

A.J. Gaston
B.T. Collins
A.W. Diamond

Estimation de la densité des oiseaux en mer et de la proportion des oiseaux en vol à partir des dénombrements effectués sur des transects de largeur indéterminée



Environment
Canada

Environnement
Canada

0021988 F S

-3 AVR. 1987

SERVICE CANADIEN DE LA FAUNE
PUBLICATION HORS-SÉRIE

Publication hors série
Numéro 59
Service canadien de la faune

SK
471
C3314
NO. 59



Environnement
Canada

Environment
Canada

Service canadien
de la faune

Canadian Wildlife
Service

A.J. Gaston*
B.T. Collins*
A.W. Diamond*

SK
471
C3314
No. 59

3003445FM
**Estimation de la densité des
oiseaux en mer et de la proportion
des oiseaux en vol à partir des
dénombrements effectués sur des
transects de largeur indéterminée**

Publication hors série
Numéro 59
Service canadien de la faune

Also available in English



Publié avec l'autorisation du
Ministre de l'Environnement
Service canadien de la faune

©Ministre d'Approvisionnement et Services Canada 1987
Numéro de catalogue: CW69-1/59F
ISBN 0-662-93947-6
ISSN 0576-6370

Conception: Rolf Harder & Assoc.

Table des matières

| | |
|---------------------------|---|
| 4 | Remerciements |
| 4 | Résumé |
| 5 | Introduction |
| 6 | Recherche d'un indice de densité |
| 6 | 1. Base de l'indice de densité |
| 6 | 2. Correction pour les oiseaux sur l'eau |
| 7 | 3. Correction pour les oiseaux en vol |
| 8 | 4. Proportions des oiseaux en vol et des oiseaux sur l'eau |
| 8 | Résultats |
| 8 | 1. Comparaison des proportions observées et calculées d'oiseaux en vol |
| 8 | 2. Effet de l'inexactitude de l'estimation des paramètres d'entrée sur la densité estimée des oiseaux |
| 9 | 3. Comparaison avec les estimations du nombre d'oiseaux par kilomètre |
| 11 | Bibliographie |
| 12 | Annexes |
| Liste des tableaux | |
| 7 | Tableau 1. Formules pour le calcul de la densité des oiseaux |
| 9 | Tableau 2. Proportions observées (non corrigées) des oiseaux en vol |
| 10 | Tableau 3. Paramètres d'entrée employés pour l'estimation des proportions réelles des oiseaux en vol |
| 10 | Tableau 4. Proportions réelles estimées des oiseaux en vol pour certains mois |
| 10 | Tableau 5. Effet d'un changement de 50 % dans les paramètres d'entrée sur les estimations de la densité |
| 10 | Tableau 6. Rapport entre la densité estimée à 4 km/h et à 20 km/h pour un changement de 50 % dans les paramètres d'entrée |
| Liste des figures | |
| 8 | Figure 1. Rapport entre la proportion réelle des oiseaux en vol et la proportion observée pour différentes hypothèses |
| 12 | Figure A1. Superficie effectivement couverte pour un arc d'observation de 180° centré sur le cap (direction du bateau) |

| | |
|--------------------------|--|
| 12 | Figure A2. Superficie effectivement couverte pour un arc d'observation de 180° sur un côté du bateau |
| 13 | Figure A3. Superficie effectivement couverte pour un arc d'observation de 270° centré sur le cap (direction du bateau) |
| Liste des annexes | |
| 12 | Annexe 1. Calcul de la densité des oiseaux en vol pour un arc d'observation inférieur à 360° |
| 14 | Annexe 2. Formules pour le calcul des proportions réelles d'oiseaux en vol, pour divers arcs d'observation, lorsque la vitesse du bateau est beaucoup plus lente que celle des oiseaux |



Résumé

Remerciements

Nous remercions Steve Wendt, Hugh Boyd, David Schneider, Declan Troy et John Smith pour leurs observations utiles concernant les ébauches du présent rapport.

Les dénombrements d'oiseaux de mer sont parfois effectués sans établir une limite à la largeur des transects ni mesurer la distance de chaque oiseau compté. Pour obtenir les indices d'abondance, on exprime les résultats de ces dénombrements en nombre d'oiseaux par unité de temps ou par unité de distance parcourue. La prise en considération de la vitesse relative des oiseaux en vol permet d'accroître la comparabilité de ces indices. Les densités relatives des oiseaux en vol et sur l'eau peuvent aussi être estimées. Dans le présent rapport, nous présentons des méthodes à cette fin qui reposent sur la connaissance des vitesses de vol et de l'étendue de détectabilité. Nous examinons l'effet de changements dans les valeurs d'entrée sur nos estimations et nous démontrons que si les espèces sont classées correctement par ordre de détectabilité, nos indices corrigés doivent être supérieurs aux valeurs non corrigées pour les comparaisons entre espèces.

Introduction

Durant les 15 dernières années, des recensements d'oiseaux pélagiques en mer ont été effectués sur de grandes étendues (King, 1974; Brown *et al.*, 1975; Powers, 1982; Tasker *et al.*, 1984). Ces recensements visaient à déterminer la répartition et l'abondance relative de ces oiseaux en vue, notamment, d'évaluer les répercussions possibles de projets d'exploitation pétrolière au large. Dans les premiers recensements, y compris le *Programme intégré des recherches sur les oiseaux pélagiques* (PIROP) parrainé par le Service canadien de la faune (SCF), les observations se faisaient par périodes de 10 min sur des arcs qui variaient et des transects dont la largeur n'était pas fixe. Les recensements ainsi effectués ont l'avantage de ne pas exiger que l'observateur sache estimer la largeur des transects ou utiliser un indicateur de distance. Par conséquent, des observateurs inexpérimentés peuvent y participer, ce qui est un facteur important sur les grandes étendues où l'on veut mettre à profit toutes les possibilités d'obtenir des données.

Les résultats des recensements faits sans transects de largeur fixe sont normalement exprimés en nombre d'oiseaux par unité de temps ou par kilomètre linéaire. Les deux formes sont utilisées comme indices de la densité des oiseaux, mais elles ont des inconvénients. Les observations exprimées en nombre d'oiseaux par unité de temps ont une variance élevée, attribuable à la vitesse du bateau. Par ailleurs, dans les nombres d'oiseaux par kilomètre linéaire, il n'est pas tenu compte du fait qu'à basse vitesse, la plupart des oiseaux en vol comptés entrent dans le champ d'observation non à cause du déplacement du bateau, mais à cause de leur déplacement à eux.

La plupart des auteurs qui se sont intéressés aux observations d'oiseaux pélagiques en mer ont traité de ces problèmes (voir les références données dans Tasker *et al.*, 1984). Dans tous les cas, la possibilité de produire un meilleur indice d'abondance par la prise en considération d'autres facteurs que le temps et la vitesse du bateau a été rejetée, car les variables additionnelles (portée de détection, vitesse de vol) ne pouvaient être mesurées avec une précision suffisante pour que l'effort vaille la peine. Les recensements intensifs des oiseaux de mer réalisés au cours des 10 dernières années ont généralement été effectués sur des transects de largeur fixe ou ont comporté l'estimation de la distance à laquelle les oiseaux étaient aperçus (Ainley et Boekheide, 1983; Tasker *et al.*, 1984; Weins *et al.*, 1978; Briggs *et al.*, 1985). Dans tous les cas, ils reposaient sur une équipe d'observateurs entraînés.

Nous présentons ici nos efforts en vue de produire un meilleur indice d'abondance, un indice qui serait moins variable et qui permettrait des comparaisons quantitatives entre les dénombrements faits à différentes vitesses (bateaux) et

entre les espèces. Nous croyons que l'information disponible sur la portée de détection et la vitesse de vol, bien que brute, nous permet encore d'améliorer de beaucoup les indices utilisés auparavant. Pour contrôler la robustesse de notre indice, nous avons examiné, pour plusieurs cas simulés, l'effet qu'avaient sur lui des erreurs dans les paramètres d'entrée. Nous avons également comparé l'efficacité de notre indice et de l'indice linéaire (nombre d'oiseaux par kilomètre linéaire).

