



PROTOCOLES NORMALISÉS POUR LA RÉALISATION DE RELEVÉS D'OISEAUX MARINS À BORD DE NAVIRES SUR LA CÔTE CANADIENNE DU PACIFIQUE



PROTOCOLES NORMALISÉS POUR LA RÉALISATION DE RELEVÉS D'OISEAUX MARINS À BORD DE NAVIRES SUR LA CÔTE CANADIENNE DU PACIFIQUE

Rédacteurs

Caroline H. Fox^{†1}, Christopher Di Corrado², Ken Morgan³ et William O'Shea²

[†] Rédactrice à qui la correspondance doit être adressée.

**Série de rapports techniques n° 541
Décembre 2023
Service canadien de la faune
Région du Pacifique et du Yukon**

[†] Adresse de la rédactrice à qui la correspondance doit être adressée.

^{1†} Service canadien de la faune, Environnement et Changement climatique Canada,
60, rue Front, L3, Nanaimo (Colombie-Britannique) V9R 5H7

² Service canadien de la faune, Environnement et Changement climatique Canada, Centre de
recherche sur la faune du Pacifique, 5421, chemin Robertson, Delta (Colombie-Britannique)
V4K 3N2

³ Service canadien de la faune, Environnement et Changement climatique Canada, a/s Institut
des sciences de la mer, 9860, chemin Saanich Ouest, Sidney (Colombie-Britannique) V8L 4B2

N° de catalogue : CW66-1377/2023F-PDF
ISBN : 978-0-660-69337-8
EC23182

À moins d'avis contraire, il est interdit de reproduire le contenu de cette publication, en totalité ou en partie, à des fins de diffusion commerciale sans avoir obtenu au préalable la permission écrite de l'administrateur du droit d'auteur d'Environnement et Changement climatique Canada. Si vous souhaitez obtenir du gouvernement du Canada les droits de reproduction du contenu à des fins commerciales, veuillez demander l'affranchissement du droit d'auteur de la Couronne en communiquant avec :

Environnement et Changement climatique Canada
Centre de renseignements à la population
7^e étage, édifice Fontaine
200, boulevard Sacré-Cœur
Gatineau (Québec) K1A 0H3
Téléphone : 819-997-2800
Ligne sans frais : 1-800-668-6767 (au Canada seulement)
Courriel : ec.enviroinfo.ec@canada.ca

Photos : © Environnement et Changement climatique Canada

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre
de l'Environnement et du Changement climatique, 2023

Also available in English.

REMERCIEMENTS

Les rédacteurs remercient D. Fifield, S. Davis, C. Gjerdrum, B. Elnor, E. Holland et B. Schroeder pour leurs contributions au présent rapport, leurs révisions et leurs commentaires constructifs. La Région du Pacifique du Service canadien de la faune d'Environnement et Changement climatique Canada a fourni un soutien aux rédacteurs pour la production du présent rapport technique dans le cadre de l'initiative Planification de l'intervention environnementale intégrée et du Programme de surveillance et de conservation des oiseaux marins dans la mer des Salish.

RÉSUMÉ

La côte canadienne du Pacifique abrite plus de 160 espèces d'oiseaux marins. Outre les populations résidentes, des dizaines de millions d'individus se reproduisent, hivernent et migrent le long de la côte du Pacifique. Aux fins du présent rapport, le terme « oiseaux marins » englobe toutes les espèces d'oiseaux (y compris les espèces d'oiseaux de rivage, d'oiseaux de proie et de sauvagine) qui dépendent des écosystèmes marins. En tant que consommateurs de niveaux trophiques supérieurs, les oiseaux marins jouent des rôles fondamentaux au sein des écosystèmes marins. La dynamique écologique naturelle des écosystèmes marins exerce une influence sur les oiseaux marins, lesquels réagissent également aux agents de stress anthropiques : des déclin importants des populations de nombreuses espèces ont été observés dans l'océan Pacifique Nord au cours des dernières décennies. Il est donc fondamental de disposer de renseignements exacts et à jour sur la répartition et l'abondance des espèces d'oiseaux marins pour être en mesure d'assurer efficacement leur conservation. Les relevés d'oiseaux marins réalisés en mer à bord de navires sont l'une des méthodes utilisées pour obtenir de tels renseignements, mais ils ne sont pas adaptés à toutes les espèces. Depuis le début des années 1980, Environnement et Changement climatique Canada effectue des relevés d'oiseaux marins le long de la côte canadienne du Pacifique, principalement à bord de navires occasionnels, et à l'aide d'une méthode de relevé par transects en bande. La méthode de relevé par transects en bande est une technique fréquemment utilisée pour échantillonner les oiseaux marins, notamment en raison de la simplicité et de la souplesse qu'elle offre, et elle est couramment utilisée le long de la côte canadienne du Pacifique depuis des décennies. Depuis quelques années, les responsables de programmes qui ont besoin de renseignements quantitatifs solides, y compris des estimations des populations, ont de plus en plus recours aux relevés par transects en bande pour échantillonner des communautés d'oiseaux marins. L'objet du présent rapport consiste à fournir des protocoles normalisés pour la réalisation de relevés par transects en bande et en ligne à bord de navires ainsi que des lignes directrices pour la sélection de la méthode de relevé la plus appropriée dans chaque cas. Le rapport présente aussi un survol de différentes techniques de relevé des oiseaux marins sans navire, lesquelles peuvent être plus adaptées aux objectifs de certains programmes de recherche. La normalisation de la collecte de données sur les oiseaux marins favorisera l'intégration des données, permettra d'avoir une compréhension plus complète et exacte des communautés d'oiseaux marins de la côte canadienne du Pacifique et, en fin de compte, d'appuyer des approches de conservation et de gestion plus efficaces.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	iv
Résumé.....	1
Table des matières	2
LISTE DES FIGURES	3
Liste des tableaux.....	3
1 Introduction aux relevés d’oiseaux marins	4
1.1 Introduction et objectifs	4
1.2 Relevés d’oiseaux marins à bord de navires.....	5
1.3 Relevés d’oiseaux marins réalisés à bord de navires le long de la côte canadienne du Pacifique	6
1.4 Sélection d’une méthode de relevé.....	7
1.5 Autres méthodes de relevé des oiseaux marins.....	10
1.5.1 <i>Autres approches de relevé</i>	<i>10</i>
1.5.2 <i>Relevés aériens — aéronef avec pilote.....</i>	<i>10</i>
1.5.3 <i>Relevés aériens — systèmes d’aéronef sans pilote.....</i>	<i>12</i>
1.5.4 <i>Relevés effectués depuis le rivage</i>	<i>13</i>
2 Protocole de relevé par transects linéaires	13
2.1 Introduction aux transects linéaires	13
2.2 Plan d’étude.....	17
2.3 Exigences relatives à l’observation	18
2.4 Méthodes	18
2.4.1 <i>Avant le relevé</i>	<i>18</i>
2.4.2 <i>Effort de relevé</i>	<i>19</i>
2.4.3 <i>Protocole de relevé</i>	<i>20</i>
2.4.4 <i>Renseignements sur les conditions environnementales</i>	<i>27</i>
2.4.5 <i>Autres taxons.....</i>	<i>28</i>
2.4.6 <i>Saisie des données.....</i>	<i>28</i>
2.5 Analyse des données	28
3 Protocole de relevé par transects en bande	29
3.1 Introduction aux transects en bande	29
3.2 Plan d’étude.....	30
3.3 Exigences relatives à l’observation	30
3.4 Méthodes	31
3.4.1 <i>Avant le relevé</i>	<i>31</i>
3.4.2 <i>Effort de relevé</i>	<i>32</i>
3.4.3 <i>Protocole de relevé</i>	<i>33</i>
3.4.4 <i>Renseignements sur les conditions environnementales</i>	<i>36</i>
3.4.5 <i>Autres taxons.....</i>	<i>37</i>
3.4.6 <i>Saisie des données.....</i>	<i>37</i>
3.5 Analyse des données	38
Références	38
Annexe 1. Liste du matériel requis pour effectuer un relevé d’oiseaux marins	48
Annexe 2. Échelle de Beaufort, vitesse réelle du vent et état de la mer	49
Annexe 3. Calculs manuels pour l’estimation de la distance	51
Annexe 4. Méthode de dénombrement DE grands groupes d’oiseaux	53
Annexe 5. Détection des oiseaux aU début d’un transect linéaire	54

LISTE DES FIGURES

Figure 1. (a) Représentation graphique d'un relevé par transects linéaires réalisé par un seul observateur; (b) fonction de détection de l'échantillonnage par distance.

Figure 2. Représentation graphique d'un relevé par transects linéaires réalisé depuis une plateforme mobile.

Figure 3. Représentation graphique d'un relevé par transects en bande réalisé depuis une plateforme mobile.

Figure 4. Estimation de la distance au moyen d'une jauge de distance fabriquée à l'aide d'une règle en plastique transparent.

Figure 5. Volée d'Oies des neiges (*Anser caerulescens*).

Figure 6. Représentation graphique des détections avant le début d'un transect linéaire.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Considérations relatives à la réalisation de relevés d'oiseaux marins à bord de navires.

Tableau 2. Description des catégories de l'échelle de Beaufort.

Tableau 3. Variables relatives à l'environnement et aux relevés consignées par les observateurs effectuant des relevés d'oiseaux marins par transects linéaires.

Tableau 4. Description des catégories de détectabilité du Service canadien de la faune.

Tableau 5. Variables relatives à l'environnement et aux relevés consignées par les observateurs effectuant des relevés d'oiseaux marins par transects en bande.

1 INTRODUCTION AUX RELEVÉS D'OISEAUX MARINS

1.1 Introduction et objectifs

La côte canadienne du Pacifique accueille chaque année des dizaines de millions d'oiseaux marins (définis ici comme des espèces qui dépendent des écosystèmes marins, y compris des espèces d'oiseaux de rivage, d'oiseaux de proie, de sauvagine), ce qui représente des effectifs importants à l'échelle mondiale, nationale et régionale. Des millions d'oiseaux marins empruntant la voie migratoire du Pacifique, laquelle s'étend de la Terre de Feu jusqu'au Haut-Arctique, migrent le long de la côte du Pacifique chaque année. En outre, des millions d'oiseaux marins se reproduisent le long de la côte de la Colombie-Britannique, et d'importantes colonies sont situées sur l'île Triangle et dans l'archipel Haida Gwaii, entre autres. Le courant du Pacifique Nord, qui traverse l'océan d'ouest en est, se sépare en atteignant la côte de la Colombie-Britannique pour former le courant de l'Alaska, lequel s'écoule vers le nord, et le très productif courant de Californie, qui s'écoule vers le sud. Le système du courant de Californie, qui comprend les eaux côtières le long de la côte sud de la Colombie-Britannique, est une zone de remontée des eaux qui constitue l'un des écosystèmes les plus productifs au monde (Pauly et Christensen, 1995) et abrite de nombreux taxons, y compris des oiseaux marins. Cette zone côtière constituée d'un archipel de milliers d'îles, de fjords, de plusieurs zones marines peu profondes (p. ex. le détroit d'Hécate), d'une mer intérieure abritée (c.-à-d. la mer des Salish) et d'un plateau continental variable s'étendant vers le large, offre une grande diversité d'habitats aux oiseaux marins.

En tant que consommateurs de niveaux trophiques supérieurs, les oiseaux marins jouent des rôles écologiques fondamentaux au sein des écosystèmes marins (p. ex. Tavares *et al.*, 2019), et ils peuvent aussi servir de sentinelles indiquant des changements dans les conditions océaniques (Moore et Kuletz, 2019). Malgré leur importance, les populations de nombreuses espèces ont connu des déclinés au cours des dernières décennies (Croxall *et al.*, 2012; Paleczny *et al.*, 2015), y compris le long de la côte canadienne du Pacifique (p. ex. Bower, 2009; Sherburne *et al.*, 2021). Il est donc fondamental de disposer de renseignements exacts et à jour sur la répartition et l'abondance des espèces d'oiseaux marins pour être en mesure d'assurer leur conservation. Les relevés d'oiseaux marins réalisés en mer à bord de navires ne sont qu'une approche parmi tant d'autres pour obtenir des renseignements sur la répartition et l'abondance des oiseaux en mer. Il faut également préciser que les relevés effectués à bord de navires ne conviennent pas à toutes les espèces d'oiseaux marins ni à toute la gamme de milieux où elles se rencontrent.

Les objectifs du présent rapport sont les suivants : 1) fournir des protocoles normalisés pour la réalisation de relevés d'oiseaux marins par transects en bande et en ligne à bord de navires en mer; 2) fournir des lignes directrices pour la sélection d'une méthode de relevé appropriée; 3) accroître la comparabilité des ensembles de données sur les oiseaux marins et l'intégration des données des différents programmes de relevé de la côte canadienne du Pacifique. Les agents de la Région du Pacifique d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) utilisent ces méthodes pour : 1) fournir des données de référence sur la répartition et l'abondance des

oiseaux marins en mer; 2) détecter des changements dans la répartition et l'abondance des oiseaux marins en mer; 3) comprendre les associations entre les oiseaux marins et les habitats; 4) éclairer les initiatives de conservation et de gestion, notamment en favorisant une meilleure compréhension des risques posés par les pêches, le trafic maritime et d'autres activités anthropiques pour les oiseaux marins (p. ex. Kenyon *et al.*, 2009; Fox *et al.*, 2017; Bertram *et al.*, 2021; Fox *et al.*, 2021).

Deux protocoles de relevé d'oiseaux marins à bord de navires sont décrits dans le présent rapport. Un protocole de relevé par transects linéaires (section 2; Buckland *et al.*, 2001), inspiré de ceux de Raphael *et al.* (2007) et Fox *et al.* (2017), mais considérablement modifié, a été récemment mis au point par la Région du Pacifique d'ECCC. Les relevés par transects linéaires peuvent être utilisés pour produire des renseignements quantitatifs sur la répartition et l'abondance des oiseaux marins, calculer les estimations de l'abondance ou générer des modèles de prévision de la répartition et de l'abondance des oiseaux marins (p. ex. Ronconi et Burger, 2009; Fox *et al.*, 2017). Un protocole de relevé par transects en bande, utilisé par les agents de la Région du Pacifique d'ECCC depuis les années 1980, est décrit à la section 3. Les relevés par transects en bande réalisés par la Région du Pacifique d'ECCC ont été principalement effectués à bord de navires occasionnels afin de recueillir, à faible coût et sur une longue période, des renseignements sur la répartition et l'abondance relative des oiseaux marins en mer.

1.2 Relevés d'oiseaux marins à bord de navires

L'utilisation de navires comme plateforme d'observation pour la description et la documentation d'espèces d'oiseaux en mer est une pratique courante depuis le 19^e siècle (Brown, 1980). Certains des premiers relevés systématiques d'oiseaux modernes effectués à bord de navires ont été réalisés au début du 20^e siècle pour décrire la répartition des espèces dans les océans Atlantique et Pacifique (p. ex. Wynne-Edwards, 1935; Murphy, 1936). Les innovations statistiques et technologiques du siècle dernier ont changé les techniques d'échantillonnage, mais les relevés réalisés à bord de navires font toujours partie des méthodes les plus utilisées pour décrire la répartition et l'abondance des oiseaux marins en mer (Balance, 2007). Du fait de leur grande accessibilité, de leur autonomie relative et de leurs grandes tolérances de fonctionnement, les navires sont une plateforme utile pour effectuer des relevés d'oiseaux en mer, le long de la côte canadienne du Pacifique.

Les navires occasionnels constituent une solution de rechange peu coûteuse aux navires spécialisés pour les programmes de recherche et de surveillance des oiseaux marins. Cette approche réduit considérablement le choix de l'emplacement des lignes de transect, mais la répétition des relevés est possible le long de routes maritimes régulièrement empruntées. Les relevés pourraient être effectués, par exemple, à bord de navires de la Garde côtière canadienne qui empruntent fréquemment la même route pour mener des recherches océanographiques (p. ex. Kenyon *et al.*, 2009) ou de traversiers qui suivent un itinéraire plus ou moins fixe entre les ports (p. ex. Service canadien de la faune, données inédites; Sahri *et al.*, 2020). Les relevés réalisés à bord de navires occasionnels peuvent fournir de précieux renseignements sur la répartition, l'abondance et l'occurrence saisonnière et interannuelle des oiseaux marins, en

particulier lorsque les ressources financières sont limitées, comme c'est souvent le cas pour de nombreux programmes de relevé d'oiseaux marins. De plus, le coût souvent faible à négligeable des relevés d'oiseaux marins réalisés à bord de navires occasionnels fait en sorte que cette approche peut permettre de recueillir beaucoup plus de données que ce qui aurait été possible avec un navire spécialisé.

Le choix du navire peut également avoir des répercussions sur les résultats du relevé. Les frais d'utilisation des grands navires sont plus élevés, mais ces derniers sont généralement dotés de plateformes d'observation plus hautes offrant une meilleure stabilité lorsque les conditions météorologiques sont défavorables ou qu'il y a de fortes lames de fond. De plus, leur autonomie est souvent supérieure à celle des petits navires, et ils peuvent naviguer dans des zones éloignées plus longtemps sans ravitaillement. Toutefois, les grands navires étant plus visibles, les individus de certaines espèces peuvent l'apercevoir à de plus grandes distances, ce qui peut les pousser à s'éloigner, rendant leur détection plus difficile (Lima *et al.*, 2015). De même, la taille du navire et les conditions météorologiques ont un effet sur la détectabilité des petites espèces ou des espèces cryptiques pendant les relevés (Ronconi et Burger, 2009). Les grands navires sont plus stables dans les eaux agitées, mais les navires avec un plus grand tirant d'eau ne peuvent pas naviguer dans les eaux peu profondes près du rivage. Le choix du navire à utiliser pour effectuer un relevé dépend donc de la zone de relevé, de la période de l'année, des espèces ciblées, des ressources disponibles et d'autres considérations.

1.3 Relevés d'oiseaux marins réalisés à bord de navires le long de la côte canadienne du Pacifique

Des relevés d'oiseaux marins sont effectués en mer, le long de la côte canadienne du Pacifique, depuis au moins le milieu des années 1900 (Martin et Myers, 1969; Vermeer *et al.*, 1983; et références citées dans le présent document). Vermeer *et al.* (1983) ont produit un atlas des oiseaux marins de la côte canadienne du Pacifique qui contient des renseignements sur la composition et la densité spécifiques, mais qui est axé sur la répartition des espèces dans les eaux côtières et fournit peu de détails sur les espèces pélagiques (c.-à-d. présentes en haute mer). Dans le but de mieux comprendre la répartition et l'abondance des espèces d'oiseaux marins dans les eaux canadiennes, Environnement Canada (maintenant ECCC) a commencé à effectuer des relevés opportunistes au large des côtes de la Colombie-Britannique en 1981 pour recueillir des renseignements sur la composition des communautés d'oiseaux marins dans l'espace et le temps et fournir des données de référence pour l'évaluation des effets sur l'environnement (Morgan *et al.*, 1991). Morgan *et al.* (1991) présente un survol des premières zones de relevé, lesquelles comprennent le détroit d'Hécate, le bassin de la Reine-Charlotte, l'entrée Dixon et la côte ouest de l'île de Vancouver, jusqu'à la zone économique exclusive du Canada dans le Pacifique et au-delà. La réalisation de relevés à bord de navires occasionnels appartenant au gouvernement fédéral ou à des entreprises commerciales est une pratique qui est toujours utilisée pour répertorier la densité et la répartition saisonnière des oiseaux marins dans la zone économique exclusive du Canada et au-delà de cette dernière. Des renseignements à jour sur cette question sont fournis dans l'ouvrage de Kenyon *et al.* (2009). Compte tenu du fait

que les relevés ont été effectués de façon opportuniste et que les efforts n'ont pas été répartis uniformément, les données ne peuvent pas être utilisées pour estimer la taille ou les tendances temporelles de l'abondance d'une population (Kenyon *et al.*, 2009), mais elles se sont avérées inestimables pour ce qui est de décrire la composition spécifique, les associations entre les espèces et l'habitat ainsi que la répartition, l'occurrence saisonnière et l'abondance relative des espèces d'oiseaux marins.

