; c) le suivi ciblé de la NOAA 2006; et d) l'échantillonnage comportemental de la NOAA 2007-2009.

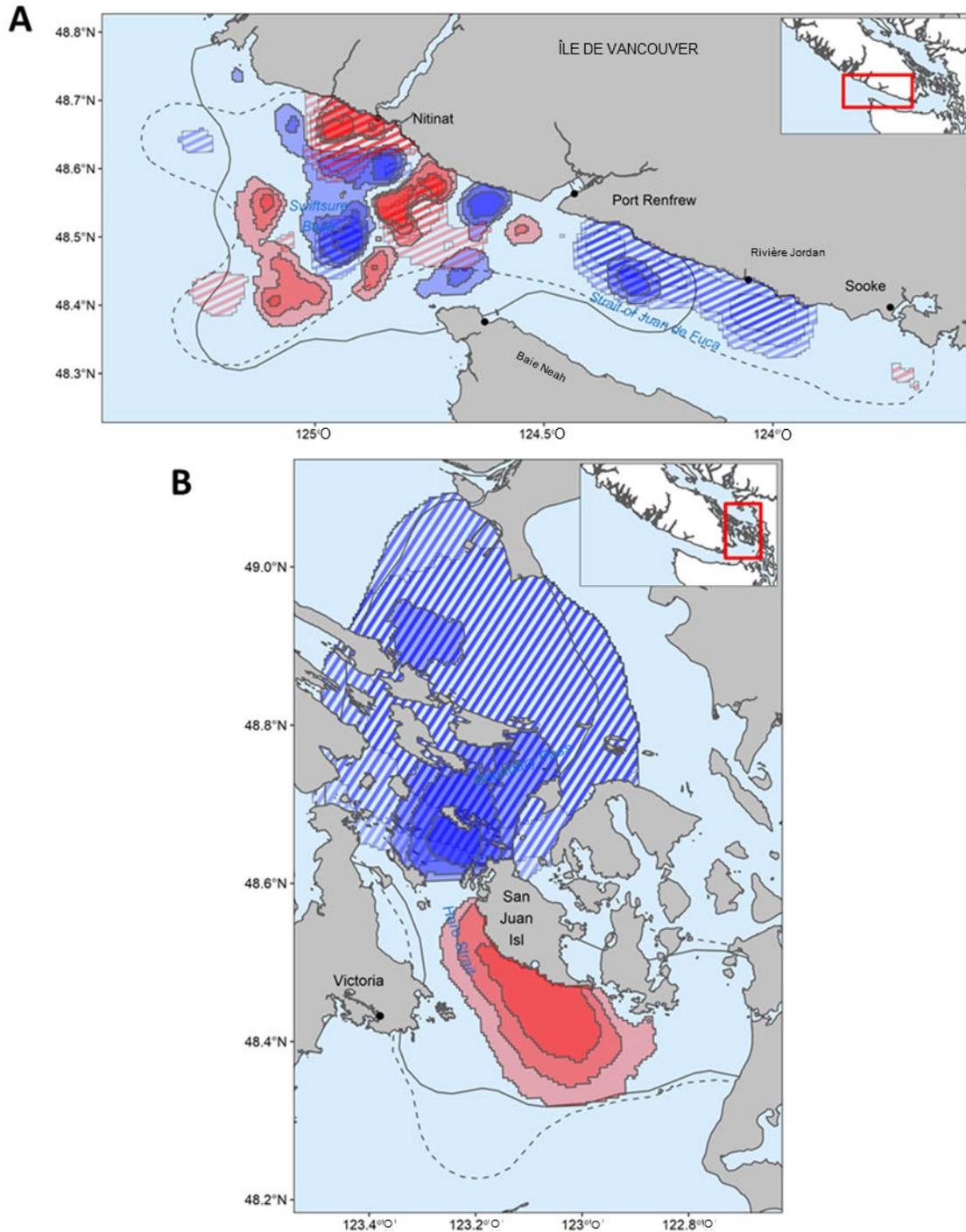


Figure 16. Zones de comportement probable de déplacement (bleu) et de recherche de nourriture (rouge) telles que prédites par les sorties du modèle; la transparence accrue du polygone indique une confiance décroissante (probabilité $> 0,7$, $> 0,8$ et $> 0,9$) que la recherche de nourriture ou le déplacement étaient les comportements dominants. a) Modèles de suivi ciblé (hachuré) et de relevé comportemental de groupe (solide) du MPO; et b) Modèles de suivi ciblé (hachuré) et d'échantillonnage comportemental (solide) de NOAA 2006 et NOAA 2007-2009.