En fait, les recensements par transects des oiseaux pélagiques en mer ne diffèrent des autres estimations par transects linéaires des oiseaux que par le fait qu'une grande proportion des oiseaux aperçus sont en vol. Il devient donc important d'employer un indice de densité qui tient compte de l'entrée des oiseaux en vol dans le transect au cours de la période d'observation. Si beaucoup d'auteurs se sont penchés sur les transects linéaires et en bande pour l'observation des oiseaux terrestres (voir Anderson *et al.*, 1976; Järvinen et Vaisänen, 1975; Sen *et al.*, 1974; Burnham *et al.*, 1980; et les références données dans Ralph et Scott, 1981), les méthodes décrites ne tiennent pas compte du déplacement des oiseaux qui n'est pas relié à l'observateur.

Recherche d'un indice de densité

La base de données du PIROP renferme des données d'observation pour les 15 dernières années (Brown *et al.*, 1975; Brown, 1986). Comme ces données étaient obtenues par un grand nombre d'observateurs dont certains n'avaient qu'une expérience limitée, les méthodes d'enregistrement des données ont été maintenues simples. Tous les oiseaux aperçus au cours d'une période de 10 min ont été comptés, sans égard à leur distance. Dans certains cas, l'activité des oiseaux (c.-à-d. en vol, sur l'eau) a également été consignée. Divers autres renseignements sur les conditions atmosphériques, l'état de la mer, la hauteur de l'observateur au-dessus du niveau de la mer, etc., ont également été pris en note pour chaque période d'observation, de même que la vitesse du bateau. D'autres détails sont donnés dans Brown *et al.* (1975).

Des cartes préparées à partir de cette base de données font voir la densité des oiseaux, soit leur nombre moyen relevé par kilomètre pour un mois donné dans un carré de grille. Elles donnent une bonne idée de la présence ou de l'absence des oiseaux ainsi que de leur abondance relative. Les chiffres présentés, du moins pour les espèces communes, ont été calculés à partir d'un grand nombre de rapports (environ 300 000); ils reposent probablement sur des échantillons de taille suffisante pour que l'effet des variations aléatoires dans la proportion d'oiseaux aperçus et l'étendue couverte (à cause des conditions atmosphériques et de la visibilité, p. ex.) soit relativement peu important. Toutefois, l'abondance relative des oiseaux, exprimée en nombre d'oiseaux par kilomètre, présente une corrélation systématique avec la vitesse du bateau. Comme celle-ci n'est ni constante ni indépendante du lieu (ex.: les vitesses moyennes pour les données du PIROP sont généralement plus élevées aux latitudes supérieures du fait d'une corrélation existant avec le type de bateau employé et la période de l'année), il y a donc un biais dans les comparaisons entre régions. En outre, les comparaisons de l'abondance relative entre espèces de taille et de couleur différentes sont influencées par les différences quant à la distance à laquelle les oiseaux peuvent être décelés. Les espèces plus faciles à déceler semblent plus répandues qu'elles ne le sont réellement par rapport aux espèces peu visibles.

1. Base de l'indice de densité

L'indice repose sur l'estimation (1) de la superficie où une espèce donnée aurait pu être décelée durant une période d'observation et (2) du nombre d'oiseaux en vol entrant dans le champ de vision de l'observateur durant une période d'observation. Nos formules ont été établies en fonction des périodes d'observation de 10 min utilisées pour le PIROP

(Brown *et al.*, 1975), mais elles pourraient être facilement modifiées pour des périodes d'observation différentes. Nous utilisons les termes suivants:

- superficie couverte (A) = superficie totale où une espèce donnée aurait pu être décelée au cours d'une période d'observation (km^2);
- densité des oiseaux (D) = nombre réel d'oiseaux par unité de superficie à un instant donné (nombre/ km^2);
- rayon de détection (r) = distance à laquelle une espèce donnée peut être décelée (km);
- arc d'observation = angle délimitant le champ de détection de l'observateur.

À l'intérieur du champ potentiel de détection, ce ne sont pas tous les oiseaux qui sont comptés, et la proportion de ceux qui le sont varie en fonction de la distance. La fonction exprimant la proportion des oiseaux aperçus par rapport à la distance est appelée fonction de détection (Burnham *et al.*, 1980), et diverses techniques ont été employées pour l'estimer et l'utiliser afin de corriger les chiffres bruts. La forme de cette fonction varie probablement selon l'espèce (Weins *et al.*, 1978), et comme elle est inconnue pour la majorité des espèces qui nous intéressent, nous n'avons pas essayé de l'utiliser. À la place, nous avons fait reposer notre modèle sur la supposition que tous les oiseaux sont aperçus s'ils se trouvent dans un rayon donné (estimateur de type II de Weins *et al.*, 1978) et nous avons utilisé la moyenne arithmétique des distances de détection (Gates, 1968 et 1969).

2. Correction pour les oiseaux sur l'eau

Normalement, les oiseaux qui sont sur l'eau se reposent ou se déplacent lentement par rapport au bateau. Par conséquent, ils peuvent être considérés comme des objets stationnaires, de sorte que le nombre de ceux qui sont aperçus par unité de temps est fonction de la superficie couverte (A_s) et de la densité des oiseaux (D_s). (L'indice «s» est employé pour indiquer qu'il s'agit des oiseaux se trouvant à la surface de l'eau.)

On a donc:

$$N_s = A_s D_s \quad [1]$$

où N_s est le nombre d'oiseaux d'une espèce donnée aperçus au cours d'une période d'observation.

La superficie couverte est déterminée par la distance à laquelle un oiseau peut être décelé (r_s), la vitesse du bateau (S , en km/h) et l'arc d'observation.

Tableau 1

Formules pour le calcul de la densité (a) des oiseaux sur l'eau, et (b) des oiseaux en vol, dans le cas où la vitesse du bateau est beaucoup plus faible que celle des oiseaux

| Arc couvert | Densité des oiseaux sur l'eau | Densité des oiseaux en vol |
|--|--------------------------------|--|
| 360° | $N_s/(\pi r_s^2 + r_s S/3)$ | $N_f/(\pi r_f^2 + r_f V/3)$ |
| 180° centré sur le cap (direction du bateau) | $N_s/(\pi r_s^2/2 + r_s S/3)$ | $N_f/[\pi r_f^2/2 + r_f V(1 + 2/\pi)/6]$ |
| 180° sur un côté du bateau | $N_s/(\pi r_s^2/2 + r_s S/6)$ | $N_f/[\pi r_f^2/2 + r_f V(1 + 2/\pi)/6]$ |
| 270° centré sur le cap (direction du bateau) | $N_s/(3\pi r_s^2/4 + r_s S/3)$ | $N_f/g_s(r_f, V, S)^*$ |

*Voir annexe I, cas III.

Considérons d'abord le cas où le champ d'observation est de 360°. La superficie couverte se présente alors comme une longue bande rectangulaire se terminant par un demi-cercle à chaque bout.

$$A_s = \pi r_s^2 + 2r_s tS \quad [2]$$

où t est le temps d'observation en heures. Comme les périodes d'observation pour le PIROP sont uniformément de 10 min, l'équation [2] peut être simplifiée comme suit:

$$A_s = \pi r_s^2 + r_s S/3 \quad [3]$$

Si on réarrange l'équation [1] et qu'on y transpose l'équation [3], on obtient:

$$D_s = N_s/(\pi r_s^2 + r_s S/3) \quad [4]$$

Dans certains cas, les observations faites pour le PIROP portaient sur un arc de cercle de moins de 360°. On trouvera au tableau 1 les superficies couvertes dans trois cas: (i) arc de 270° divisé symétriquement par rapport au cap (direction du bateau); (ii) arc de 180° divisé symétriquement par rapport au cap; et (iii) arc de 180° sur un côté du bateau. Dans les cas où le code indiqué est 315° ou 360° par intermittence, on considère que l'arc d'observation est de 360°.

