

**PROJET NFS11094 DE LA JACQUES WHITFORD  
PROJET MIN110 DE LA MINASKUAT**

**RÉACTIONS DES CANARDS NOIRS EN MUE  
AU BRUIT DES AVIONS À RÉACTION  
UNE INVESTIGATION PRÉLIMINAIRE**

**RÉVISÉ – MAI 2005**

**PROJET MIN110 DE LA MINASKUAT**

**RÉACTIONS DES CANARDS NOIRS EN MUE  
AU BRUIT DES AVIONS À RÉACTION –  
UNE INVESTIGATION PRÉLIMINAIRE**

**RAPPORT PRÉPARÉ**

**POUR**

**L'INSTITUT POUR LA SURVEILLANCE ET LA RECHERCHE ENVIRONNEMENTALES  
C.P. 1859, HAPPY VALLEY-GOOSE BAY  
TERRE-NEUVE-ET-LABRADOR  
A0P 1E0**

**PAR**

**LA SOCIÉTÉ EN COMMANDITE MINASKUAT  
C.P. 480, SUCCURSALE C  
19, RUE BURNWOOD  
GOOSE BAY, T.-N.-L. A0P 1C0  
TÉLÉPHONE : 709-896-5860  
TÉLÉCOPIE : 709-896-5863**

**RÉVISÉ LE 31 MAI 2005**

## SOMMAIRE

En juin et juillet 2002, la société *Jacques Whitford* effectuait une étude pilote pour examiner les incidences du bruit des avions à réaction sur la fréquence cardiaque des canards noirs (*Anas rubripes*) au stade de la mue dans la zone d'entraînement à basse altitude (ZEBA) au lac Fourmont, Labrador. Des 15 canards noirs mâles capturés, 10 ont été munis d'un moniteur de fréquence cardiaque et le groupe d'étude a pu les observer pendant une série de survols par des aéronefs militaires. Vingt-quatre survols ont été enregistrés pendant la surveillance de six canards noirs porteurs d'un émetteur. Selon des calculs estimatifs, l'exposition maximale au bruit de chaque canard porteur d'un émetteur variait de 55 à 120+ dB. Après avoir analysé toutes les données recueillies sur la fréquence cardiaque avant et après les survols, y compris celles qui étaient mal enregistrées, il y a eu des cas où les réactions s'apparentaient plutôt à un effarouchement. Cinq autres survols eurent lieu pendant que des canards noirs non porteurs d'un émetteur étaient visibles, mais aucune réaction évidente ou modification de l'activité n'a été observée. Peu de canards noirs ont été aperçus après la crue spectaculaire des eaux du lac Fourmont les 9 et 10 juillet.

Dans un projet de rapport qui résumait les résultats (août 2003), les données relatives à la fréquence cardiaque étaient évaluées comme des périodes de pulsation non transformées en ayant recours à des analyses spectrales, d'autocorrélation et des passages. Ces analyses avaient donné des résultats peu concluants étant donné les données disponibles. Suite à deux examens critiques du projet de rapport, les services de la société en commandite Minaskuat (partenariat de la *Jacques Whitford* et de la *Innu Environmental* au Labrador) ont été retenus pour faire une deuxième analyse des données et examiner d'autres techniques à la lumière des observations des lecteurs critiques avant de déterminer s'il fallait faire d'autres études sur place. Au cours de la deuxième analyse, les fréquences cardiaques pendant les quatre-vingt-dix secondes avant et après un survol ont été comparées. Les moyennes des fréquences cardiaques pendant cette période ont été corrélées avec l'exposition au bruit (dBA) lors du survol. En général, les canards ont éprouvé une bradycardie (ralentissement de la fréquence cardiaque) ou une tachycardie (accélération de la fréquence cardiaque) ou ont semblé n'avoir aucune réaction au survol. La fréquence cardiaque semblait augmenter selon le dBA et atteindre son paroxysme 10 secondes après le survol et revenir à ce qu'elle était avant le survol dans les 90 secondes après le survol. Les résultats de cette étude pilote semblent indiquer qu'il est possible d'utiliser cette technique et que des données utiles sur les réactions des canards noirs aux survols et à d'autres stimuli peuvent être recueillies. Des recommandations en ce qui concerne des études ultérieures sur le terrain sont incorporées dans le présent document.

## TABLE DES MATIÈRES

1.0	INTRODUCTION .....	1
2.0	OBJECTIF DE L'ÉTUDE PILOTE .....	3
3.0	MÉTHODES.....	5
4.0	RÉSULTATS.....	7
4.1	Fréquence cardiaque avant et après le survol.....	11
4.2	Fréquence cardiaque et niveaux de bruit .....	12
5.0	EXAMEN DE LA QUESTION .....	12
6.0	CONCLUSION.....	14
7.0	REMERCIEMENTS.....	15
8.0	BIBLIOGRAPHIE.....	15

## ANNEXES

Annexe A	Résultats de la surveillance de la période de pulsation chez les canards noirs porteurs d'un émetteur au lac Fourmont	
	A-1 Surveillance lors de survols	
	A-2 Surveillance à des moments sans survol	
Annexe B	Analyses statistiques des données recueillies lors de l'observation de canards noirs porteurs d'un émetteur au lac Fourmont	

## FIGURES

Figure 1	Éléments étudiés pour déterminer les liens possibles entre les survols et les modifications du bilan énergétique ou du niveau de stress des canards noirs, qui entraînent la diminution de leur abondance .....	4
----------	---	---

## TABLEAUX

Tableau 1	État de mue et sort des canards noirs mâles capturés après l'année d'éclosion .....	7
Tableau 2	Température corporelle et fréquence cardiaque des canards noirs pendant l'intervention chirurgicale.....	8
Tableau 3	Résumé des résultats de surveillance des canards noirs porteurs d'un émetteur.....	8
Tableau 4	Réactions des canards noirs porteurs d'un émetteur, enregistrées pendant les survols.....	9
Tableau 5	Réactions des canards noirs, observées pendant des survols imprévus.....	10
Tableau 6	Réactions des canards noirs aux stimuli non expérimentaux .....	10
Tableau 7	Résumé des fichiers de données disponibles pour l'analyse.....	11

## 1.0 INTRODUCTION

Les oiseaux aquatiques de l'Amérique du Nord sont sujets à des mues synchrones pendant lesquelles ils perdent toutes les rémiges primaires. Cette période où ils sont incapables de voler a lieu après la reproduction à un moment où ils sont plus vulnérables à la prédation et à d'autres perturbations. Les oiseaux aquatiques compensent généralement les risques entraînés par leur incapacité de voler en migrant vers des endroits isolés pour se nourrir et échapper aux prédateurs. Pendant la mue, l'oiseau dépense une grande partie de son énergie pour la pousse de nouvelles plumes. En fait, le taux métabolique peut augmenter de 45 % pour prendre en compte la pousse des plumes (Gill 1990). Il s'ensuit vraisemblablement une augmentation concomitante de consommation d'énergie. Par conséquent, tout ce qui peut causer une dépense énergétique excessive pour des activités autres que la pousse de plumes (ex. : déplacement, augmentation du taux métabolique de base) pourrait être nuisible aux oiseaux au stade de la mue.

La perturbation due au bruit des aéronefs a été liée à des changements de comportement et de fréquentation de l'habitat qui pourraient avoir une incidence sur la condition physique et la survie des individus (Gladwin *et al.* 1987, NPC Report to Congress 1994). Cependant, les réactions des oiseaux aquatiques varient d'une espèce à l'autre et semblent liées à des facteurs comme le type d'aéronef, l'altitude, la saison (Gollop *et al.* 1974a et 1974b; Ward *et al.* 1987; Ward *et al.* 2002; Conomy *et al.* 1998a et 1998b). Les facteurs qui perturbent le profil d'activité peuvent entraîner une diminution de la réserve d'énergie (Drobney et Frederickson 1979) et peuvent donc avoir une incidence sur la mue (Taylor 1993), diminuer le taux de survie pendant l'hiver et par la suite entraver le potentiel reproductif (Morton *et al.* 1989). Selon Owens (1977), des oies des neiges (*Branta bernicla*) ont réagi à la perturbation due au bruit d'aéronef en s'envolant et en revenant au même endroit plusieurs minutes plus tard. Bélanger et Bédard (1989) ont observé que de grandes oies blanches (*Anser caerulescens*) perturbées par le bruit d'aéronefs se sont mises à dépenser plus d'énergie et en même temps à diminuer leur alimentation. Des oies des neiges au repos ont été gravement perturbées à plusieurs reprises par un Cessna 185 volant à des altitudes variant de 300 à 10 000 pi AGL et il s'en est suivi une diminution de la volée. Gunn et Livingston (1974) ont observé que des oiseaux non nicheurs semblaient plus sensibles à la perturbation due au bruit d'aéronefs que des oiseaux nicheurs. Des oiseaux aquatiques au stade de la mue ont été chassés du sol par le bruit d'hélicoptères volant à des altitudes de 100 à 750 pieds.