Le premier relevé à grande échelle des oiseaux marins effectué de manière systématique à bord de navires le long de la côte de la Colombie-Britannique remonte à 2005. La Raincoast Conservation Foundation avait alors lancé un programme de relevés systématiques par transects linéaires le long de la côte nord de la Colombie-Britannique afin de décrire la répartition et l'abondance des oiseaux marins sur une période de quatre ans (Fox *et al.*, 2017). Des relevés ont été réalisés dans le bassin de la Reine-Charlotte, de l'entrée Dixon jusqu'au détroit de la Reine-Charlotte, en toutes saisons, sauf en hiver. Des modèles de prévision de la densité des oiseaux marins ont été élaborés, puis combinés pour prévoir les zones d'importance pour les oiseaux marins, selon une perspective saisonnière ou globale (Fox *et al.*, 2017).

De nombreux autres relevés en mer ont été effectués, à l'aide de différentes méthodes, dans diverses régions de la Colombie-Britannique, notamment : le bras Kitimat, le chenal Douglas et le long des îles côtières, de l'entrée Caamano à l'île Porcher, de 2005 à 2009 (d'Entremont, 2010); la route orthodromique dans l'océan Pacifique Nord (c.-à-d. la route reliant le sud de la Colombie-Britannique au Japon qui passe par le golfe d'Alaska, le sud de la mer de Béring et l'ouest du Pacifique Nord), de 2000 à 2007 (Batten *et al.*, 2006; Sydeman *et al.*, 2010); les îles Gulf méridionales, en 2008 et en 2009 (Davidson *et al.*, 2010); le sud de la baie Howe, en 2014 et en 2015 (Butler *et al.*, 2018); l'estuaire du fleuve Fraser, en 2016 et en 2017 (Butler *et al.*, 2018); la côte ouest de l'île de Vancouver, de 1999 à aujourd'hui (Parcs Canada, données inédites); le détroit de la Reine-Charlotte, en 2020 et en 2021 (Gaston *et al.*, 2020).

1.4 Sélection d'une méthode de relevé

Deux méthodes dominent les approches couramment utilisées pour la réalisation de relevés d'oiseaux marins à bord de navires : les relevés par transects en ligne et les relevés par transects en bande. L'échantillonnage par distance sur transects en ligne (Buckland *et al.*, 1993, 2001, 2004 et 2015) est plus exact, mais cette méthode requiert davantage de ressources que les relevés par transects en bande, en partie parce que les observateurs doivent être formés (Ronconi et Burger, 2009). La méthode par transects en bande est une approche simple et populaire pour effectuer des relevés d'oiseaux marins en mer, en particulier si les ressources sont limitées ou imprévisibles, si la disponibilité des observateurs formés est limitée ou si les observateurs ont rarement la possibilité de monter à bord de différents navires occasionnels et qu'ils n'ont pas l'occasion de suivre une formation d'appoint (p. ex. Hyrenbach *et al.*, 2007). Le choix de la méthode appropriée pour effectuer un relevé d'oiseaux marins par transects en ligne dépend de nombreux facteurs. Les objectifs de l'étude, la zone d'étude, les espèces ciblées, la disponibilité des ressources et l'existence d'un précédent historique peuvent influencer ce choix. Les facteurs communs à prendre en considération lors du choix d'une méthode de relevé d'oiseaux marins à

bord de navires sont présentés ci-dessous et résumés au tableau 1.

Si l'étude requiert des renseignements solides, c'est-à-dire des estimations quantitatives de la densité, des estimations de l'abondance à l'échelle des populations dans une zone d'étude (p. ex. Goyert *et al.*, 2016) ou des analyses des tendances quantitatives (p. ex. Buckland *et al.*, 2004), un relevé par transects en ligne devrait être envisagé. Il est possible de générer des modèles de prévision de la densité et de la répartition des espèces à partir de l'information recueillie lors de relevés par transects en bande (p. ex. Oppel *et al.*, 2012), mais les objectifs clés des projets comprennent souvent des estimations quantitatives de la densité et des modèles prévisionnels, lesquels nécessitent des données de transects linéaires (p. ex. Fox *et al.*, 2017). Les estimations de l'abondance générées à partir de données recueillies lors de relevés par transects en bande sont considérées comme étant « relatives », et il est important de limiter l'utilisation de ces données dans le cadre d'analyses quantitatives. Les données de transects en bande ne permettent pas de générer des estimations solides de la population dans une zone d'étude (Ronconi et Burger, 2009). L'analyse des tendances fondée sur des données de transects en bande doit s'appuyer sur des mesures relatives de l'abondance, et il faut faire preuve de prudence lors de l'élaboration de modèles prévisionnels, et plus particulièrement lors de leur application.

La zone d'étude et les espèces ciblées sont aussi des facteurs à prendre en considération lors du choix de la méthode de relevé. Si les relevés sont effectués dans des conditions météorologiques variables ou ciblent de petites espèces ou des espèces cryptiques, ce qui est fréquemment le cas dans l'océan Pacifique Nord, les relevés par transects linéaires peuvent être plus appropriés puisque les estimations de densité produites tiennent compte des oiseaux non détectés (Ronconi et Burger, 2009). Lorsqu'un relevé par transects en bande est effectué dans des conditions météorologiques défavorables, il est possible de réduire la largeur de la bande pour assurer la détection de tous les oiseaux. Cependant, réduire la largeur de la bande accroîtra les écarts dans les estimations de l'abondance, surtout s'il s'agit de petits échantillons (Burnham *et al.*, 1985; Clark, 2016). Si des groupes plurispécifiques très denses sont observés lors des relevés, la méthode d'échantillonnage par transects en bande peut être plus efficace, car la consignation de données supplémentaires lors d'un relevé par transects linéaires peut empêcher la détection de certains oiseaux (Hyrenbach *et al.*, 2007). Cet écart peut être réduit si les observateurs sont hautement qualifiés et prennent des notes au moyen d'enregistrements audio, une méthode de consignation des données plus efficace que la saisie manuelle. Par conséquent, si la technique utilisée est appropriée, les relevés par transects linéaires peuvent être efficaces lorsqu'il s'agit d'échantillonner des groupes plurispécifiques très denses.

En règle générale, les relevés effectués à bord de navires nécessitent des ressources financières importantes, le financement est donc souvent l'un des facteurs déterminants dans le choix de la méthode d'échantillonnage. Quelle que soit la méthode utilisée, les relevés systématiques effectués au moyen de navires affrétés sont généralement plus coûteux que les relevés non systématiques réalisés à bord de navires occasionnels. Si les ressources disponibles sont suffisantes pour mener une étude systématique à grande échelle à bord de navires, il est recommandé d'adopter une méthode de relevé par transects linéaires. Cette méthode de relevé

des populations d’oiseaux marins est plus quantitative que les approches par transects en bande, et les données recueillies seront plus solides sur le plan statistique si les hypothèses sont maintenues (Ronconi et Burger, 2009).

La compatibilité avec les données historiques est également un point important à prendre en considération pour les projets de surveillance à long terme. Lorsque plusieurs ensembles de données sont utilisés pour calculer des tendances, les différences méthodologiques peuvent introduire des artefacts qui masquent les changements réels dans les populations. Les approches par transects en bande ont été élaborées dans les années 1980, et elles ont été adoptées dans le cadre de nombreux programmes de surveillance d’oiseaux marins (Tasker *et al.*, 1984). Les méthodes d’échantillonnage par distance sur transects en ligne ont été élaborées plus tard (Buckland *et al.*, 1993), mais les chercheurs qui effectuent des relevés d’oiseaux marins à bord de navires le long de la côte canadienne du Pacifique et dans les régions environnantes n’ont pas systématiquement recours aux méthodes d’échantillonnage par transects linéaires. Les données de transects en bande et de transects en ligne peuvent être combinées en utilisant des estimations de densité générées le long de segments de transects (p. ex. Fox *et al.*, 2021), la distance perpendiculaire consignée lors de la collecte des données de transects en ligne pour estimer la densité en fonction de la largeur de bande (Ronconi et Burger, 2009) ou d’autres approches (p. ex. Miller *et al.*, 2021). Il convient toutefois de faire preuve de prudence. La combinaison de données recueillies à l’aide de différentes approches est généralement la solution à privilégier lorsqu’il n’est pas possible d’obtenir suffisamment de données de grande qualité, ce qui est souvent le cas pour les programmes de surveillance des oiseaux marins en mer.

Tableau 1. Considérations courantes relatives à la réalisation de relevés d’oiseaux marins à bord de navires.

Facteur	Transects en bande	Transects en ligne
Ressources	Nécessite moins de ressources ^a	Nécessite plus de ressources ^a
Navires compatibles	Navires occasionnels ^b ou spécialisés ^c	Navires occasionnels ^d ou spécialisés ^a
Conception du relevé	Systématique ou opportuniste ^{b,e}	Systématique ^{f,g} ou opportuniste ^{d,g}
Nombre d’observateurs	Un observateur pour l’échantillonnage d’un seul côté ou deux observateurs pour l’échantillonnage des deux côtés	Échantillonnage des deux côtés avec deux observateurs recommandé; échantillonnage d’un seul côté avec un observateur aussi possible
Formation requise	Moins de formation requise pour acquérir les compétences nécessaires ^a	Plus de formation requise pour acquérir les compétences nécessaires ^a
Largeur de bande	Habituellement 300 m ou moins ^{b,e}	Variable; supérieure ou inférieure à 300 m selon la fonction de détection estimée ^g
Hypothèse de détection	Tous les oiseaux dans la bande sont détectés ^b	Tous les oiseaux sur la ligne de transect sont détectés (c.-à-d. $g[0] = 1$) ^g

Objectifs de l'étude	Estimations relatives de la densité, indices d'abondance ou modélisation prévisionnelle de la densité et de la répartition	Estimations quantitatives de la densité, estimations de l'abondance à l'échelle des populations ou modélisation prévisionnelle de la densité et de la répartition
----------------------	--	---

^a P. ex., Ronconi et Burger, 2009. ^b p. ex., Hyrenbach *et al.*, 2007. ^c p. ex., Haney *et al.*, 2019. ^d p. ex., Gjerdrum *et al.*, 2012. ^e p. ex. Kenyon *et al.*, 2009. ^f p. ex., Fox *et al.*, 2017. ^g Buckland *et al.*, 2001.

1.5 Autres méthodes de relevé des oiseaux marins

1.5.1 Autres approches de relevé

Les méthodes de relevé à bord de navires sont largement utilisées pour échantillonner des oiseaux marins, mais d'autres approches pourraient être plus appropriées selon les objectifs scientifiques du programme en question. Voici un aperçu des approches qui peuvent être envisagées, outre les relevés effectués à bord de navires, pour recueillir des renseignements sur la répartition et l'abondance des oiseaux en mer. Habituellement, les contraintes de ressources et de temps font partie des principaux obstacles lors de la conception de programmes de relevé d'oiseaux marins. Lorsque cela est possible, les méthodes de relevé par voie aérienne ou depuis la côte peuvent s'avérer plus efficaces que les relevés effectués à bord de navires. Néanmoins, compte tenu de l'étendue et de la relative inaccessibilité d'une grande partie de la côte canadienne du Pacifique, auxquelles s'ajoutent des conditions météorologiques souvent extrêmes, les relevés effectués à bord de navires demeurent, dans de nombreuses régions et en plusieurs saisons, la méthode d'échantillonnage d'oiseaux en mer la plus viable. Cependant, de nouvelles technologies, comme les systèmes d'aéronef sans pilote (UAS) communément appelés « drones », les véhicules aériens sans pilote (UAV), et les approches combinant des relevés aériens avec la photographie numérique haute résolution et l'identification des espèces par apprentissage automatique, pourraient constituer des solutions de remplacement prometteuses, et potentiellement moins coûteuses, aux relevés effectués à bord de navires.

1.5.2 Relevés aériens — aéronef avec pilote

Les relevés aériens ont été adoptés comme méthode d'échantillonnage des oiseaux marins dans les années 1970, et leur utilisation s'est répandue au cours des décennies suivantes (Briggs *et al.*, 1985; Ainley *et al.*, 2012). Dans de nombreux cas, il s'agit d'une approche peu coûteuse pour dénombrer les oiseaux marins et évaluer la répartition et l'abondance des espèces (Buckland *et al.*, 2012). Parmi les avantages qu'offrent les relevés aériens, il convient de mentionner que ceux-ci permettent à l'observateur d'atteindre rapidement des zones éloignées et d'échantillonner des milieux marins étendus, ce qui facilite la logistique et contribue à réduire les coûts. Toutefois, il est souvent impossible de réaliser des relevés aériens lorsque les conditions météorologiques sont défavorables, ce qui est courant le long de la côte de

la Colombie-Britannique (Colefax *et al.*, 2018), et il est reconnu que la détection et l'identification de certaines espèces présentent des difficultés (Fifield *et al.*, 2016; Kemper *et al.*, 2016).

Des aéronefs avec pilote, comme des avions et des hélicoptères, sont utilisés pour effectuer des relevés avec des observateurs qualifiés ou, plus récemment, des systèmes de caméras numériques (Buckland *et al.*, 2012; Kemper *et al.*, 2016; Colefax *et al.*, 2018; Žydelis *et al.*, 2019; Garcia-Garin *et al.*, 2020). Les relevés par avion permettent de réaliser des économies de temps et d'argent par rapport aux relevés effectués à bord de navires (Kemper *et al.*, 2016), et ils sont moins coûteux que les relevés par hélicoptère si la zone de relevé est étendue (Buckley et Buckley, 2000). D'un point de vue logistique, les hélicoptères peuvent ne pas être aussi pratiques que les avions ou les navires pour atteindre des zones éloignées le long de la côte de la Colombie-Britannique, et leur coût d'exploitation élevé peut être prohibitif lorsque la zone de relevé est très étendue (Fleming et Tracey, 2008). Toutefois, il s'agit d'une solution souple et viable pour réaliser des relevés près du rivage. En 2022, le Service canadien de la faune (Flemming et Ross, données inédites) a utilisé des hélicoptères pour effectuer des relevés d'oiseaux de rivage et de sauvagine dans des zones intertidales et littorales immédiates de la Colombie-Britannique à l'aide d'une approche par transects en bande conçue pour échantillonner les populations de Bécasseaux violets (*Calidris maritima*) et d'Arlequins plongeurs (*Histrionicus histrionicus*; Gutowsky *et al.*, 2019) sur la côte canadienne de l'Atlantique.

Les relevés par aéronef peuvent permettre d'estimer avec une plus grande exactitude les populations d'espèces attirées ou effarouchées par les navires (Tasker *et al.*, 1984; Spear *et al.*, 2004; Fifield *et al.*, 2016; Žydelis *et al.*, 2019), mais ils peuvent aussi perturber les espèces plus sensibles et entraîner une sous-estimation des populations (Chilvers *et al.*, 2015; Kemper *et al.*, 2016). Les aéronefs doivent voler à des altitudes relativement basses (p. ex. moins de 100 m) pour permettre l'identification des espèces, et leur vitesse est nécessairement élevée (p. ex. 250 km/h pour les avions et 170 km/h pour les hélicoptères), ce qui peut poser des risques pour la sécurité des passagers (Kemper *et al.*, 2016; Verfuss *et al.*, 2019; Žydelis *et al.*, 2019). Compte tenu du fait que la vitesse de déplacement est beaucoup moins élevée lorsqu'un relevé est effectué à bord d'un navire, il est probable que les relevés aériens, même à basse altitude, donnent lieu à de plus faibles taux de détection et d'identification des espèces cryptiques, petites, difficiles à identifier ou faisant partie de grands rassemblements d'oiseaux (Fifield *et al.*, 2016; Kemper *et al.*, 2016).

Les coûts liés à la logistique et au personnel sont actuellement semblables pour les relevés basés sur des observations manuelles (c.-à-d. aéronef avec pilote) et numériques (Garcia-Garin *et al.*, 2020). La collecte manuelle de données en vol génère des résultats immédiats; toutefois, ces relevés requièrent habituellement plus de personnel que les relevés numériques (Chabot et Francis, 2016). Dans le cas des relevés numériques, les besoins en personnel sont moins importants pendant le vol, mais les images générées doivent être analysées par des réviseurs (Buckland *et al.*, 2012; Drever *et al.*, 2015; Chabot et Francis, 2016; Boudaoud *et al.*, 2019). L'avantage des techniques d'observation numériques est que les photographies peuvent être archivées et réanalysées au besoin (Chilvers *et al.*, 2015; Chabot et Francis, 2016; Žydelis *et al.*, 2019; Garcia-Garin *et al.*, 2020). Grâce aux nouvelles caméras haute résolution, le

taux de détection des petites espèces ou des espèces cryptiques au moyen de méthodes numériques peut en fait être supérieur à celui des méthodes d'observation manuelles, ce qui accroît l'exactitude des relevés (Buckland *et al.*, 2012; Chabot et Francis, 2016). Grâce au développement de techniques d'apprentissage automatique et d'algorithmes efficaces, l'examen automatisé des relevés numériques pourrait contribuer à réduire les coûts liés à l'analyse des données recueillies lors de relevés aériens (Boudaoud *et al.*, 2019; Garcia-Garin *et al.*, 2020).

1.5.3 Relevés aériens — systèmes d'aéronef sans pilote

Dans la foulée des avancées technologiques réalisées dans les domaines de l'imagerie et de l'analyse, les relevés numériques d'oiseaux marins effectués à l'aide d'UAS ou d'aéronefs sans observateur sont une approche de plus en plus utilisée pour remplacer les relevés à bord de navires en mer (Chabot et Francis, 2015; Colefax *et al.*, 2018; Žydelis *et al.*, 2019; Garcia-Garin *et al.*, 2020). À l'heure actuelle, il est peu courant d'utiliser des UAS pour effectuer des relevés d'oiseaux marins en mer, mais cette approche pourrait être viable et rentable à l'avenir. Les UAS qui peuvent suivre des lignes de transect avec une supervision minimale de l'opérateur sont particulièrement adaptés à la collecte de données en haute mer (Verfuss *et al.*, 2019). Un vol effectué de façon autonome par un pilote automatique le long des transects pourrait accroître la précision de l'échantillonnage spatial et optimiser la collecte des données (Johnston, 2019; McClelland *et al.*, 2016).