3. Correction pour les oiseaux en vol

Dans la superficie effectivement couverte par un transect, il doit être tenu compte de la vitesse et de la direction des oiseaux par rapport au bateau. (L'indice «f» est le nombre d'oiseaux en vol.) Lorsque les oiseaux arrivent dans le transect en volant à une vitesse V dans une direction θ par rapport au bateau, il a été démontré par Gaston et Smith (1984) que leur vitesse par rapport au bateau est:

$$V_o(\theta) = V \sqrt{\cos^2(\theta - S/V) + (\sin \theta)^2} \quad [5]$$

et que les oiseaux semblent venir d'une direction $\alpha(\theta)$ où

$$\tan \alpha(\theta) = \frac{\sin \theta}{\cos \theta - S/V} \quad [6]$$

Lorsque l'arc d'observation est de 360°, la superficie couverte a la forme d'une longue bande rectangulaire faisant un angle $\alpha(\theta)$ par rapport au cap (direction du bateau), avec un demi-cercle à chaque extrémité. La largeur de cette bande est de $2r_f$, et sa longueur, de $V_o(\theta)/6$ (pour une période d'observation de 10 min). Par conséquent, la superficie de la bande observée pour des oiseaux volant dans la direction θ est:

$$A(\theta) = \pi r_f^2 + 2r_f V_o(\theta)/6 \quad [7]$$

Si $D_f(\theta)$ représente la densité des oiseaux volant dans la direction θ , en supposant une probabilité égale pour toutes les directions de vol, on a alors $D_f(\theta) = D_f/2\pi$, où D_f

représente la densité globale des oiseaux en vol. La densité des oiseaux aperçus volant dans la direction θ est donnée par $D_f(\theta) A(\theta)$, et le nombre total d'oiseaux aperçus est calculé par intégration sur θ .

$$N_f = \int_{-\pi}^{\pi} \frac{D_f}{2\pi} [\pi r_f^2 + r_f V_o(\theta)/3] d\theta \quad [8]$$

Cette équation est difficile à manipuler algébriquement, mais elle peut être résolue par intégration numérique. Par ailleurs, si la vitesse du bateau est beaucoup plus lente que celle des oiseaux, $V_o(\theta)$ sera près de V . En remplaçant $V_o(\theta)$ par V dans l'équation [8], on obtient:

$$N_f = D_f(\pi r_f^2 + r_f V/3) \quad [9]$$

L'effet du remplacement de $V_o(\theta)$ par V a été examiné par intégration numérique de l'équation [8]. L'intégrale a été évaluée par la méthode des trapèzes avec 1000 points de division. Nous avons ainsi constaté que lorsque la vitesse du bateau ne dépasse pas le cinquième de celle des oiseaux, l'erreur causée par le remplacement est inférieure à 1 % et qu'elle grimpe à 6 % lorsque la vitesse du bateau est la moitié de celle des oiseaux.

La formule pour la densité des oiseaux en vol s'obtient par réarrangement de l'équation [8]:

$$D_f = \frac{N_f}{\int_{-\pi}^{\pi} [\pi r_f^2 + r_f V_o(\theta)/3] / 2\pi d\theta} \quad [10]$$

Dans le cas où S est beaucoup plus petit que V , la densité des oiseaux en vol est:

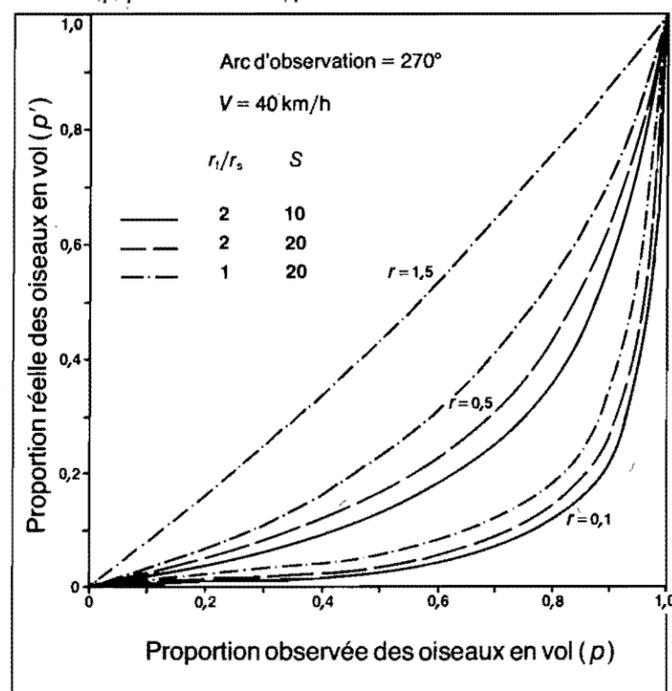
$$D_f = \frac{N_f}{\pi r_f^2 + r_f V/3} \quad [11]$$

Le mode de calcul des formules pour les trois cas où l'observateur ne regarde qu'une partie de l'arc de 360° est donné à l'annexe I. Les formules pour le cas où B est beaucoup plus faible que V sont données au tableau 1.

Les équations [10] et [11] ainsi que celles du tableau 1 ne s'appliquent que si les oiseaux peuvent venir de n'importe quelle direction avec une probabilité égale. Si les oiseaux volent tous dans la même direction et que le bateau est en mouvement, l'angle entre la direction du bateau et celle des oiseaux influe sur le nombre des oiseaux aperçus. Cette information n'apparaît pas dans la plupart des cas dans les fichiers du PIROP. Nous avons donc supposé que les erreurs ainsi introduites seront aléatoires pour différentes régions et différentes espèces.

En réalité, il n'a pas toujours été indiqué dans les données si les oiseaux étaient en vol ou sur l'eau. Par conséquent, nous devons utiliser les proportions déterminées à partir du sous-ensemble des observations (ordinairement $\geq 50\%$) pour lesquelles cette information est disponible. Si p désigne la proportion des oiseaux qui sont recensés comme étant en vol, on a $N_f = N_p$ et $N_s = N(1 - p)$.

Figure 1
Rapport entre la proportion réelle des oiseaux en vol (p') et la proportion observée (p) pour différentes hypothèses



Il est nécessaire de modifier cette formule dans le cas des oiseaux se déplaçant en zigzag. La vitesse à laquelle ces oiseaux entrent dans le champ d'observation est proportionnelle à leur vitesse moyenne au sol pour un certain nombre de zigzags. Nous avons employé une constante différente pour chaque espèce (K) pour estimer la vitesse moyenne au sol (V'); on a:

$$V' = V/K$$

où K varie de 1,0 (espèces volant le plus en ligne droite [alcidés]), à 1,5 (espèces dont la direction de vol est moins droite [procellariidés]). (Voir Croxall *et al.*, 1984.)

Lorsque cette modification s'applique, V est remplacé par V' partout.

4. Proportions des oiseaux en vol et des oiseaux sur l'eau

La proportion réelle des oiseaux en vol (p') peut être estimée à l'aide de l'équation suivante:

$$p' = D_r / (D_r + D_s) \quad [12]$$

En remplaçant D_s et D_r par leur expression dans les équations [4] et [11], nous pouvons estimer p' à partir des valeurs de p , r_i , r_s , V et S . Le cas où S est beaucoup plus faible que V est traité à l'annexe 2.

Les estimations de p' pour différentes valeurs de p révèlent que la différence entre les deux est maximale lorsque p est d'environ 0,5 et minimale dans les cas extrêmes où p est près de 0 ou de 1 (figure 1). En utilisant des valeurs hypothétiques pour r_s , r_i et V , nous avons constaté relativement peu de différences dans les estimations de p' pour différentes valeurs de r_i par rapport à r_s . La différence entre les deux diminue lorsque la vitesse du bateau est grande et que la vitesse de vol est faible, mais elle demeure importante pour $V = 40$ avec $S = 20$ et $V = 20$ avec $S = 10$ (figure 1).

Résultats

1. Comparaison des proportions observées et calculées d'oiseaux en vol

Les proportions d'oiseaux en vol (p) ont été calculées pour 19 taxons à partir des données du PIROP pour chacun des sept mois de septembre à mars (tableau 2). (Les oiseaux classés dans les catégories de comportement 10, 40 à 43, 60 et 65 ont été comptés comme des oiseaux en vol [F], et ceux des catégories 20 à 30 inclusivement, comme des oiseaux nageant ou à la surface de l'eau [S] [Brown *et al.*, 1975]; par conséquent, $p = F / [F + S]$.)

Ces valeurs de p ont ensuite été utilisées pour estimer les proportions réelles d'oiseaux en vol chaque mois à l'aide des équations [10] et [12]. La vitesse moyenne des bateaux pour chaque mois a également été calculée à partir des données du PIROP. Les valeurs pour la vitesse de vol des oiseaux (V), le rayon de détection (r_s) et le rapport r_i/r_s ont été tirées d'ouvrages déjà parus (tableau 3). Les indices pour les vols en zigzag (K) ont été établis à partir des observations occasionnelles. Pour une meilleure comparabilité, nous avons pris toutes les estimations de r_s d'une même source (Dixon, 1977).