D'après d'autres études, des oiseaux peuvent tolérer certains niveaux de bruit d'aéronef (Rylander *et al.* 1974; Burger 1981; Ellis et Ellis 1991). Conomy (1993) dit que le comportement (et la fréquence cardiaque) de canards noirs et d'autres oiseaux aquatiques ont rarement changé lors de perturbations dues au bruit d'aéronefs militaires. En conséquence, il a été conclu que le bruit d'aéronef n'avait pas d'effets néfastes sur la réserve d'énergie des oiseaux aquatiques qui hivernent, particulièrement les canards noirs, parce que le pourcentage d'oiseaux dérangés par le bruit d'aéronef était faible. Wooley et Owen (1977) ont observé que, même si aucun changement de comportement n'était manifeste lors de survols par des aéronefs (ou d'autres oiseaux), la fréquence cardiaque des canards noirs augmentait. Toutefois, la fréquence cardiaque se rétablissait rapidement et il a été conclu que l'augmentation observée avait probablement peu d'effet sur la réserve d'énergie. À l'appui de cette observation, Conomy *et al.* (1998b) ont conclu que le bruit d'aéronef (c.-à-d. >80 dBA) n'avait aucune incidence néfaste sur le temps consacré à l'activité en ce qui concerne les canards noirs qui hivernent. Une étude connexe a déterminé que le bruit d'aéronef suscitait des réactions comportementales chez des canards noirs captifs lors d'une première exposition (Conomy *et al.* 1998a), mais que les réactions diminuaient lors d'expositions ultérieures, ce qui indique une accoutumance au bruit d'aéronef. Des expériences où on a observé la fréquence cardiaque de canards noirs captifs exposés à un bruit d'aéronef simulé confirme cette affirmation (Harms *et al.* 1997). Des «crêtes» spontanées de fréquence cardiaque (augmentation brève de la fréquence cardiaque) étaient plus fréquentes le premier jour, mais malgré des expositions quotidiennes ultérieures, étaient semblables aux conditions de base par la suite. Puisque Wooley et Owen (1997) ont

démontré un rapport important entre la fréquence cardiaque et le métabolisme des canards noirs (de même que d'autres oiseaux aquatiques), des techniques ont été développées pour étudier ce paramètre de réaction physiologique.

Des études effectuées pour appuyer l'Énoncé des incidences environnementales des activités militaires aériennes au Labrador et au Québec (MDN 1994) n'ont révélé aucune tendance constante et laissaient entendre que les densités de reproduction dans les zones d'étude exposées à un plus grand nombre de survols sont plus faibles que celles des zones où il y a moins ou pas de survols. Toutefois, le SCF a constaté en 1980 que des oiseaux aquatiques au stade de la mue ont cessé de fréquenter une aire de mue importante (lac Snegamook) après le début d'une activité intense de vols à basse altitude, mais qu'ils y sont revenus quand les vols à basse altitude y ont été interdits (MDN 1994). Ce point de vue est contesté, puisque des chercheurs sur le terrain ont remarqué une réaction physique plus prononcée à la présence de canots qu'à celle d'avions à réaction volant à basse altitude (B. Barrow, comm. pers.).

Suite à l'évaluation des hypothèses d'incidence, l'Énoncé des incidences environnementales des activités militaires aériennes au Labrador et au Québec (MDN 1994) a laissé entendre que les vols d'entraînement militaire pourraient avoir une incidence négative sur la fréquentation de l'habitat par les canards noirs au stade de la mue. On a prédit qu'un scénario de la pire éventualité d'une exposition répétée des oiseaux aquatiques à des vols de basse altitude pendant des périodes de vulnérabilité et en l'absence de mesures d'atténuation entraînerait une incidence moyenne et donc importante (MDN 1994). Une incidence moyenne est définie comme une diminution mesurable mais peu grave d'une population (une petite partie est touchée), s'étendant sur plusieurs générations ou persistant pour la durée du projet. La diminution se produit à cause de changements de taux de productivité ou de survie, mais la population se rétablit dans deux générations ou pendant la durée du projet. L'agent stressant entraînera probablement des changements localisés de la répartition, de la migration ou du comportement des animaux concernés (MDN 1994).

Le canard noir était considéré comme une espèce extrêmement vulnérable dans la zone d'entraînement à basse altitude (ZEBA), puisque sa population avait diminué le long du corridor de migration de l'Atlantique au cours des dernières décennies, bien que la raison de cette diminution n'était pas claire (Erskine 1987). Par conséquent, les hypothèses d'incidence traitant de profils de fréquentation d'habitat ou de bilan énergétique sont demeurées valables et ont été considérées comme les plus pertinentes en ce qui concerne les canards noirs. Même après la mise en oeuvre des critères de restriction, seules les aires de mue connues pouvaient être protégées. Il a donc été conclu qu'il y avait un impact résiduel mineur parce que d'autres aires de mue n'étaient pas connues et que les techniques de repérage n'étaient pas considérées efficaces; les aires étaient repérées par hasard. Les changements à l'abondance d'une espèce, entraînés par un impact mineur, ne peuvent pas être différenciés de ceux qui sont provoqués par des facteurs naturels dans l'environnement. Les changements sont localisés et se manifestent soit par une diminution extrêmement locale de la survie ou de la productivité ou par des changements de la répartition, du comportement ou de la migration d'animaux qui n'influent pas sur les paramètres de population (MDN 1994).

Le MDN a recueilli des données sur la localisation et la fréquentation de ces aires de mue des canards noirs (et d'autres oiseaux aquatiques) lors de ses études annuelles de la faune, effectuées en collaboration avec le Service canadien de la faune et le Programme de surveillance pour l'évitement des rapaces et des canards arlequins (Jacques Whitford 1992, 1995, 1996, 1997, 1998 et 1999; non publiées). Des aires de mue de canards noirs ont été repérées dans plusieurs autres endroits le long de la région côtière du Labrador et en plus petites concentrations à l'intérieur des terres. La plus importante aire de mue des canards noirs se trouve au lac Fourmont sur la rivière du Petit Mécatina. Au cours des années 90, la *Jacques Whitford* a eu l'occasion de survoler le lac Fourmont huit fois dans le cadre du programme annuel de surveillance et d'atténuation dirigé par le Bureau de Goose Bay du MDN. Chaque fois,

plusieurs canards noirs (maximum 140) ont été observés de la mi-juin à la fin juillet. En plus d'y avoir un grand nombre de canards, la fréquentation de l'habitat local était constante et bien définie. Ce lac se trouve tout près du polygone de tir à blanc (35 km au nord-ouest) qui sert de point central pour les opérations et pas très loin de corridors fréquemment utilisés pour des vols d'entraînement.