Il existe trois principaux types d'UAS : à rotors multiples, à voilure fixe et de transition (combinant rotors et voilure fixe; Johnston, 2019). Les appareils à rotors multiples sont souvent utilisés dans les zones littorales en raison de leur portée limitée (Johnson, 2019). Les UAS à rotors multiples sont probablement les mieux adaptés aux lancements en mer, notamment parce qu'ils ne requièrent qu'une petite aire d'envol, mais une procédure d'étalonnage peut être nécessaire pour assurer leur bon fonctionnement lorsqu'ils sont pilotés depuis un bateau (Johnson, 2019). Lorsqu'un relevé est effectué en mer depuis un navire, il peut être nécessaire de respecter certaines contraintes relatives à la taille et au type d'UAS, ce qui limite donc la charge utile et la portée de l'appareil (Koski *et al.*, 2010). Les UAS à voilure fixe ont généralement une meilleure efficacité de vol que les appareils à rotors multiples, mais le lancement et l'atterrissage sont plus complexes (Colefax *et al.*, 2018; Johnston, 2019). Les UAS de transition combinent les capacités de lancement et d'atterrissage des appareils à rotors multiples et l'efficacité des appareils à voilure fixe, ils pourraient donc être mieux adaptés aux relevés en mer à grande échelle (Johnston, 2019).

Les UAS offrent de nombreux avantages par rapport aux aéronefs avec pilote, notamment une sécurité accrue pour le personnel, mais il y a encore des défis liés à leur utilisation pour la réalisation de relevés d'oiseaux marins en mer. Il s'agit notamment du coût, de la portée, des contraintes d'utilisation liées aux conditions météorologiques, de l'analyse des données, des contraintes logistiques et technologiques, de la perturbation des espèces sauvages et, peut-être le plus important, des permis et des restrictions relatives à l'espace aérien, en particulier pour

les UAS autonomes de longue portée (Koski *et al.*, 2010; Drever *et al.*, 2015; Vas *et al.*, 2015; McClelland *et al.*, 2016; Colefax *et al.*, 2018).

1.5.4 Relevés effectués depuis le rivage

Ce type de relevé est effectué depuis la terre ferme, à partir de positions fixes ou le long de sections du littoral, et couvre des zones marines littorales visibles du rivage. Les approches couramment utilisées pour réaliser des relevés depuis le rivage comprennent l'échantillonnage à distance fixe, par grille et par distance à partir de positions fixes ou de transects non stationnaires (p. ex. Crewe *et al.*, 2012; Waggitt *et al.*, 2014; Ward *et al.*, 2015). Des exemples de dénombrements stationnaires effectués à l'aide d'une méthode d'échantillonnage par distance (Gjerdrum *et al.*, 2012) et d'une méthode d'échantillonnage à distance fixe (Wilhelm et Boyne, 2006) sont évalués par Ronconi *et al.* (2015). Dans les régions où le rivage est accessible, les relevés effectués depuis le rivage sont une méthode de dénombrement des oiseaux marins dans la zone intertidale qui est peu coûteuse et souvent plus simple sur le plan logistique que les relevés à bord de navires ou les relevés aériens. Toutefois, les programmes reposant sur des relevés effectués depuis le rivage sont généralement limités aux côtes facilement accessibles en Colombie-Britannique. La réalisation de relevés depuis le rivage peut appuyer la collecte de données à long terme sur les eaux littorales ou servir de complément aux programmes de recherche menés à bord de navires ou par voie aérienne. En outre, des relevés de ce type peuvent être facilement pris en charge par des membres de la collectivité, ce qui offre des possibilités de collaboration, de partenariat et de mobilisation. Les programmes de sciences communautaires peuvent être une occasion d'appliquer des modèles rigoureux pour estimer les indices de population et évaluer les tendances des populations d'oiseaux marins occupant de vastes zones littorales, et ce, à très faible coût (Crewe *et al.*, 2012; Ward *et al.*, 2015). Dans les régions de la Colombie-Britannique où il est possible d'effectuer des relevés depuis le rivage, ces programmes peuvent fournir de précieux renseignements sur les oiseaux marins dans la zone littorale. Toutefois, les sites de relevé côtiers des programmes existants sont relativement faciles d'accès et, étant donné qu'une grande partie de la côte canadienne du Pacifique est difficile d'accès, ces programmes ne sont pas toujours adaptés.

2 PROTOCOLE DE RELEVÉ PAR TRANSECTS LINÉAIRES

2.1 Introduction aux transects linéaires

L'échantillonnage par distance englobe différentes méthodes, y compris l'échantillonnage par transects linéaires et ponctuels, couramment utilisées pour estimer la densité ou l'abondance d'espèces sauvages (Buckland *et al.*, 2001). Les méthodes d'échantillonnage par transects linéaires permettent d'estimer la densité avec exactitude sans qu'il soit nécessaire de dénombrer tous les individus présents dans la zone de relevé (figure 1; Buckland *et al.*, 2001). Les méthodes par transects linéaires sont de plus adoptées dans le cadre de programmes de relevé d'oiseaux

marins parce qu'elles permettent d'obtenir des estimations quantitatives exactes de la densité (p. ex. Camphuysen *et al.*, 2004; Gjerdrum *et al.*, 2012; Fox *et al.*, 2017) et de l'abondance à l'échelle des populations (p. ex. Goyert *et al.*, 2016), des données fondamentales pour la prise de décisions de gestion et de conservation fondées sur des données probantes (p. ex. Fox *et al.*, 2016).

Lors de la réalisation d'un relevé par transects linéaires, la distance perpendiculaire entre l'oiseau détecté et la ligne de transect est consignée pour chaque observation (figure 1a). La distance perpendiculaire (d) peut être calculée à l'aide de la formule $d = r \times \sin \vartheta$, laquelle repose sur la distance radiale estimée de l'oiseau détecté (r) et l'angle de détection (ϑ) mesuré par un observateur expérimenté (Buckland *et al.*, 2001). Dans certains cas, un observateur expérimenté peut aussi estimer directement la distance perpendiculaire entre l'oiseau et la ligne de transect.

La méthode de relevé par transects linéaires repose sur plusieurs hypothèses clés; consulter les ouvrages de Buckland *et al.* (1993, 2001, 2004 et 2015) pour une explication complète et de plus amples détails sur les transects linéaires en général.

- 1) *Tous les oiseaux sur la ligne de transect sont détectés.* L'abondance peut être sous-estimée si l'hypothèse $g(x)$, qui représente la probabilité de détection, n'est pas maintenue lorsque $g(0) = 1$ (Buckland *et al.*, 2001). La probabilité de détection diminue en fonction de la distance par rapport à la ligne de transect (figure 1).
- 2) *Les distances des oiseaux sont mesurées avec exactitude.* Pour générer une fonction de détection exacte, il est important que la distance perpendiculaire entre l'oiseau et la ligne de transect soit exacte. Cela nécessite une évaluation régulière des distances radiales estimées par les observateurs à l'aide de télémètres ainsi que des mesures exactes des angles des oiseaux détectés, en particulier lorsqu'il s'agit de faibles angles (Thomas *et al.*, 2010). D'autres méthodes de transects linéaires peuvent exiger des observateurs qu'ils évaluent directement les distances perpendiculaires, plutôt que d'estimer les distances radiales et de mesurer les angles. Par ailleurs, lorsque des groupes d'oiseaux sont observés, il faut estimer la distance entre le centre du groupe et la ligne de transect (Buckland *et al.*, 2001).
- 3) *Les oiseaux sont détectés à leur emplacement initial.* En mer, les comportements des oiseaux sont influencés par la présence de navires. Il est courant d'observer des comportements de fuite chez les oiseaux marins, notamment des individus qui plongent ou s'éloignent (p. ex. Lukacs *et al.*, 2010). De telles réactions peuvent réduire la détectabilité à proximité du navire, entraînant probablement une sous-estimation de la densité (Buckland *et al.*, 2015). En revanche, de nombreuses espèces (p. ex. albatros [*Phoebastria* spp.], goélands [*Larus* spp.], etc.) sont attirées par les navires qui représentent une source d'alimentation potentielle (Montevecchi, 2002). Dans de telles situations, le nombre d'oiseaux détectés à proximité du navire est supérieur à ce qu'il aurait été dans des conditions d'observation naturelles et, par conséquent, la densité sera probablement surestimée (Buckland *et al.*, 2015). Pour réduire ces biais, l'observateur

doit demeurer vigilant, effectuer des balayages à l'avant du bateau, consigner chaque observation dès qu'un oiseau est détecté, et s'assurer de ne pas compter deux fois les oiseaux qui volent autour du navire.

De plus, les oiseaux qui se déplacent indépendamment de l'observateur devraient être plus lents que le navire. Il est fréquent que la vitesse de vol des oiseaux soit supérieure à la vitesse du navire, ce qui peut donc accroître le nombre de détections d'oiseaux en vol. Cela peut aussi mener à une surestimation de la densité des oiseaux en vol (Buckland *et al.*, 2015). Les agents de la Région du Pacifique d'ECCC dénombrent systématiquement les oiseaux en vol et les oiseaux sur l'eau, et ils analysent ces données séparément puisque le dénombrement continu des oiseaux en vol ne permet pas de déterminer leur densité « réelle » (p. ex. Fox *et al.*, 2017). La méthode de dénombrement instantané de Tasker (Tasker, 1984) est couramment utilisée en guise de solution de rechange ou de méthode de dénombrement supplémentaire aux fins de l'échantillonnage des oiseaux en vol. L'intégration de l'approche de dénombrement des oiseaux en vol de Tasker (1984) à une méthode d'échantillonnage par distance peut poser des difficultés lorsqu'il s'agit d'estimer la densité des oiseaux détectés sur l'eau et en vol, mais Fifield *et al.* (2017) proposent quelques solutions.

Les distances perpendiculaires, calculées à partir de la distance radiale et de l'angle consignés lors du relevé ou estimées directement par l'observateur (figure 1a), sont utilisées pour générer un histogramme et la courbe qui en résulte est ajustée aux données. Cette courbe correspond à la fonction de détection (figure 1b; Buckland *et al.*, 2001). La fonction de détection doit comporter une « épaule », ce qui signifie que la probabilité de détection reste proche de 1 sur une certaine distance et que le nombre d'oiseaux détectés diminue ensuite en fonction de la distance avec l'observateur (figure 1b).

Des oiseaux marins peuvent échapper à la détection pour de nombreuses raisons. Les espèces de petite taille (Barbraud et Thiebot, 2009) ou au plumage foncé peuvent être plus difficiles à détecter sur l'eau, en particulier dans des conditions de haute mer (Tasker *et al.*, 1984; Evans Mack *et al.*, 2002; Ronconi et Burger, 2009). La distance peut également avoir une incidence sur la détectabilité, la probabilité de détecter un oiseau étant généralement inversement proportionnelle à sa distance par rapport à l'observateur (Buckland *et al.*, 2001). Cette prémisse est un principe central de l'échantillonnage par distance, une méthode qui consiste à utiliser la fréquence des détections à différentes distances de la ligne de transect pour refléter la détectabilité et calculer les estimations de densité (Buckland *et al.*, 2001).

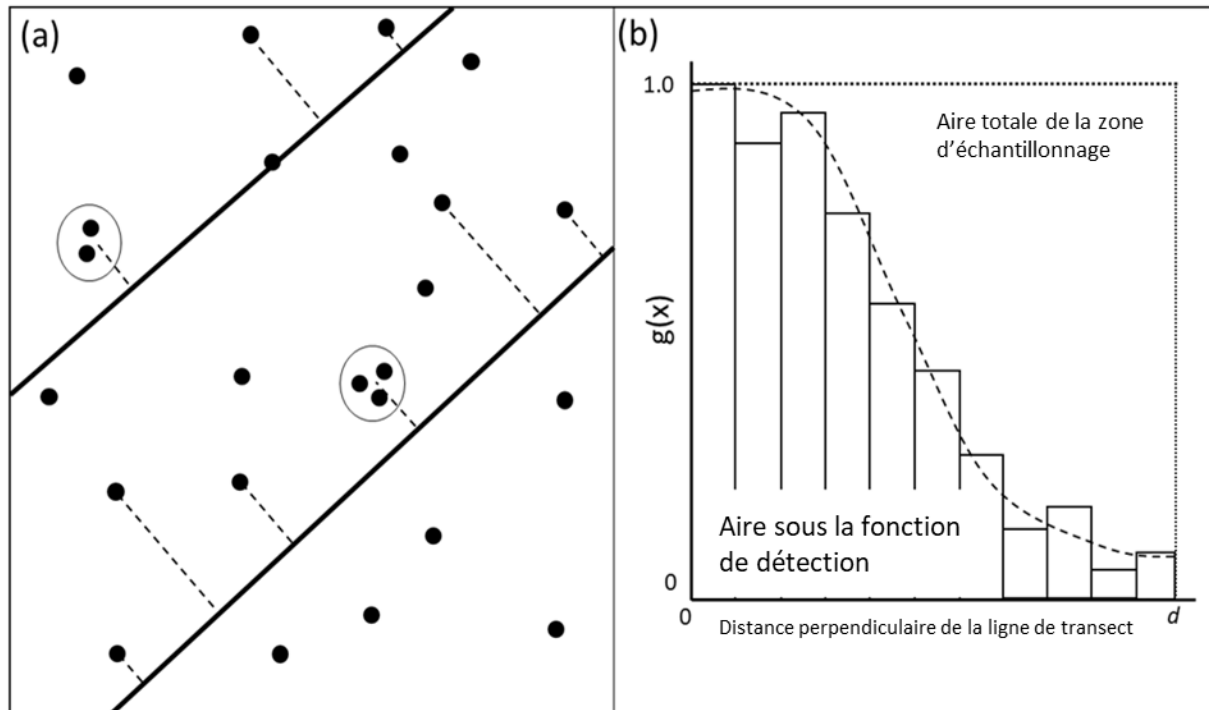


Figure 1. (a) Les oiseaux ou les groupes d'oiseaux détectés (points avec ligne pointillée) le long de deux lignes de transect (lignes continues) sont consignés par un seul observateur du côté bâbord du navire. Les points sans lignes pointillées représentent les oiseaux qui n'ont pas été détectés ou qui se trouvaient du côté tribord du navire (c.-à-d. à l'extérieur du transect). La distance perpendiculaire (ligne pointillée) est calculée à partir de la distance radiale et de l'angle (ou estimée directement). (b) La fonction de détection, c.-à-d. la probabilité de détecter un oiseau à une distance perpendiculaire (d) de la ligne de transect. L'axe des y, $g(x)$, représente la probabilité de détection. La courbe résultante ajustée aux données est la fonction de détection (ligne pointillée). Prendre note de la formation d'une « épaule » dans la fonction de détection lorsque d approche de zéro.

2.2 Plan d'étude

Pour les relevés effectués à l'aide de méthodes par transects linéaires à bord de navires occasionnels, les possibilités sont généralement limitées lors de la conception du plan d'étude. Les principaux éléments à prendre en considération pour la réalisation de relevés à bord de navires occasionnels devraient comprendre l'établissement des objectifs du relevé et la couverture spatiale et temporelle. Si des navires occasionnels sont utilisés, il peut être impossible d'obtenir des estimations quantitatives de l'abondance des espèces d'oiseaux dans la zone d'étude. Toutefois, ce type d'approche est généralement approprié pour les estimations de densité le long de segments de transects, la modélisation prévisionnelle et, possiblement, l'analyse qualitative des tendances dans le temps.

Pour les relevés d'oiseaux marins effectués à l'aide de méthodes par transects linéaires à bord de navires spécialisés, un bon plan d'étude est une condition essentielle pour obtenir des résultats fiables et de qualité (Thomas *et al.*, 2010). Une hypothèse de conception clé pour l'échantillonnage par distance sur transects linéaires est que les individus sont distribués indépendamment des lignes (Buckland *et al.*, 2015). Cette hypothèse est intimement liée au plan d'étude, en ce sens que des transects linéaires devraient être placés aléatoirement dans la zone d'étude. Pour de plus amples renseignements sur les plans d'étude, consulter Buckland *et al.* (2004 et 2015), Thomas *et al.* (2010) et d'autres ouvrages.

Il est recommandé de définir complètement les objectifs de l'étude avant d'entreprendre un relevé, car ils influenceront probablement sur le plan d'étude. Si possible, un projet pilote devrait être mené et des simulations devraient être effectuées à l'aide d'une plage de données possibles et réalistes, en remplacement ou en complément du projet pilote (Buckland *et al.*, 2015). Le plan d'étude devrait indiquer explicitement les espèces ciblées. Le projet consiste-t-il à recueillir des données sur toutes les espèces d'oiseaux marins ou cible-t-il des espèces de certains milieux ou des espèces préoccupantes sur le plan de la conservation? Les relevés par transects linéaires effectués à bord de navires qui comportent des transects aléatoires et systématiques peuvent ne pas être l'approche la plus appropriée pour recenser des espèces dans certains milieux, par exemple la sauvagine dans les milieux littoraux, dont les individus ont tendance à se rassembler le long du rivage. Il est peu probable qu'un plan d'étude « universel » permette d'évaluer adéquatement la densité et la répartition de toutes les espèces. Cependant, compte tenu de l'absence d'information récente ou du manque de renseignements de base sur les oiseaux marins qui se rencontrent dans une grande partie de la côte de la Colombie-Britannique, les relevés par transects linéaires effectués à bord de navires peuvent servir à générer une base de données de référence quantitative, et ils constituent une ressource fondamentale pour poser d'autres hypothèses ou questions plus ciblées qui peuvent nécessiter des relevés plus adaptés.

2.3 Exigences relatives à l'observation

Les relevés par transects linéaires requièrent souvent de longues périodes d'observation en mer. Les observateurs doivent être prêts à travailler seuls (si l'approche de relevé effectué par un observateur d'un seul côté du navire est adoptée) ou plus fréquemment en groupe, sur des navires de différentes tailles. Les observateurs doivent demeurer vigilants et consigner des observations pendant plusieurs heures par jour, souvent par mauvais temps. Les conditions à bord peuvent varier considérablement en fonction de la saison, de la taille du navire et de la zone marine étudiée. Les observateurs devraient avoir de l'expérience de travail en mer agitée et connaître leur niveau de sensibilité au mal de mer.

La consignation juste des données, le souci du détail et le respect rigoureux du protocole sont essentiels à l'efficacité et à l'exactitude des relevés. Pour assurer l'exactitude des données, les observateurs devraient maîtriser l'identification des oiseaux marins de l'océan Pacifique Nord et être capables d'identifier rapidement les oiseaux jusqu'au rang de l'espèce lorsque cela est possible, et ce, dans tous les plumages et toutes les conditions météorologiques. Il est utile de connaître l'écologie et le comportement des oiseaux marins.