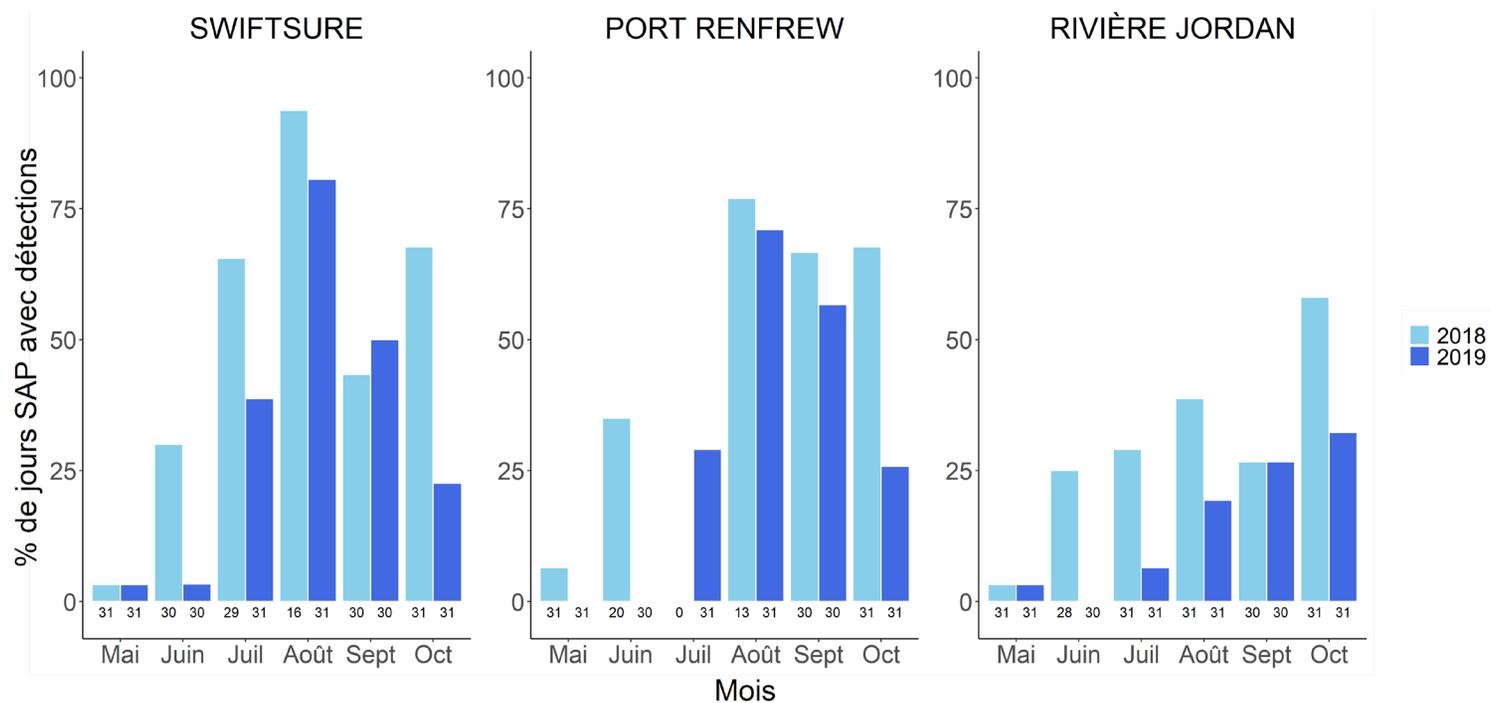


Figure 17. Nombre de jours par mois avec des détections acoustiques d'épaulards résidents du sud (appels pulsés stéréotypés validés) au banc Swiftsure, à Port Renfrew et à la rivière Jordan de mai à octobre en 2018 (bleu pâle) et 2019 (bleu foncé), exprimé en pourcentage (%) des jours de surveillance acoustique passive (SAP) ou d'effort. Le nombre de jours d'effort par mois est indiqué sous chaque barre.