Les valeurs calculées de p sont données au tableau 4; lorsqu'on les compare avec les données du tableau 2, on peut voir jusqu'à quel point le nombre d'oiseaux en vol peut être surestimé si aucune correction n'est faite. Dans le cas des «espèces-mois» pour lesquels au moins 95 % des observations sont des observations d'oiseaux en vol, l'effet est assez faible, les estimations des proportions réelles d'oiseaux en vol dépassant 80 %. Toutefois, lorsque la proportion des oiseaux aperçus en vol est inférieure à 80 %, l'effet est remarquable, les estimations des valeurs réelles étant en majeure partie inférieures de 70 % aux proportions observées. La correction a donc une grande importance en ce qui concerne l'utilisation des recensements faits en mer pour déterminer la proportion du temps passé à voler pour certaines espèces, notamment lorsque les données sont utilisées pour estimer la dépense énergétique journalière.

2. Effet de l'inexactitude de l'estimation des paramètres d'entrée sur la densité estimée des oiseaux

Pour contrôler l'effet d'une variation dans les paramètres d'entrée, nous avons établi deux modèles: (1) modèle pour une espèce du type du «macareux», présentant un faible contraste avec la mer et volant rapidement et en ligne droite; et (2) modèle pour une espèce du type du «fulmar»; se détachant bien sur la mer et volant plus lentement en zigzaguant beaucoup. Les valeurs données aux variables sont tirées du tableau 3. Dans chaque cas, nous avons supposé une

densité de 100 oiseaux/km² et, à l'aide des équations [4] et [7], nous avons calculé le nombre d'oiseaux qu'apercevrait un observateur balayant l'horizon tout autour de lui (360°) et la proportion des oiseaux comptés qui seraient en vol. Ensuite, en gardant le nombre d'oiseaux aperçus constant, nous avons recalculé la densité estimée en changeant tour à tour la valeur de chaque paramètre d'entrée de +50 % et de -50 % (tableau 5).

La densité estimée (D), pour les deux modèles, s'est révélée plus sensible aux changements de la valeur de r_s et moins sensible aux changements de la valeur de V' . La valeur réelle de V' se situe probablement bien à l'intérieur des valeurs extrêmes testées pour les deux modèles, et le degré d'exactitude de cette variable paraît répondre aux besoins du modèle. La proportion des oiseaux en vol, déterminée direc-

tement à partir des données d'observation employées pour les calculs, est probablement connue avec une exactitude suffisante. Malheureusement, la variable à laquelle les modèles sont les plus sensibles, r_s , est la plus difficile à mesurer et celle pour laquelle les mesures disponibles sont donc les moins précises.

3. Comparaison avec les estimations du nombre d'oiseaux par kilomètre

À cause de l'effet important de la variable peu précise r_s sur les densités estimées, il n'apparaît pas opportun d'employer les équations [4] et [7] pour estimer la densité réelle. Par contre, on peut s'en servir pour obtenir une indication de la densité relative. Ces équations présentent plusieurs avan-

Tableau 2
Proportions observées (non corrigées) des oiseaux en vol

| Espèces | Janv. | Fév. | Mars | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fulmar boréal (<i>Fulmarus glacialis</i>) | 0,80 | 0,83 | 0,43 | 0,37 | 0,69 | 0,79 | 0,98 |
| Grand Puffin (<i>Puffinus gravis</i>) | | | | 0,79 | 0,60 | 0,98 | 1,00 |
| Puffin fuligineux (<i>Puffinus griseus</i>) | | | | 0,96 | 0,57 | | |
| Pétrels (<i>Oceanites oceanicus</i> et <i>Oceanodroma leucorhoa</i>) | | | | 0,97 | 0,72 | | |
| Fou de Bassan (<i>Sula bassanus</i>) | | | | 0,92 | 0,79 | 0,66 | 0,97 |
| Phalaropes (<i>Phalaropus</i> spp.) | | | | 0,37 | 0,82 | 0,51 | |
| Labbes (<i>Stercorarius</i> spp.) | | | | 0,75 | 0,70 | 0,95 | |
| Labbes (<i>Catharacta</i> spp.) | | | | 0,87 | 1,00 | | |
| Mouette tridactyle (<i>Rissa tridactyla</i>) | 0,37 | 0,59 | 0,67 | 0,44 | 0,55 | 0,78 | 0,55 |
| Mouette blanche (<i>Pagophila eburnea</i>) | 0,11 | 0,92 | | 0,81 | | 1,00 | 0,90 |
| Goéland argenté (<i>Larus argentatus</i>) | 0,88 | 0,85 | 0,93 | 0,23 | 0,70 | 0,80 | 0,94 |
| Goéland arctique (<i>Larus glaucoides</i>) | 0,50 | 0,88 | 0,82 | 0,75 | 0,29 | 0,51 | |
| Goéland à manteau noir (<i>Larus marinus</i>) | 0,65 | 0,55 | 0,58 | 0,39 | 0,78 | 0,82 | 0,99 |
| Goéland bourgmestre (<i>Larus hyperboreus</i>) | 0,89 | 0,68 | 0,06 | 0,46 | 0,50 | 0,58 | 0,93 |
| Mergule nain (<i>Alle alle</i>) | 0,93 | 0,92 | 0,85 | 0,18 | 0,71 | 0,75 | 0,62 |
| Marmettes (<i>Uria</i> spp.) | 0,66 | 0,56 | 0,76 | 0,56 | 0,53 | 0,70 | 0,83 |
| Guillemot noir (<i>Cepphus grylle</i>) | | 0,37 | 0,06 | 0,80 | 0,91 | | |
| Macareux moine (<i>Fratercula arctica</i>) | 0,50 | | | 0,68 | 0,40 | 0,20 | |
| Vitesse moyenne des bateaux (km/h) | 19,50 | 21,60 | 16,70 | 18,90 | 19,30 | 18,50 | 23,20 |
| Arc moyen d'observation* | 0,64 | 0,66 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,61 | 0,62 |

*1,0 = 360°.

tages par rapport au nombre d'oiseaux par kilomètre (N/S), indice employé auparavant.

Premièrement, le nouvel indice (appelé ci-après «indice surfacique» par opposition à «indice linéaire») est beaucoup moins sensible à la vitesse du bateau. Pour les estimations de D pour lesquelles toutes les variables d'entrée sont correctes, la vitesse du bateau n'a naturellement aucun effet sur l'indice surfacique. Le rapport de l'indice surfacique à 4 km/h sur celui à 20 km/h calculé pour une erreur de 50 % dans les variables d'entrée est indiqué au tableau 6. Pour les conditions posées initialement, les rapports calculés sont tous beaucoup plus près de l'unité que les rapports correspondants pour l'indice linéaire (tableau 6). Cela est vrai pour toutes les valeurs de r , sauf les valeurs très faibles pour lesquelles les deux indices convergent.

Deuxièmement, l'indice surfacique réduit le biais à l'endroit des espèces moins visibles. Avec nos suppositions initiales, l'indice linéaire donne pour les fulmars un chiffre qui est 2,9 fois celui obtenu pour les macareux à une vitesse de l'embarcation de 20 km/h, et l'écart augmente pour les vitesses plus faibles. Par contre, avec une erreur de 50 % dans la variable la plus importante (r) pour les fulmars, on obtient

Tableau 3
Paramètres d'entrée employés pour l'estimation des proportions réelles des oiseaux en vol (p'). Les chiffres entre parenthèses indiquent la source

| Espèces | Vitesse (km/h) | r_s (km) | r_l/r_s | K pour zigzag |
|--------------------------|----------------|----------------|-----------|-----------------|
| Fulmar boréal | 43 ± 4(1) | 0,35 ± 0,19(2) | 1,3(6) | 1,5 |
| Grand Puffin | 40 | 0,3 | 1,3 | 1,3 |
| Puffin fuligineux | 40 | 0,25 | 1,1(6) | 1,3 |
| Pétrels | 35 | 0,15 | 1,3 | 1,5 |
| Fou de Bassan | 72 ± 7(3) | 0,36 ± 0,14(2) | 1,3 | 1,3 |
| Phalaropes | 35 | 0,15 | 1,3 | 1,0 |
| <i>Stercorarius</i> spp. | 40 | 0,27 ± 0,18(2) | 1,3 | 1,3 |
| <i>Catharacta</i> spp. | 40 | 0,40 ± 0,11(2) | 1,3 | 1,3 |
| Mouette tridactyle | 34 ± 6(4) | 0,22 ± 0,08(2) | 1,9(6) | 1,3 |
| Mouette blanche | 35 | 0,4 | 1,3 | 1,3 |
| Goéland argenté | 39 ± 4(4) | 0,5 | 1,0(6) | 1,3 |
| Goéland arctique | 39 | 0,5 | 1,0 | 1,3 |
| Goéland à manteau noir | 40 | 0,54 ± 0,11(2) | 1,0 | 1,3 |
| Goéland bourgmestre | 40 | 0,6 | 1,0(6) | 1,3 |
| Mergule nain | 45 | 0,15 | 1,8 | 1,0 |
| Marmettes | 58(5) | 0,22 ± 0,09(2) | 1,3(6) | 1,0 |
| Guillemot noir | 50(5) | 0,2 | 1,2 | 1,0 |
| Macareux moine | 50 | 0,21 ± 0,08(2) | 1,8(6)* | 1,0 |

SOURCES: (1) Pennycuik, 1960; (2) Dixon, 1977; (3) Nelson, 1978; (4) Schnell et Hellack, 1979; (5) Bradstreet, 1982; (6) Wiens *et al.*, 1978.