Les observateurs doivent suivre rigoureusement le protocole de relevé et passer du temps à le passer en revue et à s'exercer en compagnie d'observateurs plus expérimentés avant de commencer à effectuer des relevés. Ils doivent notamment suivre une formation régulière sur l'estimation des distances à l'aide d'un télémètre. Pour participer à la collecte de données lors des relevés par transects linéaires de la Région du Pacifique d'ECCC, les observateurs doivent effectuer 100 estimations de distance avec une exactitude moyenne de 15 %. Si l'exactitude de leurs estimations est inférieure à 15 %, les observateurs doivent poursuivre leur formation avant de pouvoir recueillir des données. Des fonctions de détection devraient également être générées régulièrement pour chaque observateur afin de cerner tout problème lié au respect du protocole, notamment la « surveillance » de la ligne de transect (c.-à-d. passer plus de temps à observer dans la zone près de la ligne de transect).

2.4 Méthodes

2.4.1 Avant le relevé

Pour effectuer un relevé par transects linéaires, chaque observateur qualifié doit avoir : un exemplaire du protocole de relevé par transects linéaires, des jumelles et un appareil GPS connecté à un appareil mobile sur lequel une application de saisie de données adaptée doit être installée. Les agents de la Région du Pacifique d'ECCC utilisent actuellement SeaScribe (BOEM, 2019). Une liste complète du matériel recommandé est fournie à l'annexe 1.

Avant de commencer un relevé, les observateurs devraient se familiariser avec le navire de relevé et choisir la ou les plateformes d'observation optimales. Les plateformes doivent être à l'extérieur et offrir un bon point d'observation et un angle de vue dégagé de 90° à bâbord et à tribord ou d'un seul côté du navire (si le relevé est effectué par un seul observateur). Si le relevé

est effectué des deux côtés du navire (c.-à-d. un observateur à bâbord et un à tribord), la plateforme devrait être suffisamment spacieuse pour que les deux observateurs puissent l'utiliser simultanément en toute sécurité. Pour les relevés par transects linéaires, il est recommandé que deux observateurs échantillonnent les oiseaux des deux côtés du navire dans la mesure du possible (Buckland *et al.*, 1993, 2015).

Il incombe aux observateurs de s'assurer que rien ne réduit la probabilité de détecter des oiseaux de 0 à 90° sur une plateforme donnée. Il faut mesurer la hauteur de la plateforme d'observation et la hauteur des yeux de l'observateur par rapport à la surface de l'eau. En règle générale, la hauteur des yeux de l'observateur est mesurée en eaux calmes, et il s'agit d'additionner la hauteur du pont par rapport à la ligne d'eau à la hauteur des yeux de l'observateur. Si plusieurs navires sont utilisés pour réaliser un relevé, les observations devraient idéalement être effectuées depuis des plateformes de hauteur semblable. Il est à noter que l'utilisation de plateformes de différentes hauteurs peut également être incluse comme covariable d'une future analyse d'échantillonnage par distance. Pour les relevés par transects linéaires réalisés actuellement par la Région du Pacifique d'ECCC dans les eaux côtières, y compris dans les bras de mer, il est préférable que la hauteur de la plateforme soit supérieure à trois mètres. Toutefois, des navires de plus grande taille, avec des plateformes de plus de cinq mètres, sont généralement utilisés pour effectuer des relevés en haute mer.

S'il s'agit d'un relevé à un seul observateur, l'observateur doit choisir le côté du navire qu'il échantillonnera avant de commencer le relevé. Habituellement, cette décision dépend des conditions environnementales, c.-à-d. le côté qui permet de réduire l'éblouissement, le vent, le brouillard, etc. Si les conditions environnementales ou la direction du navire changent lors d'un relevé effectué par un seul observateur, l'observateur doit se placer du côté offrant la meilleure visibilité. L'emplacement et l'heure exacts du changement de côté doivent être consignés.

2.4.2 Effort de relevé

Durant un relevé, les observateurs peuvent : effectuer un échantillonnage sur le transect (c.-à-d. dans le cadre d'un relevé systématique); effectuer un échantillonnage en transit; interrompre l'échantillonnage. L'échantillonnage ne doit être interrompu que lorsque l'observateur prend une pause ou que les conditions d'observation sont trop mauvaises (faible luminosité, mauvaises conditions météorologiques, etc.). Les observateurs devraient toujours effectuer un échantillonnage sur les transects et, dans la mesure du possible, continuer l'échantillonnage durant les déplacements entre les transects. La fatigue de l'observateur est un facteur à prendre en considération, et des pauses devraient être prises lors des déplacements entre les transects. Si plusieurs observateurs sont présents, leurs pauses doivent être décalées pour maximiser l'effort d'échantillonnage. En règle général, il faut privilégier l'échantillonnage sur les transects préétablis, mais l'échantillonnage en transit est aussi très utile et il est donc recommandé de consigner des observations aussi souvent que possible.

Idéalement, les relevés devraient être effectués dans des conditions satisfaisantes à excellentes (p. ex. force 0 ou 1 sur l'échelle de Beaufort). Un relevé ne doit pas être effectué si l'observateur

estime que les conditions ne permettent plus de détecter 100 % des oiseaux sur la ligne de transect (c.-à-d. à 0°). Généralement, depuis une plateforme d'environ 3 m de haut, ECCC interrompt le relevé lorsque l'état de la mer atteint une force 5 ou plus sur l'échelle de Beaufort (annexe 2, tableau 2), que la vitesse du vent atteint environ 25 milles marins à l'heure (ci-après « nœuds ») ou que l'éblouissement, les précipitations, la fumée ou le brouillard nuisent à la détection des oiseaux sur la ligne de transect. Il est à noter que les valeurs maximales susmentionnées sont approximatives. Par exemple, les relevés effectués en haute mer par ECCC à bord de navires comportant une plateforme de 3 m sont généralement interrompus si la vitesse du vent atteint 15 à 20 nœuds, alors qu'il est possible de tolérer des vitesses supérieures si les relevés sont effectués à bord d'un navire semblable dans des bras de mer ou des eaux plus abritées puisque le fetch et la hauteur des vagues subséquentes y sont atténués. De plus, les conditions environnementales propices à la réalisation des relevés dépendent en partie de la taille du navire et de la hauteur de la plateforme. À bord de grands navires dotés de plateformes d'observation plus hautes, il peut être possible d'effectuer un relevé lorsque l'état de la mer dépasse 5 sur l'échelle de Beaufort. En outre, dans le cas de relevés effectués à bord de plus petites embarcations comme les zodiacs, le seuil de réalisation du relevé est probablement nettement inférieur à 5 sur l'échelle de Beaufort. Les observateurs doivent s'assurer que les hypothèses fondamentales de l'échantillonnage par distance sont maintenues et se montrer raisonnables et prudents lorsqu'il s'agit de déterminer s'il faut interrompre un relevé.

Si le navire est immobilisé pour quelque raison que ce soit, les observateurs doivent interrompre immédiatement le relevé; ils devront reprendre l'échantillonnage dès que le navire recommencera à se déplacer. Si le navire est immobilisé pendant une période prolongée ou que des déchets sont rejetés dans l'eau, il faut attendre au moins 10 minutes après que le navire ait recommencé à se déplacer pour reprendre l'échantillonnage, ce qui permet de laisser derrière les oiseaux qui s'étaient rassemblés autour du navire.

2.4.3 Protocole de relevé

Le présent protocole de relevé par transects linéaires, inspiré de ceux de Raphael *et al.* (2007) et Fox *et al.* (2017), vise à générer des données comparables aux renseignements disponibles recueillis dans le cadre de relevés par transects linéaires réalisés dans la région, pour que ces données puissent être intégrées aux données existantes recueillies par ECCC lors de relevés par transects en bande, le cas échéant. Ce protocole comprend des dénombrements continus des oiseaux en vol, en partie parce que le protocole de relevé par transects en bande actuel d'ECCC repose également sur cette approche.

Avant de commencer à échantillonner un transect, l'observateur doit consigner les renseignements sur le relevé et les conditions environnementales (tableau 3). S'il s'agit d'un relevé préétabli, un numéro d'identification unique est généralement attribué à chaque ligne de transect au moment de sa création. Depuis la plateforme d'observation, l'observateur recherche des oiseaux d'un côté du navire, dans un arc (figure 2) de 0° (c.-à-d. sur la ligne de transect) à 90° (ligne perpendiculaire). Pour détecter tous les oiseaux sur la ligne de transect, l'observateur doit exercer une surveillance permanente. L'observateur doit effectuer un balayage à l'œil nu de 0

à 90°, puis de 90 à 0°, en consacrant plus de temps aux zones situées à l'avant du navire (c.-à-d. la majeure partie du temps à la zone de 0 à 30°, un peu moins à la zone de 30 à 60° et encore moins à celle de 60 à 90°). Un balayage complet (de 0 à 90°, puis retour à 0°) doit prendre environ 8 à 10 secondes. Les jumelles ne doivent être utilisées que pour effectuer des balayages rapides et fréquents de la zone de 0 à 30° afin de détecter les oiseaux qui tentent d'éviter le navire, et identifier les espèces dans la zone de 0 à 90°. Aucune distance de détection maximale n'est définie pour les observations, mais l'observateur doit se concentrer sur les oiseaux devant le navire et, en règle générale, ceux qui se trouvent à 300 m ou moins du navire. Les exceptions courantes sont les oiseaux de grande taille comme les albatros et les grands rassemblements d'oiseaux, qu'il est facile de détecter bien au-delà de 300 m.

Pour les relevés effectués des deux côtés du navire, les balayages sont effectués simultanément entre 0 et 90° à bâbord et à tribord, par un observateur à bâbord et un autre à tribord. Les observateurs doivent communiquer entre eux pour s'assurer de ne pas compter deux fois les oiseaux qui traversent la ligne de transect ou sont près de cette dernière.

Pour chaque observation, l'observateur doit consigner l'espèce, le nombre d'individus, la distance radiale, l'angle et le comportement au moment de la détection (tableau 3). Toutes les détections entre 0 et 90° doivent être consignées, et ce, sans égard à la distance de l'oiseau ou à son identification. Les estimations de distance radiale et d'angle doivent être aussi exactes que possible, et les valeurs ne doivent pas être arrondies. Pour favoriser l'exactitude de la mesure des angles, des détecteurs d'angle fixes électroniques (p. ex. rapporteur d'angle numérique) ou manuels (p. ex. grand panneau ressemblant à un rapporteur d'angle surdimensionné avec un pointeur mobile), ou des appareils similaires doivent être utilisés dans la mesure du possible. Si cela peut être utile, l'observateur devrait également fabriquer une jauge de distance à l'aide d'une règle en plastique transparent pour faciliter l'estimation de la distance lorsqu'il est possible de voir clairement l'horizon (annexe 3, figure 4). Une observation peut porter sur un individu ou un groupe d'individus, dont le nombre doit être estimé lorsqu'il s'agit de grands rassemblements (annexe 4, figure 5). Des oiseaux qui se trouvent à moins de deux mètres l'un de l'autre ou qui ont un comportement similaire (p. ex. une volée d'oiseaux) sont considérés comme un groupe. La distance radiale et l'angle doivent être estimés à partir du centre du groupe.

Chaque oiseau ne doit être compté qu'une seule fois. Pour les taxons qui suivent ou survolent le navire (p. ex. albatros, goélands) ou qui ont tendance à s'envoler pour se poser plus loin devant le navire (les puffins [*Ardenna* spp.], les guillemots [*Uria* spp.], etc.), il ne faut consigner qu'une seule observation. L'observateur devrait regarder derrière le navire de temps à autre pour vérifier si des oiseaux le suivent. Si un navire de pêche actif est présent pendant un relevé, son emplacement devrait être consigné, car les navires de pêche peuvent influencer la répartition des oiseaux marins sur des dizaines de kilomètres.

De grands rassemblements d'oiseaux sur l'eau ou en vol sont fréquents (p. ex. autour des boules d'appâts) et les comportements doivent être consignés séparément. Pour chaque espèce ou groupe d'espèces (p. ex. goélands non identifiés), l'observateur devrait rapidement estimer le nombre total d'individus, puis estimer la proportion d'individus en vol et sur l'eau; les oiseaux en vol et sur l'eau doivent faire l'objet d'observations distinctes. Si un grand rassemblement

d'oiseaux est observé et qu'une partie des individus sont à l'extérieur du transect (c.-à-d. de l'autre côté du navire), ce qui se produit souvent lors d'un relevé effectué d'un seul côté du navire, seules les observations d'oiseaux dans le transect devraient être consignées. Si le groupe se déplace dans le transect par la suite, l'observateur devrait ajuster en conséquence le nombre d'individus et les comportements consignés lors de l'observation initiale. Si le groupe sort du transect par la suite, aucun changement n'est apporté à l'observation. Il est à noter que d'autres approches consistent à ne pas consigner l'observation si le centre du groupe est à l'extérieur du transect (p. ex. Gjerdrum *et al.*, 2012). Lors de relevés effectués d'un seul côté du navire en Colombie-Britannique, des observateurs ont rapporté des groupes extrêmement importants d'oiseaux (des rassemblements plurispécifiques comptant souvent des milliers d'individus) qui s'étendaient à bâbord et à tribord. Par le passé, les observateurs ont souvent eu de la difficulté à appliquer de façon cohérente la recommandation selon laquelle il faut exclure les observations de groupes dont le centre est hors transect. Plus particulièrement, des observateurs ont indiqué que cela posait des problèmes lors de l'observation de grands rassemblements puisque les oiseaux sont parfois dispersés le long des lignes de marée et détectés à de grandes distances. Par conséquent, il a été déterminé que seuls les oiseaux détectés dans le transect doivent être consignés lors d'un relevé réalisé selon le protocole de la Région du Pacifique d'ECCC.

Durant un relevé, la vitesse de déplacement du navire devrait être de huit à dix nœuds (préférentiellement dix nœuds). Toutefois, pendant les périodes au cours desquelles de nombreuses observations sont effectuées, l'observateur doit veiller à ce que tous les oiseaux sur la ligne de transect soient détectés pour maintenir cette hypothèse. Il est permis de réduire temporairement la vitesse du navire à six nœuds pour s'assurer que tous les oiseaux dans le transect sont détectés pendant les périodes de forte activité. La vitesse du navire ne devrait pas être inférieure à cinq nœuds et toutes les données recueillies alors que le navire se déplace à moins de cinq nœuds pourraient être exclues des analyses ultérieures.

En présence d'un grand nombre d'oiseaux, l'observateur doit maintenir l'hypothèse selon laquelle tous les oiseaux sur la ligne de transect sont détectés. Il peut être difficile de maintenir cette hypothèse en raison du temps consacré à l'identification d'espèces difficiles à identifier, comme les goélands, pendant les périodes de forte activité (c.-à-d. densité élevée). L'observateur doit exercer une surveillance soutenue devant le navire; continuer à effectuer des balayages conformément au protocole, dans la mesure du possible; se contenter d'identifier au niveau du groupe ou de la famille les individus appartenant à des espèces difficiles à identifier; tenir compte du fait que les distances de détection peuvent être réduites. La consignation des données au moyen d'enregistrements audio (par opposition à la communication des observations à un membre de l'équipe chargé de la prise de notes) permet de consigner davantage d'observations par minute. Le recours aux enregistrements audio, combiné à la réduction de la vitesse du navire à six nœuds lorsque cela est nécessaire, permet donc de maximiser la collecte de données pendant les périodes de forte activité.

À l'approche d'un transect, et en particulier lorsqu'un virage serré est effectué pour rejoindre un transect, il est fréquent que les oiseaux présents dans le secteur plongent ou s'éloignent. Pour éviter d'omettre ces observations qui auraient été consignées pendant la période

d'échantillonnage, l'observateur devrait prendre note de tous les oiseaux situés à proximité du transect qui s'éloignent ou plongent tandis que le navire s'approche de la ligne de transect (annexe 5, figure 6). L'observateur consignera ces observations lorsqu'il commencera à échantillonner le transect. Il arrive à l'occasion que le navire ne puisse pas accéder à une zone au début d'un transect, que ce soit en raison de la profondeur ou de la présence de débris, d'une allingue ou d'un autre obstacle. Lorsque le navire approche de la partie navigable de la ligne de transect, l'observateur devrait effectuer un balayage d'environ 300 m vers le début de la ligne de transect, ou aussi loin que possible, pour détecter tous les oiseaux qui auraient été consignés dans la zone inaccessible. L'observateur consignera ces observations lorsqu'il commencera à échantillonner le transect (annexe 5, figure 6). Cette approche consiste en fait à consigner les observations faites derrière le navire sur une distance d'environ 300 m, comme c'est le cas à la fin du transect.

Lorsque l'échantillonnage d'un transect est terminé et que les données sont consignées à l'aide d'un appareil électronique, il est possible que l'observateur ait plusieurs observations à consigner alors que le navire s'éloigne du transect. Ces observations doivent être consignées le plus rapidement possible (c.-à-d. à l'aide d'un enregistrement audio) pour éviter d'avoir à corriger les données après le relevé (c.-à-d. pour placer ces dernières observations sur le transect).

Tableau 3. Variables relatives aux conditions environnementales et aux relevés consignées par les observateurs effectuant des relevés d'oiseaux marins par transects linéaires selon l'approche d'ECCC. Ce tableau est conçu pour un relevé réalisé par un seul observateur (c.-à-d. un relevé effectué d'un seul côté du navire, à bâbord ou à tribord), mais il est recommandé d'échantillonner les deux côtés du navire lors d'un relevé par transects linéaires. Il convient de noter que les conditions environnementales maximales pour la réalisation d'un relevé par transects linéaires s'appliquent aux navires de taille moyenne avec une plateforme de trois mètres ou plus. Des conditions (échelle de Beaufort, vent, houle et détectabilité) plus difficiles peuvent être convenables à bord de grands navires.

Variable	Description
Identificateur du relevé	ECCC utilise un format normalisé : AAAAMMJJ_ZoneRelevé_Navire_InitialesObservateur
Identificateur du transect	Habituellement un nombre
Navire (plateforme)	Nom du navire
Côté échantillonné	Bâbord ou tribord
Emplacement de l'observateur	À l'intérieur ou à l'extérieur
Nom de l'observateur	Le nom de l'observateur
Hauteur des yeux ^a	1,5 m ou plus
État de la mer ^b	De 0 à 5 sur l'échelle de Beaufort ^c
Vitesse du vent	De 0 à 25 nœuds approximativement
Visibilité	De 0 km à illimitée
Hauteur de la houle	De 0 à 5 m ^d
Précipitations ^e	Oui ou non
Éblouissement ^f	Oui ou non
Brouillard	Oui ou non
Fumée	Oui ou non
Détectabilité ^g	De 1 à 5
Espèce	Code de quatre lettres
Nombre d'individus	Plus de 0
Comportement	En vol, sur l'eau ^h ou sur la terre ferme
Distance radiale de l'observateur	De 0 m à illimitée ⁱ
Angle radial (par rapport à la ligne de transect)	De 0 à 90°

^a Hauteur des yeux de l'observateur par rapport à la surface de l'eau = hauteur de la plateforme + hauteur des yeux de l'observateur. ^b Une description est fournie à l'annexe 2. ^c Le seuil de

réalisation d'un relevé est de 5 sur l'échelle de Beaufort. ^d Exceptionnellement, il peut être possible d'effectuer un relevé dans des conditions qui correspondent aux conditions environnementales maximales ou qui dépassent ces seuils. Il faut faire preuve de jugement pour déterminer si une hypothèse clé des relevés par transects linéaires (c.-à-d. $g[0] = 1$) peut être maintenue. ^e Comprend toutes les formes de précipitations (pluie, grêle, neige, etc.). ^f Si l'éblouissement se produit dans la zone d'observation. ^g Mesure englobant de multiples variables environnementales; se reporter aux définitions des catégories de détectabilité d'ECCC (tableau 4). ^h Comprend les oiseaux perchés sur des objets flottants. ⁱ Un observateur peut détecter des oiseaux à plus de 300 m, mais l'accent devrait être mis sur les oiseaux qui se trouvent à environ 300 m ou moins du navire.