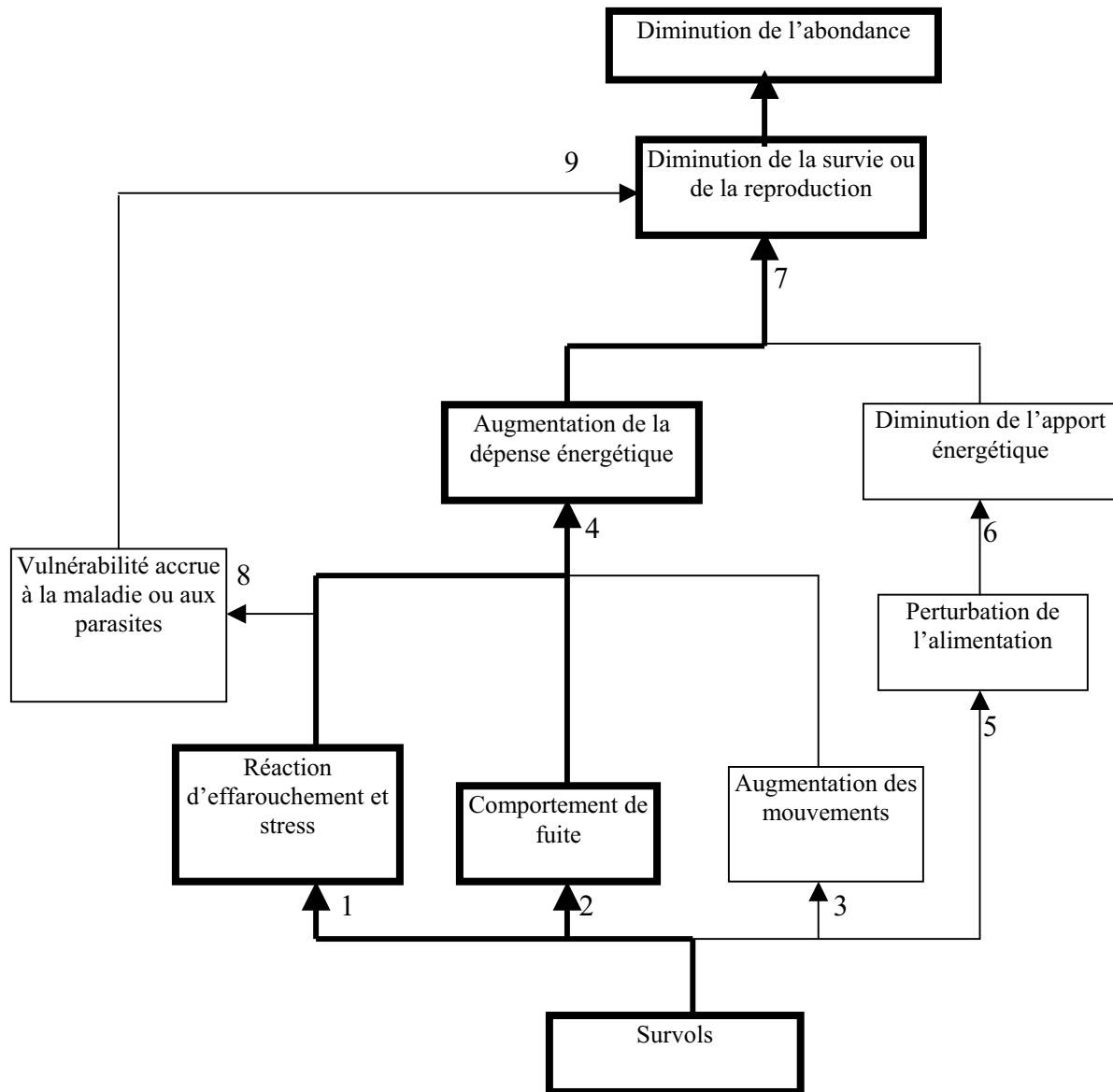
Pour mieux comprendre le phénomène de la mue et déterminer s'il était possible d'étudier les incidences potentielles du bruit d'aéronefs sur des canards noirs en liberté par opposition aux études antérieures de canards noirs en captivité (Harms *et al.* 1997; Conomy *et al.* 1998a et 1998b), des caches ont été installées dans des arbres et une reconnaissance a été effectuée en 1999 grâce à une subvention du Programme d'aide à la recherche industrielle d'Industrie Canada. La *Jacques Whitford* a ensuite demandé à l'Institut pour la surveillance et la recherche environnementales (ISRE) de financer une étude pilote en vue d'étudier les changements de fréquence cardiaque chez les canards noirs en mue pendant des survols par des aéronefs en juin et juillet 2002. Suite à deux examens critiques (août 2003) d'un document de travail résumant les conclusions de l'étude pilote, les services de la Minaskuat ont été retenus pour faire une deuxième analyse des données prenant en considération les observations des lecteurs critiques avant d'envisager la possibilité d'effectuer d'autres études sur place.

## **2.0 OBJECTIF DE L'ÉTUDE PILOTE**

L'étude pilote proposée visait à examiner les effets possibles du bruit des aéronefs volant à basse altitude sur les canards noirs en liberté au stade de la mue. L'hypothèse suivante (MDN 1994) pouvait être vérifiée (figure 1). La perturbation causée par le bruit et des stimuli visuels liés aux vols d'entraînement militaire entraîneront des modifications du bilan énergétique ou du niveau de stress chez les animaux, ce qui amènera par la suite une diminution de l'abondance de la faune. Il est à noter que seulement certains liens seront abordés au cours de la présente étude.

Les oiseaux aquatiques ont régulièrement fréquenté la région du lac Fourmont avant et après l'introduction du programme de restriction des survols par le MDN en 1991. Cependant, il y a toujours une certaine incertitude quant à l'effet de la perturbation causée par le bruit des avions à réaction sur le comportement et le bilan énergétique des oiseaux aquatiques qui fréquentent les aires de mue dans la ZEBA. Plus précisément, l'objectif de l'étude était de comparer la réaction physiologique (la fréquence cardiaque) des canards noirs en mue avant et après le passage d'un avion à réaction militaire (niveau de bruit mesuré en dB).

**Figure 1. Éléments étudiés pour déterminer les liens possibles entre les survols et les modifications du bilan énergétique ou du niveau de stress des canards noirs, qui entraînent la diminution de leur abondance**



#### Hypothèse et liens

- Lien 1 : Les survols provoquent une réaction d'effarouchement, ce qui augmente le niveau de stress chez les canards noirs.
- Lien 2 : Les survols provoquent un comportement de fuite.
- Lien 4 : Les réactions d'effarouchement et l'augmentation du niveau de stress (lien 1), ainsi que l'augmentation des mouvements pendant le comportement de fuite (lien 2) ou le cours des activités quotidiennes (lien 3) entraînent une augmentation de la dépense énergétique.
- Lien 7 : Des modifications du bilan énergétique ont des effets négatifs sur la survie ou la reproduction des canards noirs.

### 3.0 MÉTHODES

La mesure de la dépense énergétique chez des animaux est généralement quantifiée par la calorimétrie directe (mesure de la quantité de chaleur produite) et indirecte (mesure de la quantité d'oxygène consommée) (Eckert *et al.* 1988). Le métabolisme d'un animal en liberté est souvent déterminé en injectant à l'animal de l'eau doublement marquée (contenant des isotopes de l'hydrogène et de l'oxygène) et en mesurant les teneurs isotopiques après un certain temps.

La dépense énergétique est ensuite calculée d'après le taux de diminution des isotopes dans l'organisme (Godfrey *et al.* 2003). Ces techniques ne conviennent pas à une étude comme celle-ci parce qu'elles donnent une approximation de la moyenne de la dépense métabolique pendant la période de mesure alors que la fréquence cardiaque est une mesure instantanée de la dépense énergétique. Récemment, Ward *et al.* (2002) ont mesuré la fréquence cardiaque chez des oies pendant des périodes de vol et de marche et ont établi un rapport avec la dépense énergétique, Weimerskirch *et al.* (2002) ont muni des albatros de moniteurs de fréquence cardiaque pour déterminer la dépense énergétique pendant l'incubation et Froget *et al.* (2004) ont implanté par intervention chirurgicale des moniteurs de fréquence cardiaque chez des manchots afin d'évaluer la dépense énergétique pendant que les oiseaux étaient sur la rive et pendant qu'ils plongeaient dans la mer.

Puisque les canards noirs ne pouvaient pas voler, le groupe d'étude a employé une technique de capture déjà utilisée par le Service canadien de la faune (SCF) au cours d'études de la sauvagine effectuées ailleurs au Labrador en 1982 et en 1983 (B. Barrow, données non publiées). On a eu recours à un braque allemand à poil dur pour fouiller un habitat marécageux de 15 km<sup>2</sup>. Des canards noirs en mue incapables de voler ont été capturés à la main et transportés soigneusement au camp de base par canot pour l'intervention.

Les interventions ont été pratiquées à l'intérieur d'une tente fermée et la température était contrôlée à l'aide de compresses chaudes et froides. Un vétérinaire spécialiste de la faune a implanté des transmetteurs de fréquence cardiaque de 25 g (modèle HR-150, Telonic, Mesa AZ). Pour anesthésier les canards, on leur a placé un masque facial imbibé d'un gaz anesthésique (Isoflourane) et d'oxygène à 100 %. Après 3 à 5 minutes, une canule a été introduite dans la trachée et le champ opératoire a été préparé en arrachant quelques plumes et en stérilisant la peau avec une brosse chirurgicale. Les signes vitaux (fréquence cardiaque, saturation en oxygène et température corporelle) ont fait l'objet d'une surveillance continue pendant toute l'intervention avec un oxymètre de pouls attaché à un doigt de patte et un thermomètre électronique introduit dans l'oesophage. Un champ stérile adhésif en plastique clair a été placé sur la poitrine et l'abdomen de l'oiseau et une incision a été pratiquée au milieu de l'abdomen pour exposer la cavité coelomique. Un cathéter en plastique a alors été avancé sous la peau vers la clavicule gauche où une deuxième petite incision a été pratiquée. Le fil-électrode positif a été introduit dans le bout évasé du cathéter et tout l'appareil a été tiré par cette voie sous-cutanée vers la dérivation fixée à un os sous-jacent et l'incision a été fermée. Ensuite, l'émetteur a été placé dans la cavité coelomique dans le sac aérien droit et suturé à la paroi corporelle. Le fil-électrode négatif a été fixé à l'arrière du bréchet et l'incision abdominale a été fermée avec un fil résorbable. Puisque la température a varié de manière spectaculaire (10-33° C) au cours de l'intervention de 40 à 50 minutes, la température corporelle des oiseaux a été surveillée et des compresses chaudes ou des compresses d'alcool ont été mises sur les palmures selon les besoins. Tous les canards ont reçu des antibiotiques pendant l'intervention et une injection d'un anti-inflammatoire non stéroïdien pour soulager la douleur postopératoire. Les oiseaux ont été surveillés pendant une ou deux heures après l'intervention en cas de complications postopératoire, puis ont été relâchés une fois bien éveillés.