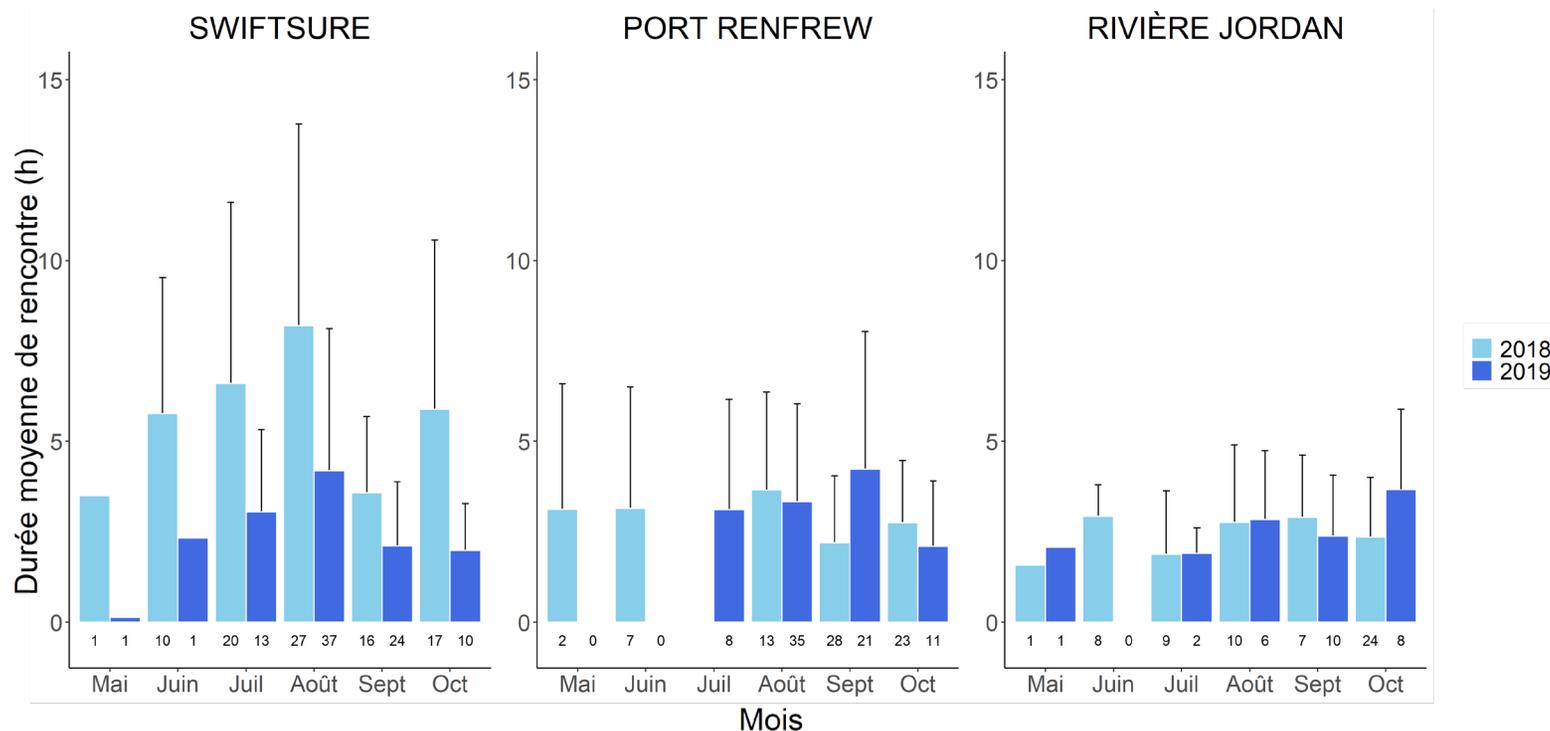


Figure 18. Durée de rencontre acoustique (h) des épaulards résidents du sud au banc Swiftsure, à Port Renfrew et à la rivière Jordan de mai à octobre en 2018 et 2019 (moyenne et écart-type), telle que déterminée à partir des appels pulsés stéréotypés validés. Le nombre total de rencontres par mois est indiqué en noir sous chaque barre. Il convient de noter qu'il n'y a pas eu de journées d'effort en juillet 2018 à Port Renfrew.