*Les chiffres utilisés sont ceux pour le Macareux cornu (*Fratrercula corniculata*).

Tableau 4
Proportions réelles estimées des oiseaux en vol pour certains mois

| Espèces | Janv. | Fév. | Mars | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | \bar{x} |
|--------------------------|-------|------|------|-------|------|------|------|-----------|
| Fulmar boréal | 0,66 | 0,71 | 0,25 | 0,26 | 0,57 | 0,65 | 0,97 | 0,58 |
| Grand Puffin | | | | 0,64 | 0,41 | 0,96 | 1,00 | 0,75 |
| Puffin fuligineux | | | | 0,93 | 0,42 | | | 0,67 |
| Pétrels | | | | 0,95 | 0,59 | | | 0,77 |
| Fou de Bassan | | | | 0,77 | 0,52 | 0,36 | 0,90 | 0,64 |
| Phalaropes | | | | 0,20 | 0,65 | 0,19 | | 0,35 |
| <i>Stercorarius</i> spp. | | | | 0,58 | 0,52 | 0,90 | | 0,67 |
| <i>Catharacta</i> spp. | | | | 0,76 | 1,00 | | | 0,88 |
| Mouette tridactyle | 0,17 | 0,33 | 0,41 | 0,21 | 0,29 | 0,55 | 0,29 | 0,32 |
| Mouette blanche | 0,06 | 0,85 | | 0,69 | | 1,00 | 0,82 | 0,68 |
| Goéland argenté | 0,83 | 0,79 | 0,90 | 0,16 | 0,60 | 0,72 | 0,91 | 0,70 |
| Goéland arctique | 0,39 | 0,83 | 0,75 | 0,66 | 0,21 | 0,40 | | 0,54 |
| Goéland à manteau noir | 0,54 | 0,44 | 0,47 | 0,29 | 0,69 | 0,74 | 0,98 | 0,59 |
| Goéland bourgmestre | 0,84 | 0,58 | 0,04 | 0,35 | 0,39 | 0,47 | 0,90 | 0,51 |
| Mergule nain | 0,76 | 0,73 | 0,57 | 0,05 | 0,37 | 0,42 | 0,28 | 0,45 |
| Marmettes | 0,35 | 0,26 | 0,46 | 0,26 | 0,24 | 0,39 | 0,57 | 0,36 |
| Guillemot noir | | 0,16 | 0,02 | 0,57 | 0,77 | | | 0,38 |
| Macareux moine | 0,18 | | | 0,32 | 0,13 | 0,05 | | 0,17 |

un indice surfacique qui est seulement 2,1 fois celui obtenu pour les macareux à 20 km/h. Des erreurs similaires dans la même direction pour les deux espèces donnent lieu à des différences négligeables dans la valeur relative de leurs indices surfaciques. Par conséquent, l'exactitude de l'estimation de l'abondance relative de différentes espèces fournie par les indices surfaciques est fonction de l'exactitude relative des variables d'entrée pour ces espèces. Dans le cas de r , ses valeurs relatives peuvent probablement être établies avec une plus grande confiance que ses valeurs réelles. Par exemple, supposons que r_s se situe entre 0,2 et 0,5 km pour les marmettes et entre 0,4 et 0,8 km pour les fulmars. Toutefois, si nous prenons une valeur de 0,5 km pour les marmettes, nous devons certainement prendre une valeur d'au moins 0,6 km pour les fulmars qui sont des oiseaux plus pâles et, donc, plus facilement décelables sur la mer et en vol.

À condition que les valeurs de r_s choisies pour différentes espèces soient ordonnées correctement, les comparaisons interspécifiques reposant sur l'indice surfacique seront toujours plus exactes que les comparaisons similaires reposant sur l'indice linéaire.

Tableau 5
Effet d'un changement de 50 % dans les paramètres d'entrée sur les estimations de la densité (D). La vitesse du bateau est de 10 km/h

| Paramètre d'entrée | Modèle du «macareux»* | | Modèle du «fulmar»† | |
|--|-----------------------|-------|---------------------|-------|
| | +50 % | -50 % | +50 % | -50 % |
| Rayon de visibilité à la surface de l'eau, r_s | -36 | +109 | -37 | +114 |
| $r_l/r_s, x_i$ | -5 | +15 | -9 | +27 |
| Vitesse de vol, V | -6 | +7 | -5 | +10 |
| Proportion en vol, p' | -36 | +36 | -25 | +25 |

* $r_s = 0,21$ km, $r_l = 0,315$ km, $V = 50$ km/h, $K = 1,0$.
† $r_s = 0,35$ km, $r_l = 0,45$ km, $V = 43$ km/h, $K = 1,5$.

Tableau 6
Rapport entre la densité estimée à 4 km/h et à 20 km/h (D_4/D_{20}) pour un changement de 50 % dans les paramètres d'entrée

| Paramètre d'entrée | Modèle du «macareux»* | | Modèle du «fulmar»† | |
|--|-----------------------|-------|---------------------|-------|
| | +50 % | -50 % | +50 % | -50 % |
| Rayon de visibilité à la surface de l'eau, r_s | 0,90 | 1,14 | 0,89 | 1,18 |
| $r_l/r_s, x_i$ | 1,03 | 0,92 | 1,05 | 0,90 |
| Vitesse de vol, V | 1,02 | 0,97 | 1,02 | 0,99 |
| Proportion en vol, p' | 0,86 | 1,06 | 0,84 | 1,10 |
| N/S (indice linéaire) | 1,50 | | 1,82 | |

*†Paramètres d'entrée comme au tableau 4.

Bibliographie

Ainley, D.G.; Boekelheide, R.J. 1983. An ecological comparison of oceanic seabird communities of the south Pacific Ocean. *Studies in Avian Biol.* 8: 2-23.

Anderson, D.R.; Laake, J.L.; Crain, B.R.; Burnham, K.P. 1976. Guidelines for line transect sampling of biological populations. Utah State Univ. Press. Logan, Utah. 27 pp.

Bradstreet, M.S.W. 1982. Occurrence, habitat use and behaviour of seabirds, marine mammals and arctic cod at the Pond Inlet ice edge. *Arctic* 35: 28-40.

Briggs, K.T.; Tyler, W.B.; Lewis, D.B. 1985. Comparison of ship and aerial surveys of birds at sea. *J. Wildl. Manage.* 49: 405-411.

Brown, R.G.B. 1986. Atlas révisé des oiseaux de mer de l'est du Canada. I. Relevés effectués à bord de bateaux. Serv. can. de la faune, Dartmouth (N.-É.). 111 pp.

Brown, R.G.B.; Nettleship, D.N.; Germain, P.; Tull, C.E.; Davis, T. 1975. Atlas des oiseaux de mer de l'est du Canada. Serv. can. de la faune, Ottawa. 220 pp.

Burnham, K.P.; Anderson, D.R.; Laake, J.L. 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. *Wildl. Monogr.* 72. 202 pp.

Croxall, J.P.; Ricketts, C.; Prince, P.A. 1984. Impact of seabirds on marine resources, especially Krill, of South Georgia waters. Pages 285 à 317 dans Whittow, G.C.; Rahn, H. (réd.), *Seabird Energetics*. Plenum Press, New York.

Dixon, T.J. 1977. The distance at which sitting birds can be seen at sea. *Ibis* 119: 372-374.

Gaston, A.J.; Smith, G.E.J. 1984. Interprétation des relevés aériens d'oiseaux de mer: certains effets du comportement. Serv. can. de la faune. Publ. hors série n° 53. 20 pp.