Chaque oiseau a été marqué d'une bague métallique et d'un anneau nasal en vue de le repérer. Nous avons essayé de suivre chaque jour le déplacement et l'activité de chaque oiseau. Puisque la portée des émetteurs se situait entre 800 et 1 600 m selon le fabricant (comm. pers. D. Crowe, Telonics), il fallait que

les observateurs se déplacent et soient indétectables; c'est pourquoi ils ont utilisé un canot ou une cache dans les arbres (construite en 1999) quand c'était possible pour améliorer la réception. La surveillance se faisait à pieds quand il n'y avait pas de cours d'eau. Le récepteur TR-5 enregistrait la période de pulsation, une valeur représentant le temps entre chaque pulsation. Plus la période de pulsation était courte, plus la fréquence cardiaque était rapide. Les valeurs des périodes de pulsation étaient affichées constamment sur le récepteur TR-5, mais enregistrées seulement toutes les 5 secondes sur une période d'observation de 15 minutes. La fréquence cardiaque instantanée (pulsations par minute, ppm) a été déterminée en divisant 60 000 par la période de pulsation. En plus d'enregistrer ces valeurs à la main, une deuxième personne notait les données météorologiques et d'autres stimuli comme la présence de prédateurs et d'activité aérienne s'il y en avait.

Avant les expériences sur le terrain, des représentants de la *Jacques Whitford* et de l'ISRE ont rencontré des représentants du Centre de coordination militaire (CCM) à l'Escadre 5 de Goose Bay pour discuter des protocoles et des vols nécessaires entre le 1<sup>er</sup> et le 15 juillet 2002. Des vols ont été encouragés durant la deuxième semaine (pour donner aux oiseaux porteurs d'un émetteur le temps de s'adapter) et les pilotes alliés ont tout fait pour survoler la rivière du Petit Mécatina dans la zone d'étude. Le groupe d'étude a communiqué chaque jour avec le CCM au moyen d'un système téléphonique par satellite pour connaître l'heure et la trajectoire des survols. Ces renseignements ont beaucoup aidé, bien qu'en raison de l'éloignement de la région et d'autres défis logistiques, plusieurs survols effectués sans avertissement préalable aient été enregistrés. Chaque bruit d'aéronef a été indiqué sur une coupure de carte topographique à l'échelle de 1/50 000 selon la direction, la position, l'altitude, la vitesse et le niveau maximal de bruit en décibels. L'exposition au bruit des canards noirs observés, ainsi que des facteurs environnementaux comme la température, le vent, les précipitations, la distance et la position ont été estimés à l'aide de données recueillies en 2002 (N. Standen, données non publiées) et du modèle de propagation du bruit développé pour la ZEBa (Standen *et al.* 1998). À ce moment, le SCF et l'ISRE faisaient une étude des incidences des vols à basse altitude sur les oiseaux aquatiques en halte migratoire à cette même zone d'étude au lac Fourmont. Grâce aux mesures détaillées du bruit et au développement d'un modèle de propagation du bruit, Neil Standen, Ph.D., de la *Urban Aerodynamics*, a pu décrire plus tard en juillet chaque bruit tel que perçu par les canards noirs porteurs d'un émetteur.

Dans le rapport provisoire (août 2003), les données de fréquence cardiaque ont été évaluées comme des périodes de pulsation non transformées en ayant recours à des analyses spectrales, d'autocorrélation et des passages. Suite à l'analyse, on a conclu que les résultats étaient peu concluants étant donné les données disponibles. Cela n'était pas surprenant, car ce genre de techniques statistiques exige un échantillon important. Les modèles autorégressifs de moyennes mobiles sont parfois utilisés pour l'analyse de données de fréquence cardiaque, mais sont difficiles à appliquer et à interpréter. Par conséquent, le groupe d'étude a décidé d'aborder la deuxième analyse des données de façon exploratoire, à l'aide d'une statistique paramétrique pour déterminer si les données étaient différentes avant et après un survol (bradycardie – ralentissement de la fréquence cardiaque ou tachycardie – accélération de la fréquence cardiaque) et d'une analyse visuelle graphique pour déterminer les effets du bruit après le survol à des moments donnés (régularité de la fréquence cardiaque, temps de récupération après chaque survol).

#### 4.0 RÉSULTATS

L'étude a été considérée comme réussie malgré plusieurs défis liés à la mise en oeuvre d'un programme complexe dans un endroit isolé. Le temps a été le plus grand défi pendant les deux semaines. Après trois jours de chaleur intense de plus de 30° C, il a plu pratiquement sans répit pendant 10 jours, souvent avec des températures au-dessous de 10° C. En raison des fortes précipitations, le niveau de l'eau a monté de plus de 1,1 m le 9 juillet et a continué de monter pendant le reste de la période d'observation au point de modifier la structure de l'habitat et le comportement des canards noirs. Des marécages inondés étaient

plus faciles d'accès pour le groupe d'étude, mais fournissaient un abri aux canards noirs. Après cette date, peu de canards noirs, y compris ceux qui avaient été capturés antérieurement, ont été observés. De plus, la plupart des vols à basse altitude ont été annulés bien que les pilotes alliés aient essayé régulièrement de survoler la zone d'étude pendant les éclaircies.

Quinze canards noirs mâles ont été capturés entre le 2 et le 8 juillet (tableau 1). Tous ces oiseaux étaient en mue et incapables de voler. Les rémiges primaires n'avaient pas encore commencé ou commençaient juste à sortir.

**Tableau 1** État de mue et sort des canards noirs mâles capturés après l'année d'éclosion

Bague et fréquence	Date de capture	Longueur des rémiges primaires (mm)										Sort
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1537-48051 148.600	02.07	8	7	9	9	9	8	9	9	10	10	Repéré seulement 07-13
1537-48052 148.560	02.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Jamais repéré
1537-48053 148.460	02.07	19	22	21	22	23	21	20	20	20	21	Repéré seulement 07-03
1537-48054 148.680	03.07	23	24	21	25	21	22	24	23	22	22	Fonctionnement défectueux de l'émetteur, jamais repéré
1537-48055 148.580	03.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Repéré 07-04, tué par vison 07-05
1537-48056 148.740	03.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Repéré 07-04, 07-09, 07-10, 07-11, 07-13
1537-48057 148.720	03.07	3	4	5	7	5	5	5	4	4	5	Repéré 07-04, 07-05, 07-09, 07-12, 07-13
1537-48058 N/A	04.07	46	49	41	45	46	41	41	43	37	39	Bagué seulement
1537-48059 148.660	04.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Repéré 07-05, 07-10, 07-11, 07-12, 07-13
1537-48060 148.760	04.07	71	73	79	81	81	79	79	76	68	64	Repéré 07-05, 07-10, 07-11, 07-13
1537-48061 148.640	07.07	15	17	18	20	20	16	18	15	14	12	Repéré 07-12, 07-13
1537-48062 148.540	07.07	25	24	25	28	28	29	25	25	20	18	Repéré 07-13
1537-48063 148.420	07.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	Repéré 07-10, 07-11, 07-13
1537-48064 N/A	07.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Bagué seulement
1537-48065 N/A	07.07	17	17	16	18	17	19	17	17	15	16	Bagué seulement

Douze canards noirs ont subi une intervention chirurgicale pour l'implantation d'un émetteur HR-150. Malheureusement, l'un des émetteurs implantés et deux autres qui n'ont pas été implantés ont mal fonctionné. Malgré des températures de l'air ambiant de 8 à 29° C, la température corporelle a eu tendance à diminuer pendant les interventions. L'oxymètre de pouls a indiqué que la fréquence cardiaque a eu tendance à atteindre un maximum au moment de la première incision (tableau 2).

**Tableau 2** Température corporelle et fréquence cardiaque des canards noirs pendant l'intervention chirurgicale

Fréquence	Intubation			Début de l'intervention			Sutures		
	Heure	<sup>0</sup> C	Fréquence (ppm)	Heure	<sup>0</sup> C	Fréquence (ppm)	Heure	<sup>0</sup> C	Fréquence (ppm)
148.600	0955	41,5	180	1010	40,5	197	1033	40,0	234
148.560	1743	42,0	167	1756	40,5	163	1817	40,5	151
148.460	1907	41,0	217	1918	40,0	215	1842	40,0	174
148.680	0950	39,5	190	1003	39,0	234	1021	38,5	>255
148.580	1122	40,0	218	1132	39,5	251	1154	39,0	218
148.740	1216	40,5	150	1228	40,0	220	1254	40,5	193
148.720	1400	40,0	171	1413	40,0	174	1441	40,0	186
148.660	1436	40,0	240	1447	40,0	209	1516	38,5	157
148.760	1549	43,0	220	1604	42,5	>255	1635	41,5	210
148.640	1316	39,0	209	1331	38,5	>255	1355	37,0	148
148.540	1451	39,0	164	1501	38,0	207	1526	37,0	175
148.420	1604	39,0	201	1612	39,0	207	1633	38,5	153
Moyenne		40,4	193,9		39,8	215,6		39,2	187,8

Pour ce qui est des valeurs équivalentes pour la fréquence cardiaque pendant l'intervention, elles ont varié de 150 à 240 ppm pendant l'intubation, de 163 à >255 ppm au début de l'intervention et de 148 à >255 ppm pendant les sutures. Il est à noter que la fréquence cardiaque a parfois dépassé les limites (>255 ppm) du matériel de surveillance. Des 11 oiseaux observés, 10 (à l'exception de 148-560) ont été repérés au moins une fois dans la zone d'étude et ils s'étaient tous déplacés du point de leur mise en liberté (>1 km). L'un des oiseaux libérés (148-580) a été tué par un vison (*Mustela vison*) deux jours après l'intervention. Les 49 séances de surveillance des 10 canards porteurs d'un émetteur ont été réparties irrégulièrement selon le succès de repérage des oiseaux (tableau 3).