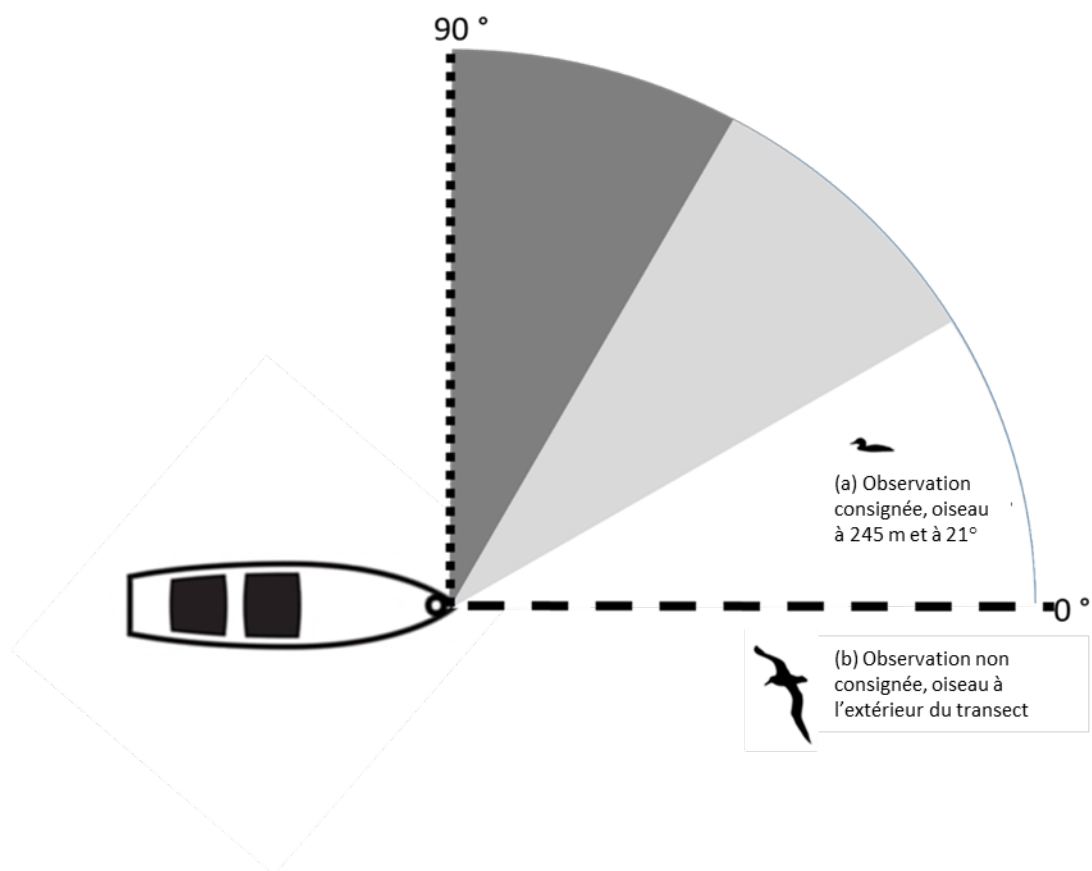


Figure 2. Représentation graphique d'un relevé par transect linéaire effectué par un seul observateur (cercle) du côté bâbord d'un navire se déplaçant de gauche à droite. La ligne de transect à 0° est représentée par la ligne tiretée, et la ligne d'observation à 90°, par la ligne pointillée. L'échelle de gris représente des segments de 30° dans la zone d'observation. L'observateur doit effectuer un balayage en 8 à 10 secondes, et il doit consacrer davantage de temps au segment de 0 à 30° (blanc), un peu moins au segment de 30 à 60° (gris pâle), et encore moins au segment de 60 à 90° (gris foncé). La zone à l'intérieur des lignes tiretée et pointillée est considérée comme étant à l'intérieur du transect, toutefois, il n'y a pas de distance maximale pour les observations. L'observateur consigne les observations d'oiseaux à l'intérieur du transect lorsqu'il les détecte. L'oiseau (a), un huard (*Gavia* spp.), est posé sur l'eau à 245 m et à 21°. L'oiseau (b), un albatros (*Phoebastria* spp.), est à l'extérieur du transect. Pour que cette observation puisse être consignée, il faudrait que l'oiseau franchisse la ligne de transect à 0°. Dans le cadre d'un relevé effectué d'un seul côté, la ligne de transect à 0° doit être alignée avec l'observateur et non pas avec la proue du navire. Pour un relevé effectué des deux côtés, il faut établir la ligne de transect à 0° pour chaque observateur, ce qui peut varier selon le protocole adopté.

2.4.4 Renseignements sur les conditions environnementales

Il est important de consigner avec exactitude les renseignements sur les conditions environnementales, car les conditions météorologiques peuvent influencer considérablement sur la détectabilité. Les renseignements sur les conditions environnementales doivent être mis à jour toutes les 30 minutes durant le relevé, ou plus fréquemment si les conditions changent. Les renseignements sur les conditions environnementales dont la consignation est obligatoire pour chaque transect sont l'état de la mer (annexe 2, tableau 2), la vitesse du vent, la hauteur de la houle et les précipitations (tableau 3). L'éblouissement ou la présence de brouillard ou de fumée dans la zone d'observation de 90° doivent également être consignés. ECCC utilise une échelle de détectabilité générale (tableau 4), qui combine différentes variables environnementales, comme l'état de la mer, le vent, le brouillard et l'éblouissement, en une seule mesure, ce qui est utile pour les projets d'échantillonnage par distance à covariables multiples (p. ex. Marques *et al.*, 2007; Fox *et al.*, 2017).

Tableau 4. Catégories de détectabilité et définitions. Les descriptions représentent les conditions pouvant être généralisées par l'observateur d'après les conditions réelles. Par exemple, si la luminosité est modérée et que les autres conditions sont bonnes, la détectabilité est considérée comme étant moyenne (catégorie 3). Les catégories de détectabilité correspondent à la probabilité approximative de détecter un petit oiseau cryptique à une certaine distance (p. ex. 200 à 300 m). Ces catégories de détectabilité ont été établies pour des navires de taille moyenne avec une plateforme d'observation de trois mètres ou plus, et elles doivent donc être adaptées en fonction du relevé à réaliser. Il est à noter qu'il est possible que l'échelle de Beaufort ne puisse pas être appliquée directement dans des zones abritées ou des bras de mer. Adaptation de Fox *et al.*, 2017.

Détectabilité	Description
1 — Excellente	Force 0 ou 1 sur l'échelle de Beaufort; aucun brouillard ni éblouissement dans la zone d'observation; temps clair, excellente luminosité.
2 — Bonne	Force 2 ou moins sur l'échelle de Beaufort; faible houle (c.-à-d. généralement moins de 2 m); absence de moutons; aucun brouillard ni éblouissement dans la zone d'observation; bonne luminosité.
3 — Moyenne	Force 3 ou moins sur l'échelle de Beaufort; houle modérée (c.-à-d. généralement de 1 à 4 m); brouillard ou éblouissement possible, mais sans incidence sur la détectabilité de 0 à 30°; luminosité moyenne.
4 — Faible	Force 4 ou moins sur l'échelle de Beaufort; forte houle (c.-à-d. généralement de 2 à 6 m); visibilité réduite en raison du vent, des vagues, du brouillard, de l'éblouissement, etc.; un taux de détection de 100 % à 0° est encore jugé possible; faible luminosité.
5 — Trop faible pour effectuer le relevé	Détectabilité trop faible pour assurer un taux de détection de 100 % à 0° en raison d'une valeur supérieure ou égale à 5 sur l'échelle de Beaufort; houle extrême; visibilité limitée en raison du vent, des vagues, du brouillard, de l'éblouissement, de la luminosité, etc.

2.4.5 Autres taxons

Les observations d'espèces marines rares devraient être consignées dans la mesure du possible. Pour les observations d'oiseaux rares à l'extérieur de la zone de relevé ou des transects, les détails requis sont les suivants : l'espèce, le nombre d'individus, le comportement (en vol, sur l'eau, sur la terre ferme), la latitude et la longitude ainsi que la date. Il convient également de prendre des photos du ou des individus rares dans la mesure du possible.

Voici quelques espèces rares susceptibles d'être observées : des mammifères marins (p. ex. baleine noire du Pacifique Nord [*Eubalaena japonica*], grand dauphin commun [*Tursiops truncatus*]); des reptiles marins (p. ex. tortue luth [*Dermochelys coriacea*], tortue caouanne [*Caretta caretta*]); des poissons (p. ex. espadon [*Xiphias gladius*]); des requins (p. ex. pèlerin [*Cetorhinus maximus*]). Les observations de ces espèces devraient être consignées de la même façon, et elles doivent être signalées au ministère des Pêches et des Océans.

Il incombe à l'observateur de déterminer, selon l'espèce en cause, si le relevé devrait être interrompu pour prendre des photos et consigner l'observation de façon exhaustive. Les exploitants de navires doivent respecter la réglementation canadienne sur les mammifères marins (*Règlement sur les mammifères marins*, DORS/93-56), et surpasser les exigences en cette matière dans la mesure du possible.

2.4.6 Saisie des données

Étant donné que la saisie des données est complexe et que l'observateur doit demeurer vigilant pour s'assurer que tous les oiseaux sur la ligne de transect sont détectés, une autre personne peut saisir les données à l'aide d'un appareil électronique. Lors de périodes de forte activité, il a été déterminé que les enregistrements audio effectués par l'observateur sont plus efficaces et permettent de maximiser le nombre d'observations consignées. SeaScribe (BOEM, 2019) est une application qui peut être utilisée lors des relevés réalisés par ECCC dans la région du Pacifique. Cette application facilite la collecte électronique de données lors de relevés en mer et permet d'effectuer des enregistrements audio facilement. Un observateur seul peut donc consigner des observations au moyen d'enregistrements audio et saisir les données ultérieurement. Pour recueillir des données GPS exactes, l'application SeaScribe doit être connectée à un appareil GPS externe. L'utilisateur peut créer des formulaires de collecte de données adaptés à son protocole de relevé. Différentes méthodes de saisie des données par voie électronique peuvent être utilisées, et d'autres approches devraient voir le jour dans les années à venir.

2.5 Analyse des données

Ultimement, ce sont les objectifs du projet qui détermineront la nature et la portée de l'analyse des données. Plusieurs moteurs d'analyse peuvent être utilisés pour traiter des données d'échantillonnage par distance, y compris l'échantillonnage par distance classique,

l'échantillonnage par distance à covariables multiples et l'échantillonnage par distance avec marquage-recapture, cette dernière méthode étant principalement utilisée pour traiter les données de relevés par transects linéaires à double plateforme. La modélisation de la densité à la surface (Hedley et Buckland, 2004; Miller *et al.*, 2013) fait généralement partie des objectifs des relevés d'espèces marines par transects linéaires, et il est possible de créer des modèles de densité à la surface à l'aide du logiciel autonome Distance (Thomas *et al.*, 2010), du logiciel statistique R (R Core Team, 2021) ou du progiciel R associé à Distance (Miller *et al.*, 2019). Il est aussi possible d'utiliser les densités estimées le long de segments de transects dans le cadre de toute approche de modélisation de la densité à la surface, comme l'apprentissage automatique d'ensemble (p. ex. Fox *et al.*, 2017). Comme pour la conception des relevés, des sources faisant autorité offrent des lignes directrices, des exemples et de la formation (p. ex. Buckland *et al.*, 2004 et 2015; Hedley et Buckland, 2004; Thomas *et al.*, 2010; Miller *et al.*, 2013; Centre for Research into Ecological and Environmental Modelling de l'Université de St. Andrews). De l'information et une formation sur l'échantillonnage par distance sont également disponibles à l'adresse suivante : <https://workshops.distancesampling.org/online-course/index.html>.

3 PROTOCOLE DE RELEVÉ PAR TRANSECTS EN BANDE

3.1 Introduction aux transects en bande

L'échantillonnage par transects en bande est une méthode de relevé qui permet d'estimer la répartition et l'abondance relatives des populations. Cette méthode est souvent utilisée pour réaliser des relevés d'oiseaux en mer à bord de navires puisqu'il est facile d'organiser et de mettre en œuvre des relevés par transects en bande (Hyrenbach *et al.*, 2007). Les relevés par transects en bande reposent sur l'hypothèse clé selon laquelle toutes les observations d'oiseaux à l'intérieur d'une bande d'une largeur prédéfinie sont consignées (Hyrenbach *et al.*, 2007). La largeur de bande maximale est habituellement fixée à 250 m pour les relevés réalisés par la Région du Pacifique d'ECCC, mais une largeur de bande de 300 m est aussi couramment utilisée (p. ex. Spear *et al.*, 2004). Étant donné que la détectabilité des oiseaux en mer peut être fortement influencée par l'espèce, les précipitations, l'état de la mer et la distance par rapport au navire (Ronconi et Burger, 2009), la largeur de bande peut être modifiée pour veiller au maintien de l'hypothèse clé (Hyrenbach *et al.*, 2007). L'observateur doit demeurer vigilant pour s'assurer que tous les oiseaux dans la bande sont dénombrés, et ainsi éviter que l'abondance soit sous-estimée.

Les agents de la Région du Pacifique d'ECCC effectuent des dénombrements continus des oiseaux en vol lors des relevés par transects en bande (p. ex. Kenyon *et al.*, 2009). Les dénombrements continus, en particulier lorsque les oiseaux se déplacent plus rapidement que le navire, entraînent une surestimation de la densité des oiseaux en vol ou des « flux » d'oiseaux (Spear *et al.*, 1992). Tasker (1984) propose de remplacer les dénombrements continus d'oiseaux en vol par une série de dénombrements instantanés (souvent appelés « instantanés ») pour

réduire ou éliminer la surestimation de la densité due aux flux d'oiseaux. Lorsque la méthode des dénombrements instantanés a été élaborée (Tasker, 1984), les dénombrements continus d'oiseaux en vol avaient déjà été intégrés au protocole de la Région du Pacifique d'ECCC; cette pratique a donc été maintenue pour des raisons de compatibilité avec les données historiques. De plus, les dénombrements continus d'oiseaux en vol augmentent la probabilité d'observation d'espèces rares ou peu communes, et permettent de comparer les densités relatives estimées dans l'espace et le temps. Toutefois, il convient de noter que la méthode des dénombrements instantanés (Tasker, 1984) pourrait être intégrée à un protocole de relevé par transects en bande avec échantillonnage continu, ce qui permettrait d'effectuer à la fois des dénombrements continus et instantanés des oiseaux en vol.

3.2 Plan d'étude

En règle générale, les possibilités sont limitées lors de la conception d'un plan d'étude pour la réalisation d'un relevé par transects en bande à bord de navires occasionnels. Comme dans le cas des relevés par transects linéaires effectués à bord de navires occasionnels, les principaux éléments à prendre en considération pour la réalisation de relevés par transects en bande à bord de navires occasionnels devraient comprendre les objectifs du relevé, les contraintes financières, la disponibilité d'observateurs qualifiés ainsi que la couverture spatiale et temporelle. Cette approche est appropriée pour l'estimation de la densité relative le long de segments de transects (p. ex. Kenyon *et al.*, 2009), la modélisation prévisionnelle et, possiblement, l'analyse qualitative des tendances de répartition ou d'abondance, ce qui suppose de tenir compte de certaines mises en garde et considérations importantes (Miller *et al.*, 2021). Compte tenu de la taille des échantillons requise pour l'échantillonnage par distance (Buckland *et al.*, 2015), la Région du Pacifique d'ECCC a effectué un nombre limité de relevés par transects en bande à bord de navires spécialisés sur une courte période. En général, si un navire spécialisé peut être utilisé et que les ressources disponibles permettent d'effectuer suffisamment de relevés, il est préférable de privilégier les relevés par transects linéaires plutôt que les relevés par transects en bande, lorsque cela est possible.

3.3 Exigences relatives à l'observation

Les relevés par transects en bande requièrent souvent de longues périodes d'observation en mer. Les observateurs doivent être prêts à travailler seuls (si l'approche de relevé effectué par un observateur d'un seul côté du navire est adoptée) ou plus fréquemment en groupe, sur des navires de différentes tailles. Les observateurs doivent demeurer vigilants et consigner des observations pendant plusieurs heures par jour, souvent par mauvais temps. Les conditions à bord peuvent varier considérablement en fonction de la saison, de la taille du navire et de la zone marine étudiée. Les observateurs devraient avoir de l'expérience de travail en mer agitée et connaître leur niveau de sensibilité au mal de mer.

La consignation juste des données, le souci du détail et le respect rigoureux du protocole sont essentiels à l'efficacité et à l'exactitude des relevés. Pour assurer l'exactitude des données, les

observateurs devraient maîtriser l'identification des oiseaux marins de l'océan Pacifique Nord et être capables d'identifier rapidement les oiseaux jusqu'au rang de l'espèce lorsque cela est possible, et ce, dans tous les plumages et toutes les conditions météorologiques. Il est utile de connaître l'écologie et le comportement des oiseaux marins.

Les observateurs doivent suivre rigoureusement le protocole de relevé et passer du temps à le passer en revue et à s'exercer en compagnie d'observateurs plus expérimentés avant de commencer à effectuer des relevés. Si les ressources le permettent, un relevé effectué des deux côtés du navire (bâbord et tribord) par deux observateurs permet de réaliser des gains d'efficacité, de recueillir davantage de données et, ultimement, d'estimer les densités relatives avec une plus grande exactitude. Habituellement, les relevés par transects en bande de la Région du Pacifique d'ECCC sont effectués par un seul observateur, mais il est préférable de recourir à deux observateurs lorsque cela est possible.

3.4 Méthodes

3.4.1 Avant le relevé

Une liste du matériel recommandé pour effectuer des relevés à bord de navires est fournie à l'annexe 1. Lors d'un relevé par transects en bande, chaque observateur doit avoir, au minimum : un exemplaire du protocole de relevé par transects en bande, des jumelles, une jauge de distance pour estimer la largeur des bandes (annexe 3), un appareil GPS et un chronomètre synchronisé. Cette approche n'est pas recommandée, mais si les données sont saisies manuellement, chaque observateur doit avoir plusieurs crayons et exemplaires du formulaire de données de relevé de transects en bande (annexe 6). Si les données sont saisies par voie électronique, les observateurs doivent avoir un appareil mobile (pouvant être connecté à un appareil GPS externe) sur lequel une application de saisie de données adaptée doit être installée. Les agents de la Région du Pacifique d'ECCC utilisent actuellement SeaScribe (BOEM, 2019) pour recueillir des données électroniques. Si le relevé comprend des transects linéaires systématiques, les coordonnées des lignes de transect doivent être fournies à l'exploitant du navire avant le relevé.