SWIFTSURE

2009-2011

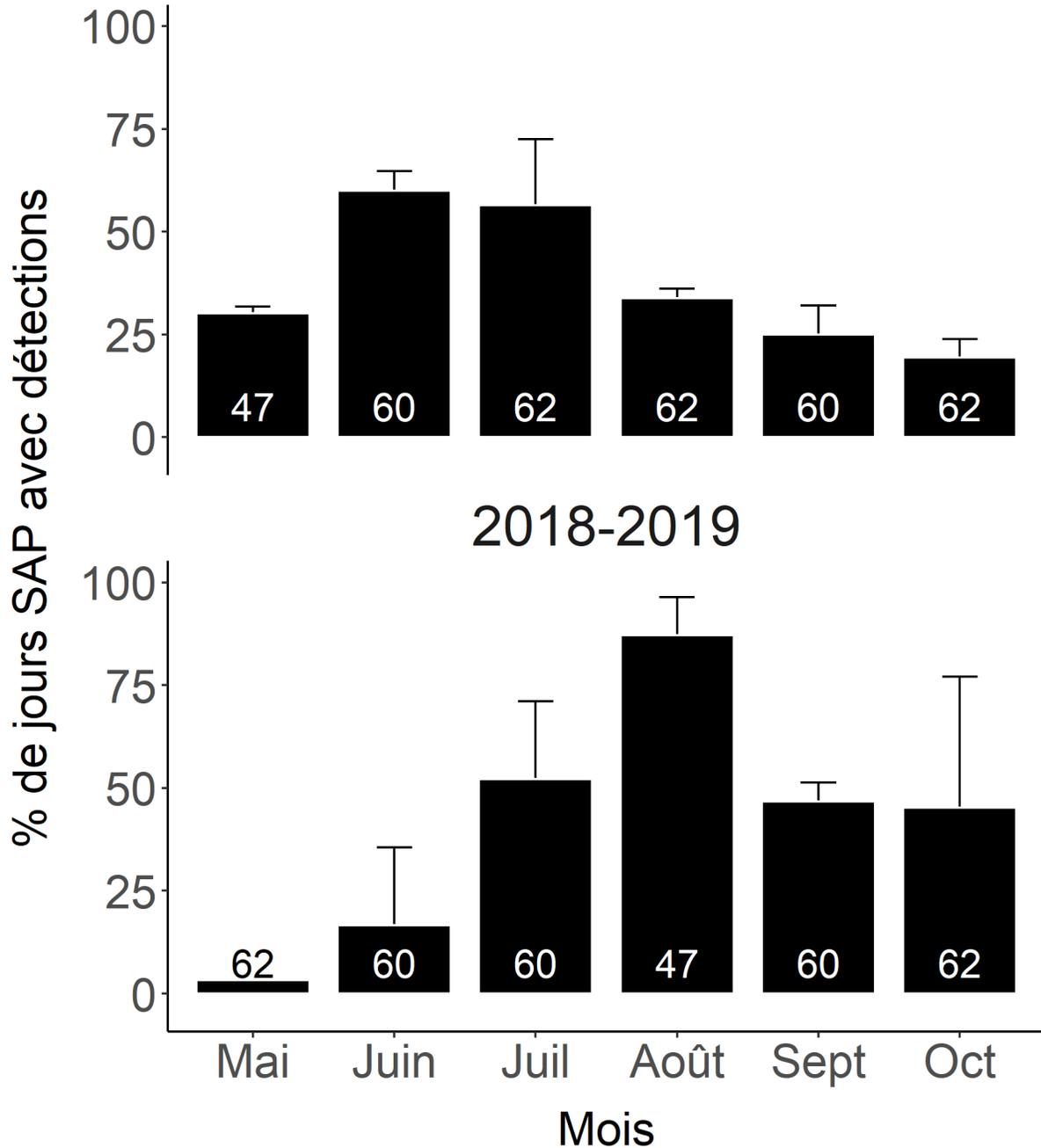


Figure 19. Nombre de jours avec des détections acoustiques d'épaulards résidents du sud (appels pulsés stéréotypés validés) au banc Swiftsure de mai à octobre pour 2009 à 2011 combinés (en haut) et 2018 à 2019 combinés (en bas), exprimé en pourcentage (%) des jours de surveillance acoustique passive (SAP) ou d'effort. Les barres représentent la moyenne et l'écart-type. Le nombre de jours d'effort par mois est indiqué en blanc à la base de chaque barre.