**Tableau 3** Résumé des résultats de surveillance des canards noirs porteurs d'un émetteur

Fréquence	N <sup>bre</sup> de séances sans survol (min)	Moyenne des ppm	N <sup>bre</sup> de séances avec survols (min)	Moyenne des ppm
148.420	11 (165:00)	182,8	4 (47:35)	204,5
148.460	1 (15:00)	161,2	0	N/A
148.540	1 (15:00)	162,6	2 (30:00)	157,5
148.580	1 (1:15)	198,6	0	N/A
148.600	2 (30:00)	234,7	0	N/A
148.640	1 (10:00)	134,9	3 (40:05)	179,5
148.660	5 (55:35)	136,3	1 (15:00)	163,3
148.720	4 (60:00)	209,2	1 (15:00)	213,9
148.740	6 (68:55)	163,2	0	N/A
148.760	4 (51:55)	252,8	2 (30:55)	213,9
Total	36 (472:40)		13 (178:35)	

Pendant tout le programme sur le terrain, le groupe d'étude a pu enregistrer le bruit de vingt-quatre survols et observer six canards noirs porteurs d'un émetteur (annexe A). Le niveau de bruit maximum estimé auquel chaque canard noir observé était exposé a varié de 55 à 120+ dB. Après avoir analysé toutes les données recueillies sur la fréquence cardiaque avant et après les survols, y compris celles qui étaient mal enregistrées, il y a eu des cas où les réactions s'apparentaient plutôt à un effarouchement. Ces crêtes de fréquence cardiaque (Harms *et al.* 1997), définies par un changement évident de la fréquence cardiaque pendant la minute suivant un survol, se sont produites pendant huit des seize survols (50 %) où le niveau de bruit était >70 dBA et toutes les fois (100 %) où le niveau de bruit était >90 dBA (tableau 4 et annexe A). Les fois où des crêtes ont été observées, la fréquence cardiaque accrue a persisté pendant

moins de 80 secondes et a généralement duré <30 secondes. En ce qui concerne plusieurs de ces périodes de surveillance, il est à noter que certaines données ne permettaient pas de déterminer la fréquence cardiaque avant la perturbation et ne furent donc pas considérées pendant l'analyse. Cinq survols supplémentaires eurent lieu pendant que des canards noirs non porteurs d'un émetteur étaient visibles (tableau 5). Chaque fois, ni réaction évidente ni changement d'activité n'a été observé par suite du survol. Peu de canards noirs ont été aperçus après l'augmentation du niveau d'eau au lac Fourmont les 9 et 10 juillet.

**Tableau 4 Réactions des canards noirs porteurs d'un émetteur, enregistrées pendant les survols**

Survol (heure)	Aéronef	Niveau de bruit (dBA)	Fréquence	Réaction
04-01a (0947:45)	F-16 (RNLAF)	75	148.720	Ppm constantes
04-02a (0948:40)	F-16 (RNLAF)	70	148.720	Crête, ppm de 216 à 335, rétablies en 20 s
10-01 (1100:25)	Tornado (IAF)	70	148.420	Ppm constantes
10-02 (1110:15)	Tornado (IAF)	75	148.420	Crête, ppm de 273 à 370, rétablies en 20 s
10-03 (1120:25)	Tornado (IAF)	100	148.420	Crête, ppm de 226 à 652, rétablies en 65 s
10-04 (1131:00)	Tornado (IAF)	105	148.420	Crête, ppm de 172 à 283, rétablies en 20 s
10-05 (1425:00)	Tornado (IAF)	90	148.660	Crête, ppm de 200 à 600, pendant 15 à 20 s
10-06 (1526:15)	Inconnu	70	148.660	Ppm constantes
10-07 (1608:00)	Transal (GAF)	55	148.760	Émetteur peut-être en panne
10-08 (1610:35)	F-16 (RNLAF)	65	148.760	Émetteur peut-être en panne
10-09 (1619:35)	F-16 (RNLAF)	65	148.760	Émetteur peut-être en panne
11-01 (1629:00)	Inconnu	60	148.420	Ppm constantes
12-01 (1003:15)	Inconnu	75	148.640	Ppm constantes
12-02 (1004:45)	Inconnu	65	148.640	Ppm constantes
12-03 (1023:20)	Tornado (IAF)	80	148.640	Ppm constantes
12-04 (1023:25)	Tornado (IAF)	80	148.640	Ppm constantes
12-05 (1035:20)	Inconnu	65	148.640	Ppm constantes
12-06 (1123:00)	Tornado (IAF)	75	148.640	Ppm constantes
12-07 (1123:05)	Tornado (IAF)	75	148.640	Crête, ppm de 171 à 308, rétablies en 30 s
13-01 (1228:00)	Inconnu	70	148.540	Ppm constantes
13-02 (1249:45)	Inconnu	65	148.540	Ppm constantes
13-03 (1250:05)	Inconnu	65	148.540	Ppm constantes
13-04 (1321:05)	F-16 (RNLAF)	>120	148.760	Crête, ppm de 204 à 984, survol 13-05 20 s plus tard, émetteur peut-être en panne
13-05 (1321:25)	F-16 (RNLAF)	95	148.760	Crête, valeurs élevées pendant 80 s après survol 13.04, émetteur peut-être en panne

Nota : RNLAF : Forces aériennes royales néerlandaises; IAF : Forces aériennes italiennes; GAF : Forces aériennes allemandes; RAF : Forces aériennes royales

**Tableau 5 Réactions des canards noirs observées pendant des survols imprévus**

Survol (heure)	Aéronef	Niveau de bruit (dBA)	Réaction
04-01b (0947:45)	F-16 (RNLAF)	70	9 canards se sont envolés soudainement du rivage à cause d'un ours noir, ont nagé d'un côté à l'autre de la crique pendant et après le survol en s'éloignant des observateurs.
04-02b (0948:40)	F-16 (RNLAF)	65	9 canards se sont envolés soudainement du rivage à cause d'un ours noir, ont nagé d'un côté à l'autre de la crique pendant et après le survol en s'éloignant des observateurs.
04-03 (1400:00)	Harrier (RAF)	80	7 canards ont continué à nager dans le passage pendant et après des survols en s'éloignant des observateurs.

04-04 (1400:05)	Harrier (RAF)	80	Après le 2 <sup>e</sup> survol, 7 canards ont continué à nager dans le passage pendant et après des survols en s'éloignant des observateurs.
10-10 (1707:00)	Tornado (IAF)	100	Femelle à couvert (probablement avec ses oisillons) criait, s'est déplacée dans l'eau libre et a continué à crier après le survol.

Le groupe d'étude a pu observer à plusieurs reprises (tableau 6) l'influence de leur présence et d'autres stimuli sur la fréquence cardiaque des canards noirs porteurs d'un émetteur. La fréquence cardiaque durant des mouvements évidents (ayant ou non un rapport à la présence des observateurs ou d'autres stimuli non expérimentaux) atteignait environ 600 ppm et revenait à 150 ou 200 ppm quand le mouvement arrêtait.