Gates, C.E. 1968. A preliminary appraisal of line transects. *J. Wildl. Manage.* 32: 82-88.

Gates, C.E. 1969. Simulation study of estimators for the line transect sampling method. *Biometrics* 25: 317-328.

Järvinen, O.; Vaisänen, R.A. 1975. Estimating relative densities of breeding birds by the line transect method. *Oikos* 26: 316-322.

King, W. (réd.). 1974. Pelagic studies of seabirds in the Central and Eastern Pacific Ocean. *Smithsonian Contrib. Zool.* 158: 1-227.

Nelson, J.B. 1978. The Gannet. T. & A.D. Poyser, Berkhamsted, R.-U. 336 pp.

Pennycuik, C.J. 1960. Gliding flight of the Fulmar Petrel. *J. Exp. Biol.* 37: 330-338.

Powers, K.D. 1982. A comparison of two methods of counting birds at sea. *J. Field Ornithol.* 53: 209-222.

Ralph, C.J.; Scott, J.M. (réd.). 1981. Estimating numbers of terrestrial birds. *Stud. in Av. Biol.* 6. 630 pp.

Schnell, G.D.; Hellack, J.J. 1979. Bird flight speeds in nature: optimized or a compromise? *Amer. Nat.* 113: 53-66.

Sen, A.R.; Tourigny, J.; Smith, G.E.J. 1974. On the line transect sampling method. *Biometrics* 30: 329-340.

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

Wiens, J.A.; Heinemann, D.; Hoffman, W. 1978. Community structure distribution and interrelationships of marine birds in the Gulf of Alaska. Final reports of principal investigators, vol. 3. *Natl. Oceanogr. Atmos. Adm.* Boulder, Colorado.

Annexe 1

Calcul de la densité des oiseaux en vol pour un arc d'observation inférieur à 360°

Prenons des oiseaux volant à une vitesse V dans une direction θ par rapport au bateau; leur vitesse et direction apparentes par rapport au bateau sont donc de $V_0(\theta)$ et $\alpha(\theta)$ selon les équations [5] et [6]. Lorsque l'arc d'observation est inférieur à 360°, la superficie couverte, $A(\theta)$, a une forme complexe, soit celle obtenue en déplaçant le champ d'observation suivant un angle de $\alpha(\theta)$ sur une distance de $V_0(\theta)/6$ (pour une période d'observation de 10 min). Il est supposé que les oiseaux peuvent se déplacer dans toutes les directions avec une probabilité égale.

Cas I. Observation sur un arc de 180° centré sur le cap (direction du bateau)

Dans ce cas, pour des oiseaux se déplaçant dans une direction apparente $\alpha(\theta)$, la superficie couverte a la forme représentée par la zone ombragée de la figure A1. Cette superficie a la forme d'un rectangle de longueur $V_0(\theta)/6$ et de largeur $w(\theta) = r_f(1 + |\cos \alpha|)$ avec à un bout un demi-cercle de rayon r_f . L'équation pour la superficie couverte est donc:

$$A(\theta) = \pi r_f^2/2 + r_f(1 + |\cos \alpha|) V_0(\theta)/6 \quad [A1]$$

Si on multiplie cette superficie par la densité des oiseaux et qu'on intègre sur θ , on obtient la formule pour le nombre d'oiseaux en vol aperçus:

$$N_f = \int_{-\pi}^{\pi} \frac{D_f}{2\pi} A(\theta) d\theta$$

laquelle peut être simplifiée comme suit:

$$N_f = D_f \left[\pi r_f^2/2 + \frac{r_f}{12\pi} \int_{-\pi}^{\pi} V_0(\theta) d\theta + r_f \frac{\sqrt{V^2 - S^2}}{3\pi} \right] \quad [A2]$$

$$= D_f g_1(r_f, V, S) \quad [A3]$$

Si S est bien plus faible que V , alors $V_0(\theta)$ converge vers V , et $\sqrt{V^2 - S^2} \rightarrow S^2$, vers V , de sorte que l'équation [A2] peut être simplifiée comme suit:

$$N_f = D_f [\pi r_f^2/2 + r_f V(1 + 2/\pi)/6] \quad [A4]$$

En réarrangeant l'équation [A3], on obtient la formule pour la densité des oiseaux en vol:

$$D_f = \frac{N_f}{g_1(r_f, V, S)} \quad [A5]$$

Cas II. Arc d'observation de 180° sur un côté du bateau

Ce cas est semblable au cas précédent. Pour des oiseaux se déplaçant dans une direction apparente θ , la superficie couverte correspond à un rectangle de longueur $V_0(\theta)/6$ et de largeur $w(\theta) = r_f(1 + |\sin \alpha|)$ avec à un bout un demi-cercle de rayon r_f (voir figure A2). Elle peut donc être présentée par l'équation suivante:

$$A(\theta) = \pi r_f^2/2 + r_f(1 + |\sin \alpha|) V_0(\theta)/6 \quad [A6]$$

Si on multiplie par la densité des oiseaux et qu'on intègre sur θ , on obtient, après simplification, la formule pour le nombre d'oiseaux en vol aperçus:

$$N_f = D_f \left[\pi r_f^2/2 + \frac{r_f}{12\pi} \int_{-\pi}^{\pi} V_0(\theta) d\theta + \frac{r_f V}{3\pi} \right] \quad [A7]$$

$$= D_f g_2(r_f, V, S) \quad [A8]$$

Figure A1
Superficie effectivement couverte pour un arc d'observation de 180° centré sur le cap (direction du bateau)

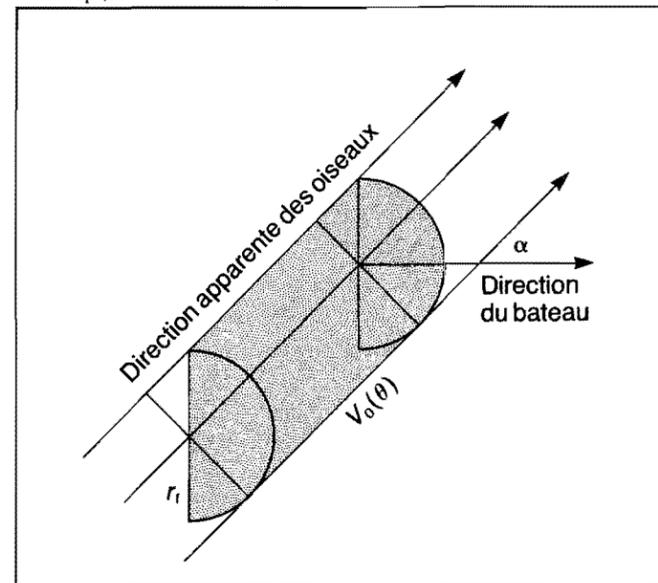
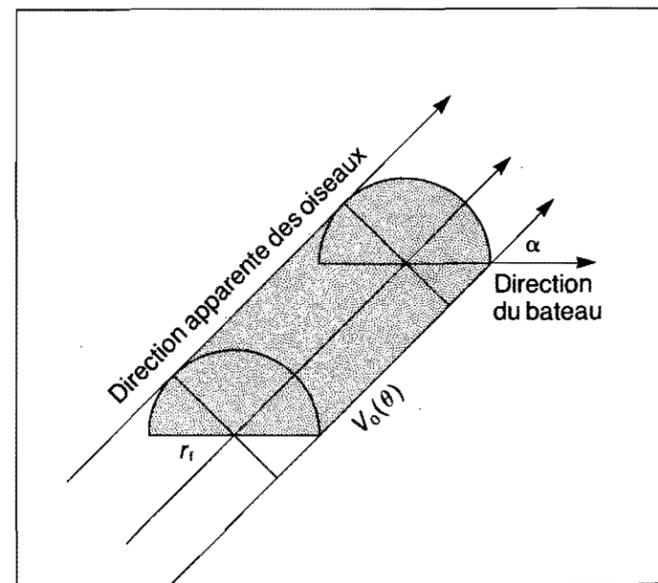


Figure A2
Superficie effectivement couverte pour un arc d'observation de 180° sur un côté du bateau



Si V est beaucoup plus élevée que S , on peut alors simplifier l'équation [A7] en remplaçant $V_0(\theta)$ par V , ce qui donne:

$$N_f = D_f [\pi r_f^2/2 + r_f V(1 + 2/\pi)/6] \quad [A9]$$

En réarrangeant l'équation [A8], on obtient la formule pour la densité des oiseaux en vol:

$$D_f = \frac{N_f}{g_2(r_f, V, S)} \quad [A10]$$

Cas III. Arc d'observation de 270° centré sur le cap (direction du bateau)