Au moment de l'embarquement, les observateurs doivent choisir des plateformes d'observation optimales. Les plateformes doivent être à l'extérieur et offrir un bon point d'observation. Idéalement, chaque observateur devrait avoir un angle de vue dégagé de 90° à bâbord et à tribord. Si plusieurs observateurs utilisent simultanément la même plateforme, cette dernière devrait être suffisamment spacieuse pour qu'ils puissent le faire en toute sécurité. Pour chaque plateforme, il faut mesurer, en eaux calmes, la hauteur des yeux de l'observateur par rapport à la surface de l'eau. La hauteur de la plateforme et, par conséquent, la hauteur des yeux de l'observateur par rapport à la surface de l'eau, sont principalement déterminées par la taille du navire. Chaque observateur devrait tenir compte des conditions environnementales pour choisir une plateforme qui optimise sa capacité de détection des oiseaux.

Avant de commencer le relevé, le ou les observateurs doivent déterminer la largeur de bande appropriée et, dans le cas d'un relevé effectué par un seul observateur, le côté du navire qui sera

échantillonné. Selon la méthode d'ECCC, la largeur de bande maximale est habituellement fixée à 250 m pour les relevés réalisés dans des conditions idéales, mais une largeur de bande de 300 m est couramment utilisée. Lorsqu'il est difficile de détecter des oiseaux sur de grandes distances à partir d'une plateforme relativement basse, la largeur de bande doit être réduite pour s'assurer que tous les oiseaux à l'intérieur de la bande sont détectés. La largeur de bande devrait également être réduite si la visibilité est limitée en raison de conditions météorologiques défavorables (éblouissement, direction du vent, brouillard, etc.). Généralement, la largeur de bande est réduite par incréments de 50 m, jusqu'à un minimum de 50 m. Lors d'un relevé effectué par un seul observateur, le choix du côté à échantillonner dépend des conditions environnementales et des contraintes liées à l'emplacement de la plateforme d'observation. Le côté échantillonné et la largeur de bande doivent être consignés au début de chaque relevé, et au cours du relevé si des changements sont apportés.

3.4.2 Effort de relevé

Lorsqu'ils sont en mer et que les conditions sont propices, les observateurs doivent maximiser l'effort d'échantillonnage. À bord d'un navire occasionnel, les observateurs devraient consacrer le plus de temps possible à l'échantillonnage, tout en tenant compte du fait que la fatigue peut réduire leur capacité de détection. Lors d'un relevé par transects systématique, si le navire suit un transect, au moins un observateur doit échantillonner le transect. Lorsque le navire est en transit (c.-à-d. en déplacement hors transect), les observateurs devraient continuer l'échantillonnage dans la mesure du possible. Toutefois, si un observateur est fatigué et qu'il n'est pas possible d'immobiliser le navire, il peut prendre une pause pendant que le navire est en transit. Si plusieurs observateurs sont présents, les pauses devraient être décalées pour assurer un échantillonnage continu. En règle général, il faut privilégier l'échantillonnage sur les transects, mais l'échantillonnage en transit est aussi très utile et il est donc recommandé de consigner des observations aussi souvent que possible.

Les observateurs doivent interrompre l'échantillonnage si le navire change de cap (p. ex. virage à 90°), ralentit considérablement (c.-à-d. vitesse inférieure à 5 nœuds), s'éloigne du transect ou s'immobilise. Il faut alors consigner l'heure, l'emplacement et la raison de l'interruption. Dans le cas d'un relevé effectué à bord d'un navire occasionnel, il est possible de reprendre l'échantillonnage après le changement de cap du navire. Si le navire est immobilisé pendant une période prolongée ou que des déchets sont rejetés dans l'eau, il faut attendre au moins 5 à 10 minutes après que le navire ait recommencé à se déplacer pour reprendre l'échantillonnage, ainsi les oiseaux qui s'étaient rassemblés autour du navire cesseront de s'y intéresser ou seront laissés derrière.

L'approche d'ECCC consiste à interrompre tout relevé effectué à bord d'un navire de taille moyenne si l'état de la mer est de 5 ou plus sur l'échelle de Beaufort ou si la vitesse du vent dépasse 25 nœuds. Toutefois, les seuils de réalisation d'un relevé peuvent être revus à la hausse si un navire de grande taille avec une plateforme d'observation plus haute est utilisé. En revanche, il peut être nécessaire d'interrompre un relevé effectué à bord d'un petit navire dont la plateforme est relativement basse avant d'atteindre la force 5 sur l'échelle de Beaufort ou une

vitesse du vent de 25 nœuds. En fait, de telles décisions devraient être prises pour s'assurer de maintenir l'hypothèse fondamentale des relevés par transects en bande, soit que tous les oiseaux sont détectés dans la largeur de bande définie. Bien que des conditions maximales aient été fixées pour la réalisation des relevés, les observateurs doivent faire preuve de jugement et interrompre le relevé s'ils ne sont plus en mesure de détecter tous les oiseaux dans le transect en bande défini. Dans certains cas, cela peut être nécessaire lorsque les valeurs sont inférieures ou supérieures aux limites fixées.

3.4.3 Protocole de relevé

Avant de commencer un relevé, l'observateur doit consigner les renseignements sur le relevé et les conditions environnementales (tableau 5). S'il s'agit d'un relevé par transects systématique, un numéro unique est généralement attribué à chaque ligne de transect (de longueur variable) au moment de sa création. Habituellement, le numéro attribué à la ligne transect sert d'identificateur. Si l'échantillonnage est effectué à bord d'un navire occasionnel, ou en transit, l'observateur doit identifier clairement les lignes de transect au moyen d'identificateurs pour éviter toute perte de données qui pourrait être causée par un manque d'uniformité. La Région du Pacifique d'ECCC utilise des numéros séquentiels pour identifier les transects en bande qui font partie d'un relevé opportuniste. Si les données sont saisies manuellement, l'observateur doit s'assurer que l'appareil GPS enregistre l'itinéraire du navire avant le début du relevé et que son chronomètre est synchronisé avec l'appareil GPS.

Tableau 5. Variables relatives aux conditions environnementales et aux relevés consignées par les observateurs effectuant des relevés par transects en bande d'un côté du navire. Il convient de noter que les conditions environnementales maximales pour la réalisation de relevés par transects en bande s'appliquent aux navires de taille moyenne avec une plateforme de trois mètres ou plus. Des conditions (échelle de Beaufort, vent, houle et détectabilité) plus difficiles peuvent être convenables à bord de grands navires.

Variable	Description
Identificateur du relevé	ECCC utilise un format normalisé : AAAAMMJJ_StrateRelevé_Navire_InitialesObservateur
Identificateur du transect	Habituellement un nombre
Navire (plateforme)	Nom du navire
Côté échantillonné	Bâbord ou tribord
Largeur de bande	De 50 à 300 m ^a
Emplacement de l'observateur	À l'intérieur ou à l'extérieur
Nom de l'observateur	Nom de l'observateur
Heure ^b	Heure de début du transect

Hauteur des yeux ^c	1,5 m ou plus
État de la mer ^d	De 0 à 5 sur l'échelle de Beaufort ^e
Vitesse du vent	De 0 à 25 nœuds approximativement ^f
Visibilité	De 0 km à illimitée
Hauteur de la houle	De 0 à 8 m
Précipitations ^g	Oui ou non
Éblouissement ^h	Oui ou non
Brouillard	Oui ou non
Fumée	Oui ou non
Détectabilité ⁱ	De 1 à 5
Espèce	Code de quatre lettres
Nombre d'individus	Plus de 0
Comportement	En vol, sur l'eau ^j ou sur la terre ferme

^a Par incréments de 50 m. ^b Si des notes manuscrites sont prises ou si des données sont saisies manuellement. ^c Hauteur des yeux de l'observateur par rapport à la surface de l'eau = hauteur de la plateforme + hauteur des yeux de l'observateur. ^d Des descriptions sont fournies à l'annexe 2. ^e Le seuil de réalisation d'un relevé est généralement de 5 sur l'échelle de Beaufort. ^f La vitesse du vent maximale pour effectuer un relevé est d'environ 25 nœuds. ^g Comprend toutes les formes de précipitations (pluie, neige, giboulée, etc.). ^h Si l'éblouissement se produit dans la zone d'observation. ⁱ Mesure englobant de multiples variables environnementales utilisée aux fins de l'échantillonnage par transects linéaires, se reporter aux définitions des catégories de détectabilité d'ECCC (annexe 9). La détectabilité n'est utilisée que dans le cadre d'un protocole de relevé par transects en bande comprenant des transects linéaires. ^j Comprend les oiseaux perchés sur des objets flottants.

Pendant le relevé, l'observateur doit balayer du regard un arc de cercle entre 0° devant le navire et 90° par le travers (figure 3). L'observateur peut utiliser des jumelles lors du balayage. La zone de relevé est limitée à la largeur de bande prédéterminée (habituellement 250 m), mais il peut être nécessaire de réduire la largeur de bande si les conditions, la taille du navire ou la hauteur des yeux de l'observateur le justifient. L'observateur doit effectuer des balayages continus tout au long du relevé.

Si plusieurs observateurs sont présents, les balayages sont effectués simultanément entre 0 et 90° à bâbord et à tribord. Bien qu'un certain chevauchement des balayages dans la zone près de 0° soit inévitable, les observateurs jumelés doivent s'assurer que les oiseaux qui se trouvent près du navire ou passent d'un côté à l'autre du navire ne sont pas comptés deux fois. Lorsqu'ils détectent des oiseaux près de 0°, les observateurs devraient communiquer entre eux pour éviter

de consigner des observations en double.

Lorsqu'un observateur détecte un oiseau à l'intérieur de la bande qu'il échantillonne, il doit consigner l'espèce, le nombre d'individus et le comportement au moment de la détection (tableau 5). L'observateur doit veiller à ce que toutes les observations soient consignées, et ce, que l'individu ait été identifié ou non. Les oiseaux dont l'espèce n'a pu être déterminée devraient être identifiés au rang de la famille ou du genre si possible (p. ex. goéland non identifié, garrot non identifié). Il est également possible de consigner l'observation d'un « oiseau non identifié » si nécessaire.

Une observation peut porter sur un individu ou un groupe d'individus (annexe 4, figure 5). Des oiseaux qui se trouvent à moins de deux mètres l'un de l'autre ou qui ont un comportement similaire (p. ex. une volée d'oiseaux) sont considérés comme un groupe. Pour consigner l'observation d'un groupe d'oiseaux, le centre du groupe doit être dans la bande.

Certaines espèces d'oiseaux marins manifestent de l'intérêt pour les navires; elles sont attirées par les navires, les suivent ou les survolent. Il y a un risque de compter ces oiseaux plusieurs fois. Par conséquent, l'observateur devrait occasionnellement regarder derrière le navire pour vérifier la présence d'oiseaux qui suivent le navire et tenter de repérer les individus qui survolent le navire. Les albatros posent des difficultés particulières, et il est fréquent que les puffins, le Fulmar boréal (*Fulmarus glacialis*) et les goélands soient attirés par les navires.

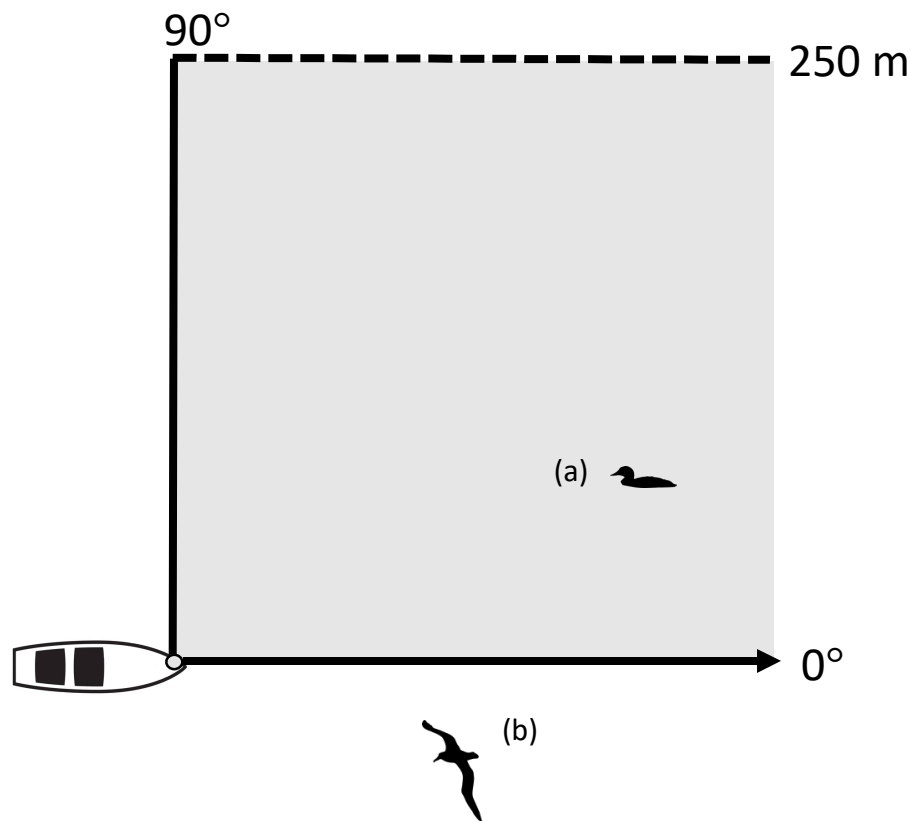


Figure 3. Représentation graphique d'un relevé par transects en bande réalisé depuis une plateforme mobile. Le transect correspond à la zone grise. Un observateur (cercle gris) situé du côté bâbord d'une plateforme mobile effectue un relevé par transects en bande. La largeur maximale de la bande est de 250 m. L'oiseau (a), un huard, est à l'intérieur du transect et cette observation est consignée. L'oiseau (b), un albatros, est à l'extérieur du transect et cette observation ne doit être consignée que s'il pénètre dans la zone de transect. Dans le cadre d'un relevé effectué d'un seul côté, la ligne de transect à 0° doit être alignée avec l'observateur et non pas avec la proue du navire. Pour un relevé effectué des deux côtés, il faut établir la ligne de transect à 0° pour chaque observateur, ce qui peut varier selon le protocole adopté.

3.4.4 Renseignements sur les conditions environnementales

Il est important de consigner avec exactitude les renseignements sur les conditions environnementales, car les conditions météorologiques peuvent influencer considérablement sur la détectabilité. Lorsque les données sont saisies par voie électronique, les renseignements sur les conditions environnementales doivent être mis à jour toutes les 30 minutes, ou plus fréquemment si les conditions changent. Si la saisie des données est effectuée manuellement, les conditions environnementales doivent être consignées au début de chaque période

d'échantillonnage ou dès qu'un changement est observé. Les renseignements sur les conditions environnementales dont la consignation est obligatoire sont énumérés dans le tableau 5.

3.4.5 Autres taxons

Les observations d'espèces marines rares devraient être consignées dans la mesure du possible. Pour les observations d'oiseaux rares à l'extérieur de la zone de relevé ou des transects, les détails requis sont les suivants : l'espèce, le nombre d'individus, le comportement (en vol, sur l'eau, sur la terre ferme), la latitude et la longitude ainsi que la date. Il convient également de prendre des photos du ou des individus rares dans la mesure du possible.

Voici quelques espèces rares susceptibles d'être observées : des mammifères marins (p. ex. baleine noire du Pacifique Nord [*Eubalaena japonica*], grand dauphin commun [*Tursiops truncatus*]); des reptiles marins (p. ex. tortue luth [*Dermochelys coriacea*], tortue caouanne [*Caretta caretta*]); des poissons (p. ex. espadon [*Xiphias gladius*]); des requins (p. ex. pèlerin [*Cetorhinus maximus*]). Les observations de ces espèces devraient être consignées de la même façon, et elles doivent être signalées au ministère des Pêches et des Océans.

Il incombe à l'observateur de déterminer, selon l'espèce en cause, si le relevé devrait être interrompu pour prendre des photos et consigner l'observation de façon exhaustive. Les exploitants de navires doivent respecter la réglementation canadienne sur les mammifères marins (*Règlement sur les mammifères marins*, DORS/93-56), et surpasser les exigences en cette matière dans la mesure du possible.

3.4.6 Saisie des données

Par le passé, les agents d'ECCC saisissaient manuellement les données recueillies lors des relevés par transects en bande. Toutefois, la collecte de données électronique est maintenant beaucoup plus efficace grâce aux applications mobiles d'échantillonnage en mer créées au cours des dernières années.

Un formulaire de saisie de données manuelle est fourni à l'annexe 6. Si les données sont saisies manuellement, l'observateur doit s'assurer que son chronomètre est synchronisé avec le GPS utilisé pour enregistrer l'itinéraire du navire afin que les observations puissent être cartographiées avec exactitude. De plus, il est recommandé, dans la mesure du possible, de désigner une personne qui sera responsable de la saisie des données manuelle.

SeaScribe (BOEM, 2019) est une application de collecte de données utilisée par les agents de la Région du Pacifique d'ECCC lors de relevés en mer. Pour recueillir des données exactes à l'aide de SeaScribe, l'appareil mobile doit être connecté à un appareil GPS externe.

3.5 Analyse des données

Il est habituellement facile de générer des estimations de densité (c.-à-d. le nombre d'oiseaux en fonction de la superficie) à l'aide de données recueillies lors d'un relevé par transects en bande. Jusqu'à récemment, les relevés réalisés par la Région du Pacifique d'ECCC comportaient des « segments » de transect de cinq minutes. La longueur du segment et la largeur de la bande étaient utilisées pour calculer la superficie de la zone et, par la suite, déterminer la densité des espèces ou des groupes d'oiseaux par kilomètre carré. Depuis l'adoption récente de méthodes de collecte de données électronique, la longueur des segments de transect peut être définie à l'étape du traitement des données. Il suffit d'adopter les mêmes principes de calcul de la superficie de la zone de relevé, ce qui suppose d'utiliser la longueur du segment de transect et la largeur de la bande, pour générer des estimations de la densité des oiseaux marins lors du traitement des données. L'estimation de la densité d'espèces ou de groupes d'oiseaux marins le long des segments de transect fait partie des principaux produits de données de nombreux programmes de relevé. Toutefois, ces données peuvent également être utilisées aux fins de la modélisation de l'utilisation (p. ex. Fox *et al.*, 2017) ou dans le cadre d'évaluations qualitatives des tendances de répartition et d'abondance des oiseaux marins.

RÉFÉRENCES

Ainley, D., C. Ribic et E. Woehler. 2012. Adding the ocean to the study of seabirds: a brief history of at-sea seabird research. *Marine Ecology Progress Series*, 451:231-243.

Balance, L.T. 2007. Understanding Seabirds At Sea: Why and How? *Marine Ornithology*, 35:127-135.

Barbraud, C. et J. Thiebot. 2009. On the importance of estimating detection probabilities from at-sea surveys of flying seabirds. *Journal of Avian Biology*, 40(6):584-590.