**Tableau 6 Réactions des canards noirs aux stimuli non expérimentaux**

Séance d'observation	Fréquence	Réaction
02.07.02 (1234 hrs)	148.600	Les valeurs ppm après l'intervention ont varié de 134 à 192; au moment de la mise en liberté et après, les valeurs ppm sont passées à environ 600 pendant >10 min.
10.07.02 (1010 hrs)	148.420	Un huart à collier nage et se nourrit dans l'étang; aucune incidence apparente sur les valeurs ppm pendant environ 1 heure avant son départ.
10.07.02 (1400 hrs)	148.760	Un canard a aperçu les observateurs et a commencé à s'éloigner en nageant; les valeurs ppm ont augmenté de 200 à 600 jusqu'à ce que l'intensité du signal diminue. Continué à suivre le canard sur 500 m pendant environ 9 min.
10.07.02 (1436 hrs)	148.760	Une buse à queue rousse tournait autour de l'étang; nous n'avons pas pu observer le canard. Aucun changement apparent des ppm.
10.07.02 (1648 hrs)	148.740	Le canard est sorti des limites de portée du signal; les valeurs ppm sont parfois passées de 150 à 600 ou plus en <10 min.
11.07.02 (0909 hrs)	148.420	Vu de la cache, le canard semblait immobile avec des valeurs ppm constantes (150 à 200); la direction du signal a changé et les valeurs ppm ont augmenté à 300 et plus tard à 600 avant de revenir aux valeurs faibles constantes. Aucune perturbation due à l'observateur.
11.07.02 (1602 hrs)	148.420	Valeurs ppm variables dénotant que le canard était actif; l'intensité du signal s'est affaiblie, les observateurs se sont rapprochés pour capter un meilleur signal.
12.07.02 (0955 hrs)	148.640	D'un endroit dissimulé, un canard a nagé vers les observateurs et les a dépassés sans être aperçu. Bien que non visible, les valeurs ppm sont passées de 150-200 à 300-600.
12.07.02 (1349 hrs)	148.720	Suite à un signal fort, les observateurs sont tombés sur un canard (non visible); les valeurs ppm ont augmenté à 300, puis à 600; la direction a changé et finalement, ils n'ont pas pu le repérer à nouveau.
12.07.02 (1352 hrs)	148.660	Valeurs ppm variables dénotant que le canard était actif; l'intensité du signal s'est affaiblie; les observateurs n'ont pas pu le repérer à nouveau.
13.07.02 (0933 hrs)	148.420	La direction du signal a changé et les valeurs ppm élevées ont indiqué que le canard s'était déplacé d'environ 400 m durant la séance.
13.07.02 (1400 hrs)	148.600	Le changement de direction du signal et des valeurs ppm élevées ont indiqué que le canard était près et s'éloignait; par après, les valeurs ppm ont diminué à 150-200 quand il s'est immobilisé.
13.07.02 (1427 hrs)	148.740	Valeurs ppm variables dénotant que le canard était actif; l'intensité du signal s'est affaiblie, les observateurs l'ont repéré deux fois avant qu'il ne leur échappe complètement.
13.07.02 (1513 hrs)	148.640	Valeurs ppm variables, mais relativement plus faibles dénotant que le canard était actif; l'intensité du signal s'est affaiblie; les observateurs ont été incapables de le repérer à nouveau.

Des nombreux fichiers de données disponibles pour l'analyse de la fréquence cardiaque par réaction à un survol, seuls ceux qui comportaient des données qui répondaient aux critères suivants ont été retenus pour la deuxième analyse : 1) comporter des données qui mesuraient la fréquence cardiaque au moins environ 90 secondes avant et après le survol, 2) pour chaque oiseau, comporter des données pendant qu'il y avait un survol et pendant qu'il n'y en avait pas et 3) n'y avoir aucune donnée importante manquante (>1 min) ou des périodes brèves d'enregistrement (<6 min). Les fichiers de 6 canards répondaient à ces critères (tableau 7), mais le numéro 760 a été exclu en raison de l'irrégularité des données de fréquence cardiaque. Par exemple, la fréquence cardiaque pouvait passer de 100 pulsations/minute à 900 pulsations/minute sur une période de 10 secondes et cette variabilité pouvait durer pendant la période d'enregistrement de 15 minutes. Ce profil de fréquence cardiaque n'est sans doute pas réel et dénote 1) que l'émetteur implanté était défectueux ou 2) que l'activité électrique d'un muscle avoisinant influait sur les périodes de pulsation (Weimerskirch *et al.* 2002).

**Tableau 7** Résumé des fichiers de données disponibles pour l'analyse

Canard	N <sup>bre</sup> de fichiers de données pendant qu'il n'y avait pas de survol	N <sup>bre</sup> de fichiers de données pendant un survol
420	11	2
540	1	1
640	1	2
660	4	1
720	4	1

#### 4.1 Fréquence cardiaque avant et après le survol

Il semble que les oiseaux n'ont pas tous eu la même réaction aux survols. Certains oiseaux ont manifesté une importante tachycardie, certains une importante bradycardie et d'autres n'ont pas semblé réagir du tout aux survols. Le canard 148.420 a fait l'objet de 2 survols et dans les deux cas, sa fréquence cardiaque a augmenté après le survol. Sa fréquence cardiaque après le survol 10-01 était considérablement plus élevée (test t jumelé,  $p=0,4$ ) qu'avant et est demeurée élevée pendant les 90 secondes qui ont suivi le survol (figure B-1). Sa fréquence cardiaque lors du survol 10-02 a augmenté rapidement, mais n'était pas tellement différente (test t jumelé,  $p=0,45$ ) qu'avant dès 10 secondes après le survol (figure B-2). Dans les deux cas, la fréquence cardiaque a commencé à augmenter environ 10 secondes avant le survol. En ce qui concerne le canard 148.540, sa fréquence cardiaque était considérablement plus élevée après le survol 13-02 (test t jumelé,  $p=0,004$ ) et a semblé rester élevée (figure B-3). Contrairement au canard 148.420, aucune augmentation d'«anticipation» de la fréquence cardiaque n'a été remarquée. La fréquence cardiaque du canard 148.640 ne semble pas avoir été affectée par le survol 12-01 (test t jumelé,  $p=0,30$ ) (figure B-4), mais a été considérablement réduite après le vol 12-03 (test t jumelé,  $p=0,0001$ ) (figure B-5). Toutefois, la fréquence cardiaque diminuait déjà avant le survol; il est donc difficile d'interpréter la signification de cette bradycardie. Sa fréquence cardiaque ne semble pas avoir été affectée par le survol 12-05 (test t jumelé,  $p=0,41$ ) (figure B-6). La fréquence cardiaque du canard 148.660 était considérablement plus faible après le survol 10-06 (test t jumelé,  $p=0,026$ ), mais a semblé se stabiliser après environ 60 secondes plus tard (figure B-7). La fréquence cardiaque du canard 148.720 n'a pas changé après le survol 04-01 (test t jumelé,  $p=0,35$ ) (figure B-8).

#### 4.2 Fréquence cardiaque et niveaux de bruit

La figure B-9 représente graphiquement les données enregistrées 10, 30, 60 et 90 secondes avant et après les survols, selon les niveaux de bruit correspondants. Les données sont représentées avec des barres d'erreur-type (moyenne des fréquences cardiaques pendant la durée de l'observation). Seuls les cas où la fréquence cardiaque de plusieurs oiseaux a été enregistrée pour chaque niveau de bruit sont indiqués (65 dBA, avant n=2, après n=3; 70 dBA, avant n=3, après n=2; 75 dBA, avant et après n=3). La valeur donnée pour la fréquence cardiaque ambiante est la moyenne de celle des six oiseaux pendant une période sans survol où le niveau ambiant se situait entre 35 et 45 dBA. Ces valeurs ont été obtenues à divers moments pendant la journée et dans certains cas pendant plusieurs jours; elles devraient donc être considérées comme révélatrices de fréquences cardiaques basales normales.

À un niveau de bruit de 65 dBA, aucun changement de fréquence cardiaque n'a été observé avant ou après le survol. À 70 dBA, la fréquence cardiaque a semblé augmenter lentement à partir de 90 secondes avant le survol jusqu'à 10 secondes après. La fréquence cardiaque est demeurée élevée 10 secondes après le survol, après quoi, elle est devenue quelque peu sporadique. À 75 dBA, la fréquence cardiaque a augmenté plus rapidement à partir de 90 secondes avant le survol jusqu'à 10 secondes après le survol, était beaucoup plus élevée 10 secondes après le survol et a diminué lentement au niveau préalable en 90 secondes. La fréquence cardiaque a semblé augmenter selon le niveau de bruit, c'est-à-dire que la fréquence cardiaque était plus faible à 65 dBA et plus élevée à 75 dBA.

## 5.0 EXAMEN DE LA QUESTION

Les dates de l'étude sur place du 1<sup>er</sup> au 14 juillet 2002 ont été bien choisies parce que tous les oiseaux manipulés étaient alors en mue et incapables de voler. D'après d'autres études, certains de ces oiseaux auraient pu voler dès la 3<sup>e</sup> semaine de juillet. Le nombre de canards noirs aperçus indiquait que plusieurs centaines se trouvaient dans la zone d'étude, bien qu'un inventaire ne fût pas possible.

Les occasions d'évaluer les changements d'activité par suite d'un survol d'aéronef étaient limitées. Bien qu'il y eût des caches d'observation, les oiseaux avaient tendance à rester cachés sous la végétation dense (particulièrement après l'inondation), ce qui correspond à une constatation lors d'autres études au Labrador (Service canadien de la faune, rapport non publié). Les cinq fois où les canards noirs étaient visibles, rien n'a changé dans leur activité pendant et immédiatement après le survol. Les réactions de canards noirs en halte migratoire et d'autres oiseaux aquatiques aux survols étaient semblables au lac Fourmont en avril et mai 2002 (T. Newbury, comm. pers.) et ailleurs (Conomy 1993).