La superficie couverte dans ce cas, pour des oiseaux volant dans une direction apparente $\alpha(\theta)$, est représentée par la zone ombragée de la figure A3. On peut voir que, pour l'angle présenté dans la figure, cette superficie est équivalente: (i) à un rectangle de longueur $V_0(\theta)/6$ et de largeur $r_f[1 + \cos(\alpha - \pi/4)]$, (ii) aux trois quarts d'un cercle de rayon r_f , et (iii) à un petit triangle contenu dans le quart de cercle non vu à la fin de la période d'observation. Ce petit triangle représente une étendue qui se trouve dans la zone couverte, mais qui n'est pas visible au moment où la période d'observation se termine. Il n'est présent que pour certaines valeurs de α . Les formules pour la superficie couverte varient selon α :

Pour $-\pi < \alpha < -3\pi/4$

$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f V_0(\theta)/3$$

Pour $-3\pi/4 < \alpha < -\pi/2$

$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f [1 + \sin(7\pi/4 - \alpha)] V_0(\theta)/6 + r_f^2 \tan(\alpha - 5\pi/4)/2$$

Pour $-\pi/2 < \alpha < -\pi/4$

$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f [1 + \cos(7\pi/4 - \alpha)] V_0(\theta)/6 + r_f^2 \tan(7\pi/4 - \alpha)/2$$

Pour $-\pi/4 < \alpha < \pi/4$

$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f V_0(\theta)/3$$

Pour $\pi/4 < \alpha < \pi/2$

$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f [1 + \cos(\alpha - \pi/4)] V_0(\theta)/6 + r_f^2 \tan(\alpha - \pi/4)/2$$

Pour $\pi/2 < \alpha < 3\pi/4$

$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f [1 + \sin(\alpha - \pi/4)] V_0(\theta)/6 + r_f^2 \tan(3\pi/4 - \alpha)/2$$

Pour $3\pi/4 < \alpha < \pi$

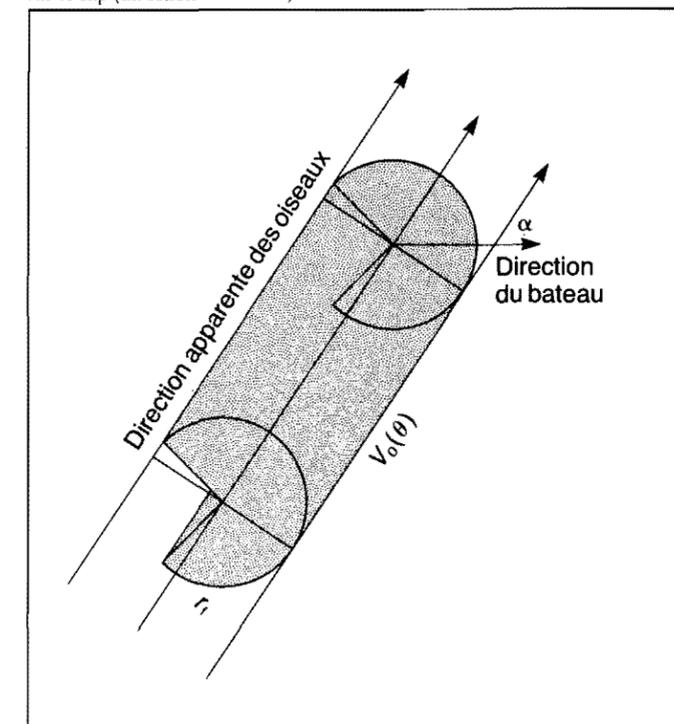
$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f V_0(\theta)/3$$

En multipliant par la densité des oiseaux et en intégrant sur θ , on obtient la formule pour le nombre d'oiseaux en vol comptés:

$$N_f = \frac{D_f}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} A(\theta) d\theta = D_f g_3(r_f, V, S) \quad [A11]$$

Cette équation est difficile à simplifier, mais on peut la résoudre par intégration numérique pour des cas précis.

Figure A3
Superficie effectivement couverte pour un arc d'observation de 270° centré sur le cap (direction du bateau)



Annexe 2

Formules pour le calcul des proportions réelles d'oiseaux en vol, pour divers arcs d'observation, lorsque la vitesse du bateau est beaucoup plus lente que celle des oiseaux

(1) arc de 360°
$$p' = 1 / \left(1 + \frac{(1-p)(\pi r_t^2 + r_t V/3)}{p(\pi r_s^2 + r_s S/3)} \right)$$
 [A12]

(2) arc de 180° à l'avant
$$p' = 1 / \left(1 + \frac{(1-p)[\pi r_t^2/2 + r_t V(1+2/\pi)/6]}{p(\pi r_s^2/2 + r_s S/3)} \right)$$
 [A13]

(3) arc de 180° sur un côté
$$p' = 1 / \left(1 + \frac{(1-p)[\pi r_t^2/2 + r_t V(1+2/\pi)/6]}{p(\pi r_s^2/2 + r_s S/6)} \right)$$
 [A14]

(4) arc de 270° à l'avant
$$p' = 1 / \left(1 + \frac{(1-p)g_3(r_t, V, S)}{p(3\pi r_s^2/4 + r_s S/3)} \right)$$
 [A15]

Pour une définition de $g_3(r_t, V, S)$, voir l'annexe I.

Autres publications hors série

N° 1

Les oiseaux protégés au Canada en vertu de la Loi sur la Convention concernant les oiseaux migrateurs, 4^e éd. Bilingual publication.
N° de cat. CW69-1/1. Publ. en 1957, rév. en 1980.

N° 2

Noms des oiseaux du Canada. Noms français, anglais et scientifiques.

Bilingual publication.

N° de cat. CW69-1/2. Publ. en 1957, rév. en 1972.

N° 3

Use of aerial surveys by the Canadian Wildlife Service, par D.A. Benson.

Épuisé.

N° de cat. CW69-1/3. Publ. en 1963, réimp. en 1966.

N° 4

Queen Elizabeth Islands game survey, 1961, par J.S. Tener.

N° de cat. CW69-1/4. Publ. en 1963, réimp. en 1972.

N° 5

Age determination in the polar bears, par T.H. Manning.

N° de cat. CW69-1/5. Publ. en 1964, réimp. en 1973.

N° 6

A wildlife biologist looks at sampling, data processing and computers, par D.A. Benson.

Épuisé.

N° de cat. R69-1/6. Publ. en 1964.

N° 7

Preliminary report on the effects of phosphamidon on bird populations in New Brunswick, par C.D. Fowle.

Épuisé.

N° de cat. R69-1/7. Publ. en 1965.

N° 8

Birds of Nova Scotia—New Brunswick border region, par G.F. Boyer.

N° de cat. CW69-1/8. Publ. en 1966, réimp. en 1981.

N° 9

Effects of dietary methylmercury on Ring-necked Pheasants, with special reference to reproduction, par N. Fimreite.

N° de cat. R69-1/9. Publ. en 1971.

N° 10

Trends in populations of barren-ground caribou over the last two decades: a re-evaluation of the evidence, par G.R. Parker.

N° de cat. CW69-1/10. Publ. en 1971, réimp. en 1972.

N° 11

The Canada migratory game bird hunting permit and related surveys, par D.A. Benson.

N° de cat. R69-1/11. Publ. en 1971.

N° 12

Observations on duck hunting in eastern Canada in 1968 and 1969, par H.J. Boyd.

N° de cat. R69-1/12. Publ. en 1971.

N° 13

Evaluation of ecological effects of recent low water levels in the Peace-Athabasca Delta, par H.J. Dirschl.

N° de cat. CW69-1/13. Publ. en 1972.

N° 14

The Great Cormorants of eastern Canada, par A.J. Erskine.

N° de cat. CW69-1/14. Publ. en 1972.

N° 15

Distribution of barren-ground caribou harvest in north-central Canada, par G.R. Parker.

N° de cat. CW69-1/15. Publ. en 1972.

N° 16

Bird migration forecasts for military air operations, par H. Blokpoel.

N° de cat. CW69-1/16. Publ. en 1973.

N° 17

Waterfowl populations on the Peace-Athabasca Delta, 1969 and 1970, par D.J. Nieman et H.J. Dirschl.