Batten, S.D., K.D. Hyrenbach, W.J. Sydeman, K.H. Morgan, M.F. Henry, P.P. Yen et D.W. Welch. 2006. Characterising meso-marine ecosystems of the North Pacific. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 53(3-4):270-290.

Bertram, D.F., L.W. Wilson, K. Charleton, A. Hedd, G.J. Robertson, J.L. Smith, K.H. Morgan et X.J. Song. 2021. Modelling entanglement rates to estimate mortality of marine birds in British Columbia commercial salmon gillnet fisheries. *Marine Environmental Research*, 166:105268.

Bureau of Ocean Energy Management (BOEM). 2019. SeaScribe: User's Guide. Gorham, Maine : Biodiversity Research Institute, <https://www.briloon.org/seascribe>.

Bower, J.L. 2009. Changes in marine bird abundance in the Salish Sea: 1975 to 2007. *Marine Ornithology*, 37:9-17.

Boudaoud, L.B., F. Maussang, R. Garelo et A. Chevallier. 2019. Marine bird detection based on deep learning using high-resolution aerial images. OCEANS 2019 – Marseille, p. 1-7.

Briggs, K.T., W.B. Tyler et D.B. Lewis. 1985. Comparison of ship and aerial surveys of birds at sea. *Journal of Wildlife Management*, 49:405-411.

Brown, R.G.B. 1980. Seabirds as Marine Animals. In: Burger, J., B.L. Olla et H.E. Winn (éd.). *Behavior of Marine Animals*. Boston (MA) : Springer.

Buckland, S.T., D.R. Anderson, K.P. Burnham et J.L. Laake. 1993. *Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Londres (Royaume-Uni) : Chapman and Hall.

Buckland, S.T., D.R. Anderson, K.P. Burnham, J.L. Laake, D.L. Borchers et L. Thomas. 2001. *Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Oxford (Royaume-Uni) : Oxford University Press.

Buckland, S.T., D.R. Anderson, K.P. Burnham, J.L. Laake, D.L. Borchers et L. Thomas (éd.). 2004. *Advanced Distance Sampling*. Oxford (Royaume-Uni) : Oxford University Press.

Buckland, S.T., M. Burt, E. Rexstad, M. Mellor, A. Williams et R. Woodward. 2012. Aerial surveys of seabirds: the advent of digital methods. *Journal of Applied Ecology*, 49(4):960-967.

Buckland, S.T., D.R. Rexstad, T.A. Marques et C.S. Oedekoven. 2015. *Distance Sampling: Methods and Applications*. New York (NY) : Springer International Publishing.

Buckley, P.A. et F.G. Buckley. 2000. The role of helicopters in seabird censusing. *Proceedings of the Society of Caribbean Ornithology, Special Publication*, 1:134-47.

Burnham, K.P., D.R. Anderson et J.L. Laake. 1985. Efficiency and Bias in Strip and Line Transect Sampling. *The Journal of Wildlife Management*, 49:1012-1018.

Butler, R.W., R. MacVicar, A.R. Couturier, S. Richmond et H.A. Middleton. 2018. Status and Distribution of Marine Birds and Mammals in the Fraser River Estuary, British Columbia. Pacific Wildlife Foundation et Études d'oiseaux Canada. Rapport inédit. Port Moody (Colombie-Britannique) et Port Rowan (Ontario).

Camphuysen, C.J., A.D. Fox, M.F. Leopold et I.K. Petersen. 2004. Towards Standardised Seabirds at Sea Census Techniques in Connection with Environmental Impact Assessments for Offshore Wind Farms in the UK: a comparison of ship and aerial sampling methods for marine birds and their applicability to offshore wind farm assessments. Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Royal Netherlands Institute for Sea Research. COWRIE-BAM-02-2002, p. 1-38.

Chabot, D. et C.M. Francis. 2016. Computer-automated bird detection and counts in high-resolution aerial images: a review. *Journal of Field Ornithology*, 87(4):343-359.

Chilvers, B.L., G.B. Baker, J.A. Hiscock, P.J. McClelland, M. Holdsworth et K. Jenz. 2015. Comparison of breeding population survey methods for the Auckland Island shag (*Phalacrocorax colensoi*). *Polar Biology*, 38(11):1847-1852.

Clark, R.G. 2016. Statistical Efficiency in Distance Sampling. *PLOS One*, 11:e0149298.

Colefax, A.P., P.A. Butcher et B.P. Kelaher. 2018. The potential for unmanned aerial vehicles (UAVs) to conduct marine fauna surveys in place of manned aircraft. *ICES Journal of Marine Science*, 75(1):1-8.

Crewe, T., K. Barry, P. Davidson et D. Lepage. 2012. Coastal waterbird population trends in the Strait of Georgia 1999–2011: results from the first 12 years of the British Columbia Coastal Waterbird Survey. *British Columbia Birds*, 22:8-35.

Croxall, J.P., S.H. Butchart, B.E.N. Lascelles, A.J. Stattersfield, B.E.N Sullivan, A. Symes, A. et P.H.I.L. Taylor. 2012. Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. *Bird Conservation International*. 22(1):1-34.

d'Entremont, M. 2010. Technical Data Report, Marine Birds, Enbridge Northern Gateway Project. Jacques Whitford AXYS Ltd. Burnaby (Colombie-Britannique).

Davidson, P., R.W. Butler, A. Couturier, S. Marquez et D. Lepage. 2010. Status and Distribution of Birds and Mammals in the Southern Gulf Islands, British Columbia. Études d'oiseaux Canada et Pacific Wildlife Foundation. Rapport inédit pour l'Agence Parcs Canada.

Drever, M.C., D. Chabot, P.D. O'Hara, J.D. Thomas, A. Breault et R.L. Millikin. 2015. Evaluation of an unmanned rotorcraft to monitor wintering waterbirds and coastal habitats in British Columbia, Canada. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3(4):256-267.

Drever, M.C., M.K. Mcallister, D.F. Bertram, B.K. Schroeder et K.J. Woo. 2021. Trends in radar counts of Marbled Murrelets *Brachyramphus marmoratus* in British Columbia (1996-2018): Effects of 'The Blob' marine heatwave and prey fish abundance. *Marine Ornithology*. 49:37-49.

Environnement Canada. 2017. Tableau de l'échelle Beaufort — canada.ca [site Web]. Consulté en ligne : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/renseignements-generaux-conditions-maritimes/description-previsions-meteo/tableau-echelle-beaufort.html>.

Evans Mack, D., M.G. Raphael et J.L. Laake. 2002. Probability of Detecting Marbled Murrelets at Sea: Effects of Single versus Paired Observers. *The Journal of Wildlife Management*, 66(3):865-873.

Fifield, D.A., A. Hedd, S. Avery-Gomm, G.J. Robertson, C. Gjerdrum et L.A. McFarlane Tranquilla. 2017. Employing Predictive Spatial Models to Inform Conservation Planning for Seabirds in the Labrador Sea. *Frontiers in Marine Science*, 4:149.

Fifield, D.A., A. Hedd, G.J. Robertson, S. Avery-Gomm, C. Gjerdrum, L.A. McFarlane Tranquilla et S.J. Duffy. 2016. Baseline Surveys for Seabirds in the Labrador Sea (201-08S). Environmental Studies Research Funds Report No. 205. St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador). 42.

Fleming, P.J. et J.P. Tracey. 2008. Some human, aircraft and animal factors affecting aerial surveys: how to enumerate animals from the air. *Wildlife Research*, 35(4):258-267.

Fox, C.H., P.D. O'Hara, S. Bertazzon, K.H. Morgan, F.E. Underwood et P.C. Paquet. 2016. A preliminary spatial assessment of risk: Marine birds and chronic oil pollution on Canada's Pacific coast. *Science of the Total Environment*, 573:799-809.

Fox, C.H., F.H. Huettmann, G.K.A. Harvey, K.H. Morgan, J. Robinson, R. Williams et P.C. Paquet. 2017. Predictions from machine learning ensembles: marine bird distribution and density on Canada's Pacific coast. *Marine Ecology Progress Series*, 556:199-216.

Fox, C.H., C. Robertson, P.D. O'Hara, R. Tadey et K.H. Morgan. 2021. Spatial assessment of albatrosses, commercial fisheries, and bycatch incidents on Canada's Pacific coast. *Marine Ecology Progress Series*, 672:205-222.

Garcia-Garin, O., A. Aguilar, A. Borrell, P. Gozalbes, A. Lobo, J. Penadés-Suay, J.A. Raga, O. Revuelta, M. Serrano et M. Vighi. 2020. Who's better at spotting? A comparison between aerial photography and observer-based methods to monitor floating marine litter and marine mega-fauna. *Environmental Pollution*, 258:113680.

Gaston, A.J., M. Maftei, S. Pastran, K. Wright, G. Sorenson et I. Lewylle. 2020. Marine Bird Surveys in Queen Charlotte Strait and Adjacent Channels, August-September 2020. Ms. Report, Raincoast Education Society, Tofino (Colombie-Britannique).

Gjerdrum, C., D.A. Fifield et S.I. Wilhelm. 2012. Protocole normalisé pour les relevés d'oiseaux marins pélagiques dans l'Est du Canada (Eastern Canada Seabirds at Sea; ECSAS) à partir de plateformes mobiles et stationnaires. Service canadien de la faune. Série de rapports techniques n° 515. Région de l'Atlantique. vii + 39 p.

Goyert, H.F., B. Gardner, R. Sollmann, R.R. Veit, A.T. Gilbert, E.E. Connelly et K.A. Williams. 2016. Predicting the Offshore distribution and abundance of marine birds with a hierarchical community distance sampling model. *Ecological Applications*, 26:1797-1815.

Gutowsky, S.E., R.A. Ronconi, L.F.G. Gutowsky, M.F. Elderkin, J. Paquet, P.M. Mills et M.L. Mallory. 2019. Winter habitat associations of Purple Sandpiper (*Calidris maritima*) and Harlequin Duck (*Histrionicus histrionicus*) in Atlantic Canada. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 222:214–225.

Haney, J.C., J.M. Hemming et P. Tuttle. 2019. Pelagic seabird density and vulnerability in the Gulf of Mexico to oiling from the Deepwater Horizon/MC-252 spill. *Environmental Monitoring and Assessment*. 191, 818.

Hedley, S.L. et S.T. Buckland. 2004. Spatial models for line transect sampling. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 9(2):181-199.

Curran, D. 1981. A Range Finder for Pelagic Bird Censusing. *The Journal of Wildlife Management*, 45(2):489-493.

Hyrenbach, K.D., M.F. Henry, K.H. Morgan, D.W. Welch et W.J. Sydeman. 2007. Optimizing the width of strip transects for seabird surveys from vessels of opportunity. *Marine Ornithology*, 35:29-37.

Johnston, D.W. 2019. Unoccupied aircraft systems in marine science and conservation. *Annual review of marine science*, 11:439-463.

Kemper, G., A. Weidauer et T. Coppack. 2016. Monitoring Seabirds and Marine Mammals by Georeferenced Aerial Photography. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41.

Kenyon, J.K., K.H. Morgan, M.D. Bentley, L.A. McFarlane Tranquilla et K.E. Moore, 2009. Atlas of pelagic seabirds off the west coast of Canada and adjacent areas. *Série de rapports techniques n°499*. Service canadien de la faune, Région du Pacifique et du Yukon, Delta (Colombie-Britannique).

Koski, W. R., P. Abgrall et S.B. Yazvenko. 2010. An inventory and evaluation of unmanned aerial systems for offshore surveys of marine mammals. *Journal of Cetacean Research and Management*, 11(3):239-247.

Lima, S.L., B.F. Blackwell, T.L. DeVault et E. Fernández-Juricic. 2015. Animal reactions to oncoming vehicles: a conceptual review. *Biological Reviews*, 90:60-76.

Lukacs, P.M., M.L. Kissling, M. Reid, S.M. Gende et S.B. Lewis. 2010. Testing Assumptions of Distance Sampling on a Pelagic Seabird. *The Condor*, 112(3):455-459.

Règlement sur les mammifères marins, DORS/93-56. <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-93-56/index.html>.

Marques, T.A., L. Thomas, S.G. Fancy et S. T. Buckland. 2007. Improving estimates of bird density using multiple-covariate distance sampling. *The Auk*, 124(4):1229-1243.

Martin, P.W. et M.T. Myres. 1969. Observations on the distribution and migration of some seabirds off the outer coasts of British Columbia and Washington state, 1946-1949. *Syesis*, 2:241-256.

McClelland, G.T., A.L. Bond, A. Sardana et T. Glass. 2016. Rapid population estimate of a surface-nesting seabird on a remote island using a low-cost unmanned aerial vehicle. *Marine Ornithology*, 44:215-220.

Miller, D.L., M.L. Burt, E.A. Rexstad et L. Thomas, L. 2013. Spatial models for distance sampling data: recent developments and future directions. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(11):1001-1010.

Miller, D.L., D. Fifield, E. Wakefield, D.B. Sigourney. 2021. Extending density surface models to include multiple and double-observer survey data. *PeerJ*, 9:e12113

Miller, D.L., E. Rexstad, L. Thomas, L. Marshall et J.L. Laake. 2019. Distance Sampling in R. *Journal of Statistical Software*, 89(1):1-28.

Montevecchi, W.A. 2002. Interactions between Fisheries and Seabirds. In Schreiber, E.A. et J. Burger (éd.). *Biology of Marine Birds*. p. 528-547. CRC Press.

Moore S.E. et K.J. Kuletz. 2019. Marine birds and mammals as ecosystem sentinels in and near Distributed Biological Observatory regions: an abbreviated review of published accounts and recommendations for integration to ocean observatories. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 162:211-217.

Morgan, K.H., K. Vermeer et R.W. McKelvey. 1991. Atlas of pelagic birds of western Canada. Service canadien de la faune, Publication hors-série n° 72, p. 1-72.

Murphy, R.C. 1936. Oceanic birds of South America: a study of species of the related coasts and seas, including the American quadrant of Antarctica, based upon the Brewster-Sanford collection in the American Museum of Natural History (Vol. 2). MacMillan Company, New York.

Oppel, S., A. Meirinho, I. Ramírez, B. Gardner, A.F. O'Connell, P.I. Miller et M. Louzao. 2012. Comparison of five modelling techniques to predict the spatial distribution and abundance of seabirds. *Biological Conservation*, 156:94-104.

Pauly, D. et V. Christensen. 1995. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 374:255–257.

Paleczny M., E. Hammill, V. Karpouzi et D. Pauly. 2015. Population Trend of the World's Monitored Seabirds 1950-2010. *PloS One* 10: e0129342.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienne (Autriche). URL <https://www.R-project.org/>.

Raphael, M.G., J. Baldwin, G.A. Falxa, M.H. Huff, M. Lance, S.L. Miller, S.F. Pearson, C.J. Ralph, C. Strong et C. Thompson. 2007. Regional population monitoring of the marbled murrelet: field and analytical methods. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-716. Portland (OR) : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 70 p.

Ronconi, R.A. et A.E. Burger. 2009. Estimating seabird densities from vessel transects: Distance sampling and implications for strip transects. *Aquatic Biology* 4:297-309.

Ronconi, R.A., K.A. Allard et P.D. Taylor. 2015. Bird interactions with offshore oil and gas platforms: review of impacts and monitoring techniques. *Journal of Environmental Management*, 147:34-45.

Sahri, A., P.T.K. Mustika, P. Purwanto, A.J. Murk et M. Scheidat. 2020. Using cost-effective surveys from platforms of opportunity to assess cetacean occurrence patterns for marine park management in the heart of the Coral Triangle. *Frontiers in Marine Science*, 7:887-906.

Spear L.B., N. Nur et D.G. Ainley. 1992. Estimating Absolute Densities of Flying Seabirds Using Analyses of Relative Movement. *The Auk*, 109:385-389.

Spear L.B., D.G. Ainley, B.D. Hardesty, S.N.G. Howell et S.W. Webb. 2004. Reducing biases affecting at-sea surveys of seabirds: use of multiple observer teams. *Marine Ornithology*, 32: 147–157.

Sydeman, W.J., S.A. Thompson, J.A. Santora, M.F. Henry, K.H. Morgan et S.D. Batten. 2010. Macro-ecology of plankton–seabird associations in the North Pacific Ocean. *Journal of Plankton Research*, 32(12): 1697-1713.

Tasker M.L., P.H. Jones, T. Dixon et B.F. Blake. 1984. Counting seabirds at sea from ships: A review of methods employed and a suggestion for a standardized approach. *The Auk* 101:567-577.

Tavares D.C., J.F. Moura, E. Acevedo-Trejos et A. Merico. 2019. Traits shared by marine megafauna and their relationships with ecosystem functions and services. *Frontiers in Marine Science*. 6:262.

Thomas, L., S.T. Buckland, E.A. Rexstad, J.L. Laake, S. Strindberg, S.L. Hedley, J.R. Bishop, T.A. Marques et K.P. Burnham. 2010. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology*, 47(1):5-14.

Vas, E., A. Lescroël, O. Duriez, G. Boguszewski et D. Grémillet. 2015. Approaching birds with drones: first experiments and ethical guidelines. *Biology letters*, 11(2):20140754.

Verfuss, U.K., A.S. Aniceto, D.V. Harris, D. Gillespie, S. Fielding, G. Jiménez, P. Johnston, R.R. Sinclair, A. Sivertsen, S.A. Solbø et R. Storvold. 2019. A review of unmanned vehicles for the detection and monitoring of marine fauna. *Marine pollution bulletin*, 140:17-29.

Vermeer, K., I. Robertson, R.W. Campbell, G. Kaiser et M. Lemon. 1983. Distribution and densities of marine birds on the Canadian west coast. Service canadien de la faune. Rapport technique, Vancouver (Colombie-Britannique. ii + 73 p.

Waggitt, J.J., P.S. Bell et B.E. Scott. 2014. An evaluation of the use of shore-based surveys for estimating spatial overlap between deep-diving seabirds and tidal stream turbines. *International Journal of Marine Energy*, 8:36-49.

Ward, E.J., K.N. Marshall, T. Ross, A. Sedgley, T. Hass, S.F. Pearson, G. Joyce, N.J. Hamel, P.J. Hodum et R. Faucett. 2015. Using citizen-science data to identify local hotspots of seabird occurrence. *PeerJ*, 3:e704.

Wilhelm, S.I. et A.W. Boyne. 2006. Evaluation of seabird observations collected from 2001 - 2003 by the oil and gas observer program. Service canadien de la faune. Série de rapports techniques n° 464. Région de l'Atlantique. vii + 26 p.

Wynne-Edwards, V.C. 1935. On the habits and distribution of birds on the North Atlantic. *Proceedings of the Boston Society of Natural History*, 40:233-346.

Žydelis, R., M. Dorsch, S. Heinänen, G. Nehls et F. Weiss. 2019. Comparison of digital video surveys with visual aerial surveys for bird monitoring at sea. *The Journal of Ornithology*. 160: 567-580.

ANNEXE 1. LISTE DU MATÉRIEL REQUIS POUR EFFECTUER UN RELEVÉ D'OISEAUX MARINS

ED = relevé par transects linéaires avec échantillonnage par distance; TB = relevé par transects en bande.