Pour surmonter les limitations visuelles des expériences cause-effet sur le terrain avec des canards noirs en liberté, le groupe d'étude a eu recours à la technologie de crête de recherche sur la fréquence cardiaque réactionnelle. Par exemple, la portée de détection du signal avec l'aide d'un préamplificateur était limitée à 100 m (Harms *et al.* 1997) comparativement à 1 km dans cette étude. La mobilité du groupe d'étude et la configuration de l'habitat riverain dans la zone d'étude ont de plus aidé à la détection et à la réception. Les canards noirs qui semblaient au repos ont présenté une fréquence cardiaque plus constante (gamme plus étroite) que lorsqu'ils se déplaçaient ou s'adonnaient à d'autres activités. Comme il a été mentionné plus haut, le canard 148.760 a constitué une exception en raison peut-être d'un mauvais fonctionnement de l'émetteur. Toutefois, même cet oiseau manifestait une fréquence cardiaque plus élevée pendant plus longtemps ou plus fréquemment lorsqu'il se déplaçait ou était exposé à un bruit plus intense et a donc été inclus dans les expériences.

En général, la fréquence cardiaque réactionnelle des canards noirs en mue aux vols à basse altitude n'a pas été la même. Ils ont manifesté soit une bradycardie importante (canards 640, 660), soit une tachycardie (canards 420, 540, 660) ou n'ont pas semblé réagir du tout (canards 640, 720). Quand un canard manifestait une tachycardie après le survol, la crête de fréquence cardiaque durait généralement au

plus 90 secondes. Ces crêtes de fréquence cardiaque avaient déjà été observées par d'autres chercheurs (Harms *et al.* 1997) chez des canards noirs captifs exposés à un bruit d'aéronef simulé.

Quand les données ont été groupées, les fréquences cardiaques à des niveaux de 70 et 75 dBA ont semblé augmenter pendant les secondes qui précédaient le survol direct, mais ont eu tendance à se rétablir dans les 90 secondes suivant le survol à ce qu'elles étaient 90 secondes avant le survol. Les fréquences cardiaques avaient tendance à être les plus élevées 10 secondes après le survol (Figure B-9). De plus, en général, la fréquence cardiaque semblait avoir tendance à augmenter avec le niveau de bruit, les fréquences cardiaques étant les plus faibles à 65 dBA et les plus élevées à 75 dBA. Cette tendance d'augmentation de la fréquence cardiaque avec l'augmentation du niveau de bruit est fascinante; il faudra un échantillon plus grand pour examiner davantage cette conclusion. Actuellement, les données laissent supposer un rapport. Pour établir un rapport statistique quelconque entre la fréquence cardiaque et le niveau de bruit, il faudrait au moins cinq oiseaux pour chaque niveau de bruit. Puisque les chercheurs ne peuvent pas commander le niveau de bruit et sont à la merci des conditions météorologiques, des trajectoires de vol et de la localité des canards, cela n'est peut-être pas possible. Cependant, une augmentation de la taille de l'échantillon devrait être considérée lors de l'établissement du plan de toute étude ultérieure. La fréquence cardiaque a été enregistrée une fois à 150 dBA, mais seules les données recueillies après le survol étaient disponibles.

Lors d'une étude semblable de canards noirs captifs, les moyennes quotidiennes de fréquence cardiaque n'ont pas augmenté lors du bruit simulé d'un avion à réaction allant jusqu'à 110 dB 48 fois par jour (Harms *et al.* 1997). Ces mêmes auteurs ont remarqué des crêtes de fréquence cardiaque pendant des stimuli non expérimentaux et parfois visuels. Un seuil possible de crêtes pendant des survols plus aléatoires et non simulés au lac Fourmont s'est manifesté lorsque le niveau de bruit était >70 dBA. Cette réaction a été constamment observée quand le niveau de bruit était >90 dBA. Dans tous les cas, ces réactions étaient brèves et enregistrées pendant moins de 80 secondes. À part cela, les fréquences cardiaques sont restées les mêmes toute la journée sans égard aux survols.

Des augmentations prononcées identifiables de la fréquence cardiaque correspondant à un survol ont eu lieu de plus en plus fréquemment pendant le premier jour d'exposition au bruit, mais les jours suivants, les réactions n'ont pas différé de façon considérable du niveau de base (Harms *et al.* 1997). Les fréquences cardiaques prononcées dues au bruit d'aéronef ont diminué rapidement indiquant que les canards noirs peuvent s'habituer au bruit d'un aéronef volant à basse altitude. Les occasions d'observer cette accoutumance au cours de l'étude ont été limitées par les deux aspects échappant au contrôle du groupe d'étude. D'abord, les survols étaient aléatoires et leurs niveaux de bruit étaient variables à différentes heures de la journée. En deuxième lieu, les canards étaient en liberté et il n'était pas toujours possible de déterminer si la fréquence cardiaque laissait supposer une accoutumance à des bruits répétés. En tout cas, les canards porteurs d'un émetteur ont continué à manifester une tachycardie, une bradycardie ou des crêtes de fréquence cardiaque tout le temps des expériences.

Wooley et Owen (1977) ont observé que certains stimuli visuels, dont des hérons et des faucons en plein vol et des aéronefs volant à basse altitude, suscitaient une augmentation brève de la fréquence cardiaque. Ils ont déclaré que le rapport entre la fréquence cardiaque et le métabolisme des canards noirs était suffisant pour pouvoir mesurer la dépense énergétique de canards en liberté. Ils ont suggérer que des stimuli psychologiques pourraient entraîner un rapport différent en variant la température. Mais le métabolisme de canards au repos, munis d'un petit émetteur radio, était 19 % plus élevé que celui des oiseaux qui ne portaient pas d'émetteur radio. Cet aspect a été difficile à examiner au cours de l'étude pilote, puisque les canards noirs étaient généralement à l'écart et rarement visibles.

## 6.0 CONCLUSION

L'étude pilote de 2002 avait pour objet de déterminer s'il était possible d'appliquer de manière pratique des techniques d'observation de la fréquence cardiaque dans un endroit isolé. Les résultats de l'étude révèlent que cela est possible et que des données utiles sur les réactions des canards noirs au bruit d'aéronef et à d'autres stimuli peuvent être recueillies. Normalement, lors d'une étude ultérieure, l'éventail des niveaux de bruit devrait être plus grand pour pouvoir déterminer un meilleur rapport fréquence cardiaque-bruit et permettre une analyse statistique plus rigoureuse. Il serait bon également de prévoir des observations visuelles. Par exemple, il serait possible de déterminer, en investissant plus que des heures d'observation, si les oiseaux s'habituent aux survols et si leur période de mue est différente de celle des oiseaux dans les zones peu bruyantes. Comme il a été dit antérieurement, il est possible d'établir un lien entre la fréquence cardiaque et la dépense énergétique, mais seulement pendant des périodes prolongées d'activité ou d'inactivité (Ward *et al.* 2002; Weimerskirch *et al.* 2002; Froget *et al.* 2004). Il faut souligner que la fréquence cardiaque ne se rapporte pas de façon fiable à la dépense énergétique pendant des périodes d'agitation (Wooley et Owen 1977), par exemple, pendant un effarouchement. Par conséquent, il est peu probable que les crêtes de fréquence cardiaque observées au cours de cette étude pilote puissent être liées à une modification de la dépense énergétique quotidienne. Ce serait peut-être le cas si des perturbations continues dues au bruit des aéronefs avaient été répétées tous les jours pendant de nombreuses semaines, mais les données recueillies au cours de cette étude pilote sont insuffisantes pour vérifier cette hypothèse. Si l'étude est élargie ou prolongée, la dépense énergétique pourrait alors être mesurée directement au moyen de la technique de l'eau doublement marquée et mise en rapport avec la fréquence cardiaque. Cette technique nécessiterait la capture d'oiseaux aquatiques porteurs d'un émetteur, mais pourrait donner un aperçu utile sur les effets à long terme des perturbations dues au bruit des aéronefs.

Dans la mesure du possible, il serait préférable de tenir un plus grand nombre de séances d'observation et d'observer un même nombre de fois chaque canard porteur d'un émetteur. Cela permettrait le recours à des méthodes statistiques comme l'analyse de variance pour analyser la variation chez chaque canard ainsi que les sources de variation d'un canard à l'autre. En attendant que des fonds soient disponibles, le groupe d'étude recommande de continuer l'étude pendant une autre année, d'augmenter l'échantillon et d'essayer d'examiner d'autres liens de l'hypothèse déjà mentionnée. Johnson (2002) a récemment insisté sur l'importance de la reprise d'une étude quand on fait des études de la faune. Des conclusions semblables obtenues d'études semblables effectuées dans des conditions différentes inspireront plus confiance en la généralité des résultats que celles d'une seule étude, même si elle est bien conçue et bien menée.

D'après la surveillance télémétrique de 10 individus au cours de cette étude pilote, les canards noirs pendant la mue semblent réagir au bruit d'aéronef, car leur fréquence cardiaque (raccourcissement de la période de pulsation) augmente quand le niveau de bruit atteint au moins 70 dB. La fréquence cardiaque accrue est temporaire et dure habituellement de quelques secondes à environ une minute. Elle correspondait ou était inférieure au niveau enregistré pendant d'autres comportements d'activité comme la nage ou l'évitement d'une menace perçue, par exemple, la présence du groupe d'étude.