N° de cat. CW69-1/17. Publ. en 1973.

N° 18

Gammarus predation and the possible effects of *Gammarus* and *Chaoborus* feeding on the zooplankton composition in some small lakes and ponds in western Canada, par R.S. Anderson et L.G. Raasveldt.

N° de cat. CW69-1/18. Publ. en 1974.

N° 19

A summary of DDE and PCB determinations in Canadian birds, 1969 to 1972, par M. Gilbertson et L. Reynolds.

N° de cat. CW69-1/19. Publ. en 1974.

N° 20

Development of a simulation model of Mallard Duck populations, par C.J. Walters, R. Hilborn, E. Oguss, R.M. Peterman et J.M. Stander.

N° de cat. CW69-1/20. Publ. en 1974.

N° 21

Use of museum specimens in toxic chemical research, par A.M. Rick.

N° de cat. CW69-1/21. Publ. en 1975.

N° 22

Impoundments for waterfowl, par W.R. Whitman.

N° de cat. CW69-1/22. Publ. en 1976.

N° 23

Minimizing the dangers of nesting studies to raptors and other sensitive species, par R.W. Fyfe et R.R. Olendorff.

N° de cat. CW69-1/23. Publ. en 1976.

N° 24

Waterfowl damage to Canadian grain: current problems and research needs, par L.G. Sugden.

N° de cat. CW69-1/24. Publ. en 1976.

N° 25

Census techniques for seabirds of arctic and eastern Canada, par D.N. Nettleship.

N° de cat. CW69-1/25. Publ. en 1976.

N° 26

Notes on the present status of the polar bear in James Bay and Belcher Islands area, par C. Jonkel, P. Smith, I. Stirling et G.B. Kolenosky.

N° de cat. CW69-1/26. Publ. en 1976.

N° 27

Limnological and planktonic studies in the Waterton Lakes, Alberta, par R.S. Anderson et R.B. Green.

N° de cat. CW69-1/27. Publ. en 1976.

N° 28

Birds and mammals of the Belcher, Sleeper, Ottawa, and King George Islands, Northwest Territories, par T.H. Manning.

N° de cat. CW69-1/28. Publ. en 1976.

N° 29

Developments in PPS sampling—Impact on current research, par A.R. Sen.

N° de cat. CW69-1/29. Publ. en 1976.

N° 30

Dynamics of snowshoe hare populations in the Maritime Provinces, par T.J. Wood et S.A. Munroe.

N° de cat. CW69-1/30. Publ. en 1977.

N° 31

Migration and population dynamics of the Peace-Athabasca Delta goldeneye population, par D.B. Donald et A.H. Kooyman.

N° de cat. CW69-1/31. Publ. en 1977.

N° 32

The effects of fire on the ecology of the Boreal Forest, with particular reference to the Canadian north; a review and selected bibliography, par J.P. Kelsall, E.S. Telfer et T.D. Wright.

N° de cat. CW69-1/32. Publ. en 1977.

N° 33

The ecology of the polar bear (*Ursus maritimus*) along the western coast of Hudson Bay, par I. Stirling, C. Jonkel, P. Smith, R. Robertson et D. Cross.

N° de cat. CW69-1/33. Publ. en 1977.

N° 34

Canvasback habitat use and production in Saskatchewan parklands, par L.G. Sugden.

N° de cat. CW69-1/34. Publ. en 1978.

N° 35

The diets of muskoxen and Peary caribou on some islands of the Canadian High Arctic, par G.R. Parker.

N° de cat. CW69-1/35. Publ. en 1978.

N° 36

Observations of Mallards in the parkland of Alberta, par M.F. Sorensen.

N° de cat. CW69-1/36. Publ. en 1978.

N° 37

The wildlife valuation problem: A critical review of economic approaches, par W.A. Langford et D.J. Cocheba.

N° de cat. CW69-1/37. Publ. en 1978.

N° 38

Spatial changes in waterfowl habitat, 1964-74, on two land types in the Manitoba Newdale Plain, par G.D. Adams et G.G. Gentle.

N° de cat. CW69-1/38. Publ. en 1978.

N° 39

Patterns of pelagic distribution of seabirds in western Lancaster Sound and Barrow Strait, Northwest Territories, in August and September 1976, par D.N. Nettleship et A.J. Gaston.

N° de cat. CW69-1/39. Publ. en 1978.

N° 40

Responses of Peary caribou and muskoxen to helicopter harassment, par F.L. Miller et A. Gunn.

N° de cat. CW69-1/40. Publ. en 1979.

N° 41

Des communautés aviennes du parc national de la Mauricie, Québec, par J.-L. DesGranges. Also available in English.

N° de cat. CW69-1/41F. Publ. en 1979.

N° 42

Études écologiques de la population d'ours blancs dans le nord du Labrador, par I. Stirling et H.P.L. Kiliaan. Also available in English.

N° de cat. CW69-1/42F. Publ. en 1980.

N° 43

Méthodes de recensement des marmettes, espèce *Uria*: une approche unifiée, par T.R. Birkhead et D.N. Nettleship.

Also available in English.

N° de cat. CW69-1/43F. Publ. en 1980.

N° 44

Études écologiques des populations d'ours blancs dans le sud-est de l'île Baffin, par I. Stirling, W. Calvert et D. Andriashek.

Also available in English.

N° de cat. CW69-1/44F. Publ. en 1980.

N° 45

Les polynies dans l'Arctique canadien, par I. Stirling et H. Cleator (réd.).

Also available in English.

N° de cat. CW69-1/45F. Publ. en 1981.

N° 46

Les Petites Oies blanches de l'est de l'Arctique canadien, par H. Boyd, G.E.J. Smith et F.G. Cooch. Also available in English.

N° de cat. CW69-1/46F. Publ. en 1982.

N° 47

Répartition et abondance des phoques dans la partie orientale de la mer de Beaufort, 1974-1979, par I. Stirling, M. Kingsley et W. Calvert.

Also available in English.

N° de cat. CW69-1/47F. Publ. en 1983.

N° 48

Le comportement alimentaire du caribou de Peary selon les conditions de la neige et de la glace au printemps, par F.L. Miller, E.J. Edmonds et A. Gunn. Also available in English.

N° de cat. CW69-1/48F. Publ. en 1982.

N° 49

Étude de quelques techniques importantes d'échantillonnage de la faune, par A.R. Sen. Also available in English.

N° de cat. CW69-1/49F. Publ. en 1982.

N° 50

Réglementation intensive de la chasse aux canards en Amérique du Nord: but et réalisations, par H. Boyd. Also available in English.

N° de cat. CW69-1/50F. Publ. en 1983.

N° 51

Dimension humaine de la chasse aux oiseaux-gibier migrants au Canada, par S.A.D. Parker et F.L. Filion. Also available in English.

N° de cat. CW69-1/51F. Publ. en 1984.

N° 52

Éléments de la mortalité attribuable à la chasse chez le canard, par G.S. Hochbaum et C.J. Walters. Also available in English.

N° de cat. CW69-1/52F. Publ. en 1984.

N° 53

Interprétation des relevés aériens d'oiseaux de mer: certains effets du comportement, par A.J. Gaston et G.E.J. Smith. Also available in English.

N° de cat. CW69-1/53F. Publ. en 1984.

N° 54

Étude sur les oiseaux aquatiques en Ontario, de 1973 à 1981, par S.G. Curtis, D.G. Dennis et H. Boyd, réd. Also available in English.

N° de cat. CW69-1/54F. Publ. en 1985.

N° 55

Prises déclarées de canards, d'oies et de bernaches au Canada et aux États-Unis, de 1974 à 1982, par H. Boyd. Also available in English.

N° de cat. CW69-1/55F. Publ. en 1985.

N° 56

La dynamique des populations de Huard à collier (*Gavia immer*) et les eaux contaminées au mercure dans le nord-ouest de l'Ontario, par J.F. Barr.

Also available in English.

N° de cat. CW69-1/56F. Publ. en 1986.

N° 57

Les Goélands à bec cerclé en Ontario: une nouvelle espèce problème, par H. Blokpoel et G.D. Tessier. Also available in English.

N° de cat. CW69-1/57F. Publ. en 1986.

N° 58

Les oiseaux de la vallée de Creston et du sud-est de la Colombie-Britannique, par R.W. Butler, B.G. Stushnoff et E. McMackin.

Also available in English.

N° de cat. CW69-1/58F. Publ. en 1986.

Canada