Jumelles (y compris une paire de rechange), produit nettoyant pour lentilles, chiffons (ED, TB)

Télémètre électronique (ED)

Règle transparente et marqueur permanent noir pour fabriquer une jauge de distance (ED, TB)

Alcool à friction pour effacer les traces de marqueur permanent (ED, TB)

Détecteur d'angle — seulement manuel pour les plateformes exposées à l'eau; manuel ou électronique pour les plateformes non exposées (ED)

Caméra et objectif (ED, TB)

Cartable contenant de l'information sur les transects (cartes des transects et coordonnées GPS dans un format compatible avec le système de navigation du navire (ED, TB)

Formulaires de saisie de données manuelle (ED, TB)

Tablette électronique à l'épreuve de l'eau et appareil de rechange comprenant une application de saisie de données (ED, TB)

Appareil GPS (pouvant être connecté à la tablette utilisée pour la saisie de données électronique) et appareil GPS de rechange (ED, TB)

Appareils de communication en cas d'urgence, p. ex. téléphone satellite, inReach, dispositif SPOT (ED, TB)

Trousse de premiers soins pour navire (ED, TB)

Veste et pantalon de flottaison — un par observateur (ED, TB)

Gilet de sauvetage — un par observateur (ED, TB)

Cartes marines (ED, TB)

Si nécessaire, piles, blocs-piles, chargeurs et câbles de recharge en quantité suffisante, barre d'alimentation à prises multiples (ED, TB)

Documents de référence pour l'identification d'oiseaux — au choix de l'observateur (ED, TB)

Vêtements chauds et imperméables (ED, TB)

Chapeau, lunettes de soleil et écran solaire (ED, TB)

ANNEXE 2. ÉCHELLE DE BEAUFORT, VITESSE RÉELLE DU VENT ET ÉTAT DE LA MER

Tableau 2. Échelle de Beaufort, vitesse réelle du vent et état de la mer (Environnement Canada, 2017). L'application SeaScribe comprend une échelle de Beaufort illustrée. Ce paramètre a été établi pour les relevés effectués en haute mer et il n'est donc pas toujours directement applicable aux conditions qui prévalent en eaux abritées.

Force	Vitesse du vent		État de la mer
	km/h	Nœuds	
0	Moins de 1	Moins de 1	Calme. La surface de la mer est unie comme un miroir, mais pas forcément plane.
1	1 à 5	1 à 3	Très légères brises. Il se forme des rides ressemblant à des écailles de poisson, mais sans écume.
2	6 à 11	4 à 6	Légère brise. Vaguelettes courtes, mais plus accusées. Leur crête a une apparence vitreuse, mais elles ne déferlent pas. Par bonne visibilité, la ligne d'horizon est toujours très nette.
3	12 à 19	7 à 10	Petite brise. Très petites vagues. Les crêtes commencent à déferler. Écume d'aspect vitreux. Parfois quelques moutons épars.
4	20 à 28	11 à 16	Jolie brise. Petites vagues devenant plus longues. Moutons franchement nombreux.
5	29 à 38	17 à 21	Bonne brise. Vagues modérées prenant une forme plus nettement allongée. Formation de nombreux moutons. Parfois quelques embruns.
6	39 à 49	22 à 27	Vent frais. De grosses vagues, ou lames, commencent à se former. Les crêtes d'écume blanche sont parfois plus étendues. Habituellement, quelques embruns.
7	50 à 61	28 à 33	Grand frais. La mer grossit. L'écume blanche qui provient des lames déferlantes commence à être soufflée en traînées qui s'orientent dans le lit du vent.
8	62 à 74	34 à 40	Coup de vent. Lames de hauteur moyenne et plus allongées. De la crête commencent à se détacher des tourbillons d'embruns. Nettes traînées d'écume orientées dans le lit du vent.
9	75 à 88	41 à 47	Fort coup de vent. Grosses lames. Épaisses traînées d'écume dans le lit du vent. La crête des lames commence à vaciller, s'écrouler et déferler en rouleaux.

10	89 à 102	48 à 55	Tempête. Très grosses lames à longues crêtes en panache. Épaisses traînées d'écume. La surface des eaux semble blanche.
11	103 à 117	56 à 63	Violente tempête. Lames exceptionnellement hautes. Mer complètement recouverte de bancs d'écume.
12	118 à 133	64 à 71	Vent d'ouragan. L'air est plein d'écume et d'embruns. La mer est entièrement blanche, du fait des bancs d'écume dérivants. Visibilité très fortement réduite.

ANNEXE 3. CALCULS MANUELS POUR L'ESTIMATION DE LA DISTANCE

Pour faciliter l'estimation visuelle de la distance en mer, une jauge de distance peut être fabriquée à l'aide d'une règle en plastique transparent et d'une formule inspirée de celle d'Heinemann (1981). Les estimations de distance de l'application SeaScribe sont aussi calculées à l'aide de cette formule.

$$d_h = 1000 \frac{(ah3838\sqrt{h}) - ahd}{h^2 + 3838d\sqrt{h}}$$

Par exemple, si $a = 0,91$; $h = 6,82$ m et $d = 200$

$$d_h = 30 \text{ mm}$$

Où :

d_h = Distance sous la ligne d'horizon sur la règle (mm).

a = Distance entre l'œil de l'observateur et la règle lorsque le bras de l'observateur est complètement tendu (m).

h = Hauteur des yeux de l'observateur par rapport à la surface de l'eau au point d'observation (m; hauteur de la plateforme plus hauteur des yeux de l'observateur).

d = Distance à estimer (m; calcul distinct pour chaque distance).

En tenant pour acquis que 0 mm correspond à la ligne d'horizon, marquer les distances (d) le long de la règle d'après les valeurs d_h calculées (figure 4). Pour utiliser la jauge de distance, tenir la règle en tendant le bras et aligner la mesure de 0 mm sur la ligne d'horizon. Les marques visibles en regardant à travers la règle indiquent la distance par rapport à l'observateur. Les calculs doivent être mis à jour pour refléter tout changement des mesures de hauteur de la plateforme ou de l'observateur.

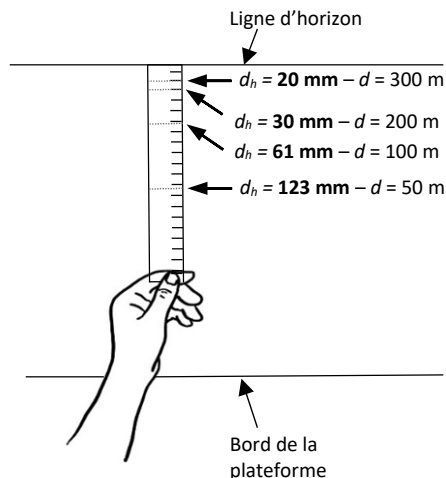


Figure 4. Estimation de la distance au moyen d'une jauge de distance fabriquée à l'aide d'une règle en plastique transparent et d'après les mesures $a = 0,91$ m et $h = 6,82$ m (adaptation de Gjerdrum *et al.*, 2012).

ANNEXE 4. MÉTHODE DE DÉNOMBREMENT DE GRANDS GROUPES D'OISEAUX

La plupart des observateurs ont tendance à sous-estimer le nombre d'individus au sein de grands rassemblements d'oiseaux. Une formation et des évaluations régulières permettent de réduire le biais de sous-estimation. Un observateur peut utiliser des photographies pour s'entraîner lorsqu'il n'est pas sur le terrain. Qu'il s'agisse d'estimer la taille d'un groupe sur une photographie ou sur le terrain, voici la méthode que chaque observateur devrait apprendre à utiliser.

En commençant à une extrémité du groupe, le diviser visuellement en blocs de 10, 50 ou 100 individus. Utiliser des unités plus petites si les individus sont très dispersés. D'après la taille de bloc choisie, estimer mentalement le nombre de blocs nécessaires pour englober l'ensemble du groupe. Il suffit alors de multiplier le nombre de blocs par le nombre d'oiseaux dans chaque bloc pour obtenir une estimation de la taille du groupe. Il faut aussi tenir compte de la nature tridimensionnelle des volées d'oiseaux (c.-à-d., les groupes distants semblent plus denses puisque les oiseaux sont cachés les uns derrière les autres).

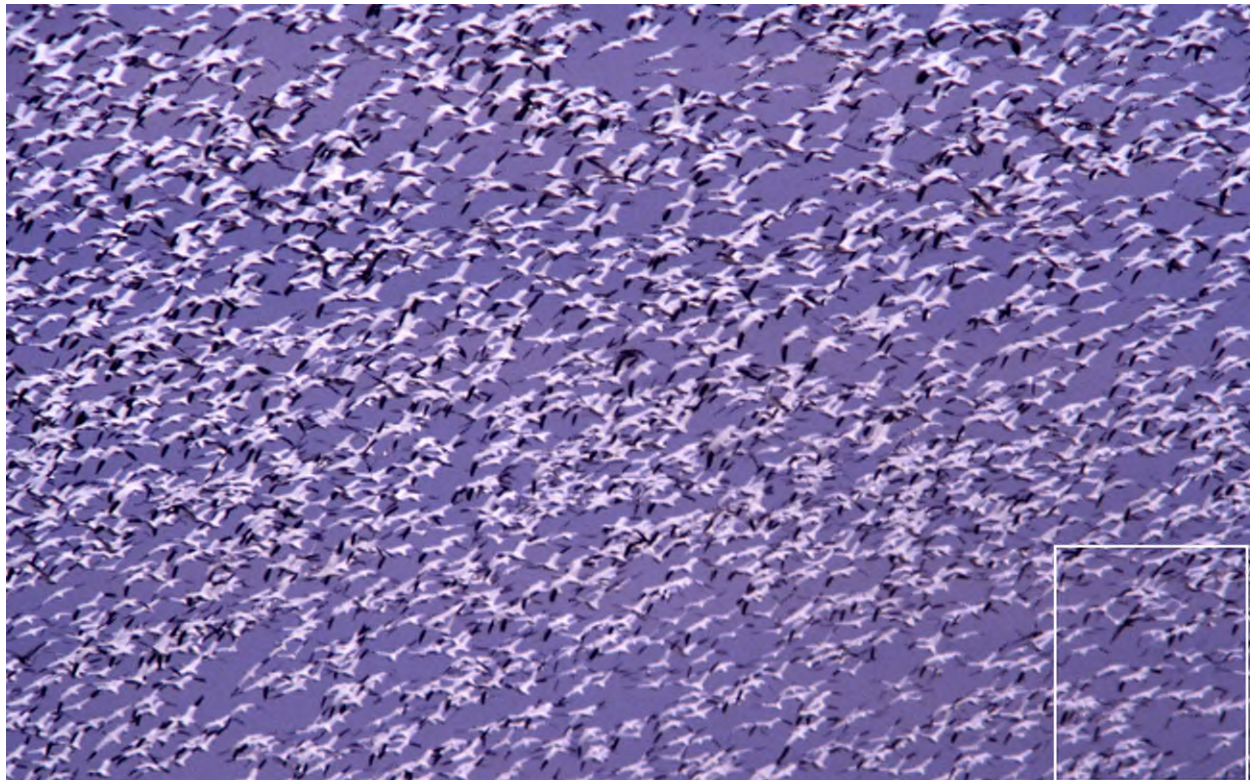


Figure 5. Volée d'Oies des neiges (*Anser caerulescens*). Le carré blanc contient environ 50 oies.
Photo : US Fish and Wildlife Service.

ANNEXE 5. DÉTECTION DES OISEAUX AU DÉBUT D'UN TRANSECT LINÉAIRE

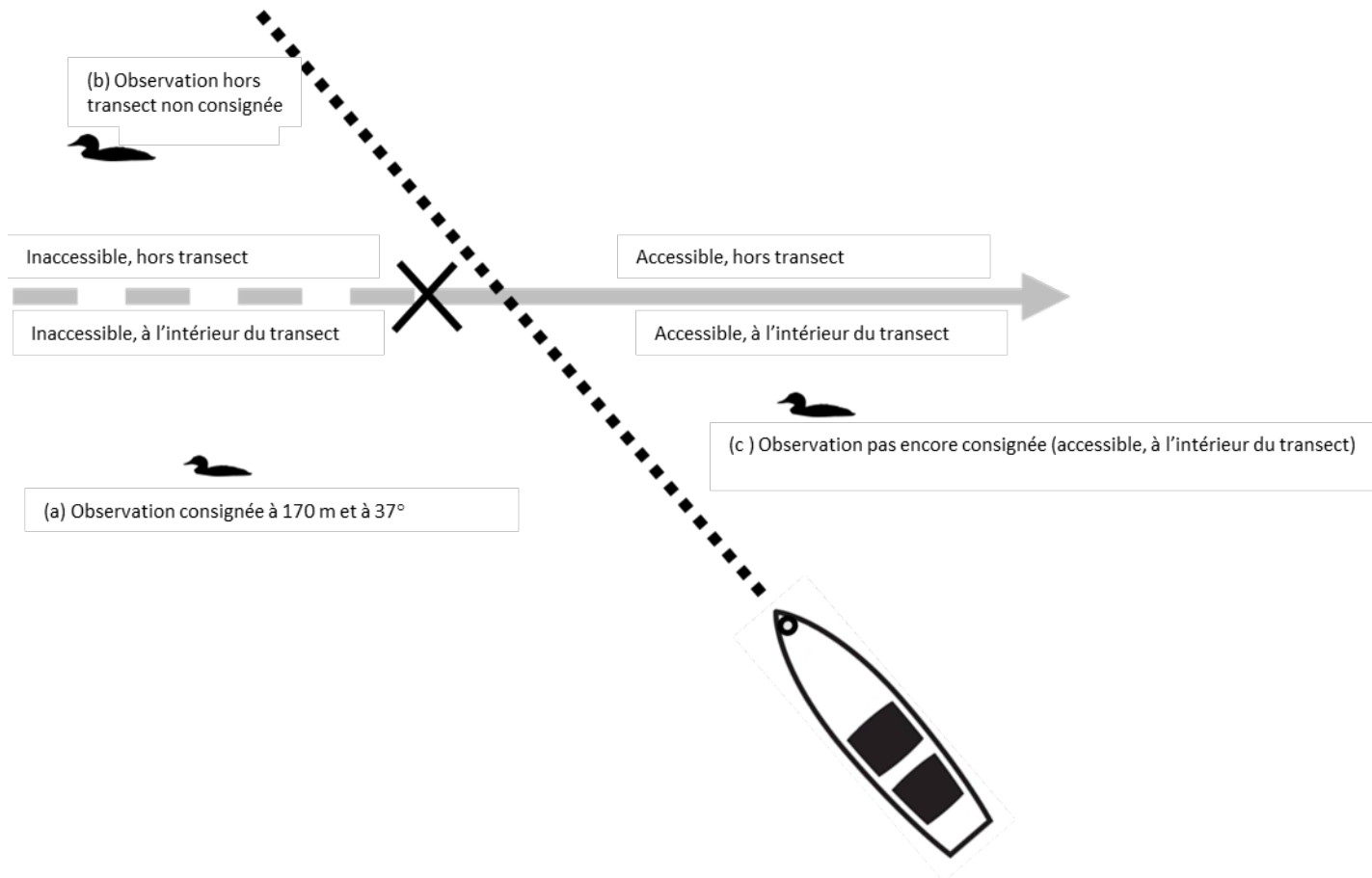


Figure 6. Un navire, avec à son bord un observateur effectuant un relevé par transect linéaire à tribord, s'approche d'un transect (ligne grise). La ligne grise tiretée représente une partie inaccessible du transect préétabli. La ligne noire pointillée indique la trajectoire d'approche (et la ligne de 0°) pour un seul observateur. Les notes (a), (b) et (c) désignent des oiseaux à proximité de la ligne de transect.

Détection des oiseaux au début de l'échantillonnage d'un transect linéaire

Le début de la ligne de transect (ligne grise tiretée) est inaccessible (c.-à-d. non navigable), mais visible. Tous les oiseaux qui se trouvent dans cette zone inaccessible (à l'intérieur du transect) doivent être comptés. L'échantillonnage du transect commence là où le transect est accessible (X noir).

À l'approche du transect, l'observateur placé du côté tribord du navire devrait tenter de dénombrer les oiseaux à l'intérieur du transect qui plongent ou s'éloignent. Il doit aussi compter tous les oiseaux dans la zone inaccessible à l'intérieur du transect qui n'ont pas plongé ou ne se sont pas éloignés (en se concentrant sur la zone s'étendant à environ 300 m du début du transect, comme il est précisé dans le protocole). Les observations d'oiseaux dans la zone accessible à l'intérieur du transect qui n'ont pas plongé ou ne se sont pas éloignés ne sont pas consignées pour l'instant. Ces individus pourront être dénombrés une fois que l'échantillonnage du transect aura commencé.

Les oiseaux observés alors que le navire s'approche de la ligne de transect ne doivent pas être comptés, ce n'est qu'une fois que le navire aura atteint le point X que l'observateur pourra consigner ces observations.

- L'oiseau (a), quel que soit son comportement, est compté, car il est considéré comme étant à l'intérieur du transect, et ce, même s'il est du côté bâbord du navire pendant l'approche.
- L'oiseau (b) est à l'extérieur du transect. Cet oiseau n'est pas compté, à moins qu'il se déplace et pénètre dans le transect.
- L'oiseau (c) est dans la zone accessible à l'intérieur du transect. Il ne doit être compté qu'au moment où l'observateur commence à échantillonner le transect. Si l'oiseau s'éloigne ou plonge avant que l'observateur n'atteigne la ligne, il doit être compté.

La détection d'oiseaux qui plongent ou s'éloignent, et la consignation de ces observations, est un problème fréquent lors de la réalisation de relevés par transects près du rivage. Selon certaines approches, il faut exclure tous les oiseaux détectés jusqu'à ce que le navire ait rejoint le transect, mais l'expérience acquise donne à penser que cela pourrait entraîner l'omission d'un nombre important d'oiseaux, en particulier chez les espèces associées aux rivages.

ANNEXE 6. FORMULAIRE DE SAISIE DE DONNÉES MANUELLE POUR LES RELEVÉS PAR TRANSECTS EN BANDE

Date	ID du transect	Observateur	N° de page	
Plateforme	Position : Bâbord/Tribord	Hauteur des yeux de l'observateur	Position par rapport au transect : À l'intérieur/À l'extérieur	
État de la mer (Beaufort)	Visibilité (km)		Largeur de bande (m)	
Vitesse réelle du vent (nœuds)	Hauteur de la houle (m)		Détectabilité	
Brouillard : Oui/Non	Éblouissement : Oui/Non	Précipitations : Oui/Non	Fumée : Oui/Non	
S'assurer que l'appareil GPS est synchronisé avec le chronomètre pour localiser avec exactitude les observations.				
Heure de début :				
Heure de l'observation	Code de quatre lettres	Nombre d'individus	Comportement	Commentaires sur l'observation
Remarques :				
Heure de fin :				

* Il s'agit d'indiquer si l'individu ou les individus sont en vol, sur l'eau ou sur la terre ferme. Selon le relevé, le numéro d'identification du transect (ID du transect), le numéro de la page (N° de page) et la détectabilité peuvent être facultatifs.