## **7.0 REMERCIEMENTS**

Le soutien financier a été assuré par l'Institut pour la surveillance et la recherche environnementales. L'aide du personnel de l'ISRE, l'appui de M. David Schneider, Ph.D., et d'autres membres du Comité d'examen scientifique et particulièrement du président, M. Louis LaPierre, Ph.D., de M. Sean Sharpe, ancien directeur de la recherche, et de M<sup>me</sup> Maureen Baker, directrice administrative, sont très appréciés. M. Stanley Oliver, anciennement du Programme d'aide à la recherche industrielle à Industrie Canada, et M. Stephen Fudge, de la *Jacques Whitford* et du Groupe des sciences environnementales, ont obtenu une

aide financière complémentaire. M. Perry Trimper a été le principal chercheur et l'auteur du rapport. M<sup>me</sup> Kathy Knox et M. David Lemon ont aidé dans la conception et la mise en oeuvre de l'étude. D<sup>r</sup> Todd Shury, vétérinaire spécialiste de la faune, a été chargé des interventions chirurgicales et de la manipulation sans risque de tous les oiseaux. M<sup>me</sup> Caroline Hong, M<sup>me</sup> Judy Fraser, M. Keith Oram, M. Greg Penashue et M. Bryn Wood de la *Jacques Whitford* ont aidé aux recherches sur le terrain ou à la logistique au cours de l'étude. M. Neil Standen, Ph.D., a donné des conseils sur des questions relatives à la propagation du bruit et à la modélisation. Selon les conseils des lecteurs critiques et de Chris Ollson, Ph.D., Loren Knopper, Ph.D., a refait les analyses statistiques des données recueillies. Plusieurs personnes du ministère de la Défense nationale ont contribué au succès de cette étude pilote. Major Gary Humphries et M. Tony Chubbs du Bureau de Goose Bay ont fourni des conseils et du matériel accessoire et prêté une de leurs employées, M<sup>me</sup> Leann Elson, qui a travaillé sans se plaindre malgré les conditions difficiles sur le terrain. Major Kurt Saladana et M. Hans Lindner du Centre de coordination militaire de l'Escadre 5 de Goose Bay ont largement contribué à obtenir l'excellente coopération des pilotes alliés de l'Allemagne, de l'Italie, des Pays-Bas et du Royaume-Uni.

## 8.0 BIBLIOGRAPHIE

- Bélanger, L. et J. Bédard, 1999. Responses of staging greater snow geese to human disturbance. *Journal of Wildlife Management* 53: 713-719.
- Burger, J. 1981. Behavioral responses of herring gulls to aircraft noise. *Environmental Pollution (Série A)* 24: 177-184.
- Conomy, J.T. 1993. Habitat use by, and effects of aircraft noise on the behavior and energetics of wintering dabbling ducks in Piney and Cedar Islands, North Carolina. Thèse de maîtrise non publiée, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina. 125 p.
- Conomy, J.T., J.A. Dubovsky, J.A. Collazo et W.J. Fleming. 1998a. Dabbling duck behaviour and aircraft activity in coastal North Carolina. *J. Wildl. Manage.* 62(3): 1127-1134.
- Conomy, J.T., J.A. Dubovsky, J.A. Collazo et W.J. Fleming. 1998b. Do Black Ducks and Wood Ducks habituate to aircraft disturbance? *J. Wildl. Manage.* 62(3): 1135-1142.
- Drobney, Ronald D. et Leigh H. Fredrickson. 1979. Food selection by wood ducks in relation to breeding status. *Journal of Wildlife Management.* 43(1): 109-120.
- Eckert, R., Randall, D., et Augustine, G. 1988. *Animal Physiology: Mechanisms and Adaptations*, 3<sup>e</sup> édition. W.H. Freeman and Company, New York, New York, USA.
- Ellis, D.H. et C.H. Ellis. 1991. Raptor responses to low-level jet aircraft and sonic booms. *Environmental Pollution* 74: 53-83.
- Erskine, A.J. 1987. A preliminary waterfowl population budget for the Atlantic Provinces 1978-1985. *Cahier hors-série n° 60: 65-72 du Service canadien de la faune.*
- Froget, G. Butler, P.J., Woakes, A.J., Fahlam, A., Kuntz, G., Le Maho, Y. et Handrich, Y. 2004. Heart rate and energetics of free-ranging king penguins (*Aptenodytes patagonicus*). *The Journal of Experimental Biology*, 207: 3917-3926.
- Gill, F.B. 1990. *Ornithology*. W.H. Freeman and Company, New York, New York, USA.

- Gladwin, D.N., Asherin, D.A. et K.M. Mancini. 1988. Effects of aircraft noise and sonic booms on fish and wildlife: results of a survey of U.S. Fish and Wildlife Service Endangered Species and Ecological Services Field Offices, Refuges, Hatcheries and Research Centres. Ft. Collins, Co, U.S. Fish and Wildl. Serv., National Ecology Research Center. 77 p.
- Godfrey, J.D., Bryant, D.M. et Williams, M. 2003. Energetics of blue ducks in rivers of differing physical and biological characteristics. P. 35-68 in Williams, M. (Comp.) 2003: Conservation applications of measuring energy expenditures of New Zealand birds: Assessing habitat quality and costs of carrying radio transmitters *Science for Conservation* 214, 95 p.
- Gollop. M.A., J.E. Black, B.E. Felske et R.A. Davis. 1974a. Disturbance studies of Black Brant, Common eiders, Glaucous Gulls and Arctic Terns and Nunakuk Spit and Phillips Bay, Yukon Territory, July 1972. *Arctic Gas Biological Report. Série 14(4): 153-201.*
- Gollop. M.A., J.R. Goldsberry et R.A. Davis. 1974b. Aircraft disturbance to molting sea ducks, Herschel Island, Yukon Territory, August 1972. *Arctic Gas Biological Report. Série 14(5):202-231.*
- Harms, C.A., W.J. Fleming et M.K. Stoskopf. 1997. A technique for dorsal subcutaneous implantation of heart rate biotelemetry in black ducks: an application in an aircraft noise response study. *The Condor* 99:231-237.
- Johnson, D.H. 2002. The importance of replication in wildlife research. *J. Wildl. Manage.* 66(4):919-932.
- Ministère de la Défense nationale (MDN) (1994). EIE: Vols d'entraînement militaire – Un énoncé des incidences environnementales sur les activités militaires aériennes au Labrador et au Québec. Bureau de gestion de projets de Goose Bay, Quartier général de la Défense nationale, Ottawa, Ontario.
- Morton, John M., Ada C. Fowler et Roy L. Kirkpatrick. 1999. Time and energy budgets of American black ducks in winter. *Journal of Wildlife Management*, 53(2): 401-410.
- Noise Pollution Clearinghouse. 1994. Report to Congress: Report on Effects of Aircraft Overflights on the National Park System, National Parks Service.
- Owens, N.W. 1977. Responses of wintering brant geese to human disturbance. *Wildfowl* 28: 5-14.
- Rylander, M. Kent et Eric G. Bolen. 1974. Analysis and comparison of gaits in whistling ducks (*Dendrocygna*). *Wilson Bulletin*. 86(3): 237-245.
- Standen, N.M., P.G. Trimper et Major G.W. Humphries. 1998. Modeled and measured noise levels of low altitude military aircraft flights. 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem, ICBEN, Sydney, Australia. P. 741-744.
- Taylor, E.J. 1993. Molt and energetics of black brant on the Arctic Coastal Plain, Alaska. Thèse de doctorat. Texas A&M University, College Station, Texas, 285 p.
- Trimper, P.G., T.E. Chubbs, N.M. Standen et G.W. Humphries. 1998. Effects of intensive aircraft activity on the behaviour of nesting osprey. 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem, ICBEN, Sydney, Australia.

- Trimper, P.G., N. Standen, L.M. Lye, D. Lemon et T.E. Chubbs. 1998. Effects of low-level jet aircraft noise on the behaviour of nesting osprey. *Journal of Applied Ecology*. 35: 122-130.
- Ward, D.H., R.A. Stehn, D.V. Derksen, C.J. Lensink et A.J. Lorange. 1987. Behaviour of Pacific black brant and other geese in response to aircraft overflights and other disturbances at Izembek Lagoon, Alaska. Rapport non publié, Anchorage, AK: USFWS, Alaska Wildlife Research Center. 58 p.
- Ward, S., Bishop, C.M., Woakes, A.J. et Butler, P.J. 2002. Heart rate and the rate of oxygen consumption of flying and walking barnacle geese (*Branta leucopsis*) and bar-headed geese (*Anser indicus*). *The Journal of Experimental Biology*, 205: 3347-3356.
- Weimerskirch, H., Shaffer, S.A., Mabile, G., Nartin, J., Boutard, O. et Rouanet, J.J. 2002. Heart rate and energy expenditure of incubating wandering albatrosses: basal levels, natural variation, and the effects of human disturbance. *The Journal of Experimental Biology*, 205: 475-483.
- Wooley, J.B. Jr. et R.B. Owen Jr. 1997. Metabolic rates and heart rate-metabolism relationships in the black duck (*Anas rubripes*). *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 57A: 363-367.