

Méthodes de suivi du caribou boréal du CNSCB

RELEVÉS AÉRIENS AU CANADA



Consortium national du savoir sur le caribou boréal

Méthodes de suivi du caribou boréal du CNSCB

RELEVÉS AÉRIENS AU CANADA



Relevés aériens au Canada

Contenu

Introduction aux relevés aériens	1
Défis associés aux relevés aériens	1
Modèles d'étude communs	2
Relevés à base de blocs (ou de grilles) : recherches effectuées systématiquement, en survolant une zone en « unités d'échantillonnage »	3
Relevés à base de transects parallèles : recherches effectuées systématiquement, en survolant une zone en « bandes »	4
Échantillonnage ciblé : recherches effectuées dans des zones où la présence d'animaux est connue	5
Savoir autochtone dans les programmes de suivi	6
1. Inventaires aériens	7
1.1 EN UN COUP D'ŒIL	7
1.2 APTITUDE À LA SURVEILLANCE	7
1.3 CONSIDÉRATIONS ET EXIGENCES	9
1.4 EXEMPLES DE MISES EN PRATIQUE	13
2. Études aériens d'occupation	15
2.1 EN UN COUP D'ŒIL	15
2.2 APTITUDE À LA SURVEILLANCE	15
2.3 CONSIDÉRATIONS ET EXIGENCES	17
2.4 EXEMPLE	21
3. Imagerie aérienne	22
3.1 EN UN COUP D'ŒIL	22
3.2 APTITUDE À LA SURVEILLANCE	25
3.3 CONSIDÉRATIONS ET EXIGENCES	28
3.4 EXEMPLE	32
BIBLIOGRAPHIE	33

RELEVÉS AÉRIENS



Crédit photo : Laura Finnegan

Introduction aux relevés aériens

Les relevés aériens sont un outil de suivi de la population qui consiste à survoler une zone prédéterminée à l'aide d'un aéronef, à recenser (compter et classer) les animaux et à déterminer simultanément les paramètres de la population tels que la distribution à grande échelle (e.g. l'échelle de l'aire de répartition), l'occupation, l'abondance, le rapport des sexes et le recrutement. (Gauthier 1985, Courtois *et al.*, 2003). Au Canada, les relevés aériens sont une méthode de suivi du caribou qui a une longue histoire; la plupart des provinces et des territoires se sont largement appuyés sur les méthodes de relevés aériens pour obtenir leurs données de base sur la population, ce qui constitue la base de la plupart des ensembles de données sur la population de caribous boréaux (CNSCB, 2019).

Défis associés aux relevés aériens

La faible détectabilité des animaux constitue un défi majeur des relevés aériens de la faune. Les défis spécifiques de visibilité du caribou boréal comprennent : la faible densité et le regroupement spatial des animaux, la coloration cryptique des individus, la tendance à rester immobile à l'approche d'un aéronef, l'expérience et la fatigue de l'observateur, le couvert végétal dense et les mauvaises conditions de neige (BC RIC 2002, Courtois *et al.* 2003, ASRD 2010, De Mars *et al.* 2017, MFFP, 2019). Ces problèmes de visibilité peuvent

entraîner une faible exactitude et une faible précision dans les estimations des paramètres de population tels que la taille et la densité. Les ensembles de données dont l'exactitude et la précision sont faibles peuvent être inadaptes ou insuffisants pour informer les mesures de gestion (Thomas 1996, BC RIC 2002, DeMars *et al.* 2017).

Pour accroître la robustesse des ensembles de données de relevés aériens, il a été recommandé que « les résultats des relevés se composent d'une estimation, de limites de confiance, d'un niveau de probabilité et d'une taille d'échantillon » (Thomas 1996). La précision de ces ensembles de données peut être améliorée en établissant un facteur de correction de visibilité unique pour chaque relevé (e.g. Buckland 2001, Courtois *et al.* 2003, Thomas *et al.* 2010, De Mars *et al.* 2017). Les développements récents dans l'utilisation des facteurs de correction de visibilité comprennent la création de logiciels et les progrès de l'analyse statistique (e.g. Thomas *et al.* 2010, Miller *et al.* 2019).

Un deuxième défi, lié à la faible visibilité, réside dans la petite taille des échantillons, car la correction de la visibilité est statistiquement inappropriée si la taille des échantillons est trop petite (e.g. Thomas 1996, DeMars *et al.* 2017). La petite taille des échantillons est un problème inhérent à la plupart des méthodes de relevé du caribou boréal, ce qui incite de nombreuses pratiques actuelles à combiner des études de marquage-recapture ou de marquage-repérage avec des relevés aériens (voir par exemple, BC RIC 2002, ASRD 2010, MRNF 2014, DeMars *et al.* 2017; MFFP, 2019). Un autre avantage de cette pratique est que les données obtenues à partir d'études de marquage-recapture ou de marquage-repérage peuvent être combinées avec les connaissances autochtones et les résultats de relevés aériens précédentes, afin de guider les schémas de stratification pré-vol (e.g. Siniff et Skoog 1964, Gasaway 1986, Thomas *et al.* 2010). La stratification est le processus qui consiste à diviser la zone de relevé en unités d'échantillonnage plus petites et relativement homogènes. Cette technique est efficace pour les animaux qui présentent une distribution groupée (BC RIC 2002), et permet de regrouper les unités d'échantillonnage en fonction des prévisions de densité de caribous. La stratification de la zone de relevé peut accroître l'efficacité du projet, accroître la confiance dans les estimations et réduire le nombre d'unités d'échantillonnage à relever. Néanmoins, les vols de stratification préalables au relevé nécessitent généralement une durée de location d'aéronef plus longue et entraînent donc une augmentation des coûts de location, des coûts de carburant et des coûts de personnel (BC RIC 2002, ASRD 2010).

RELEVÉS AÉRIENS

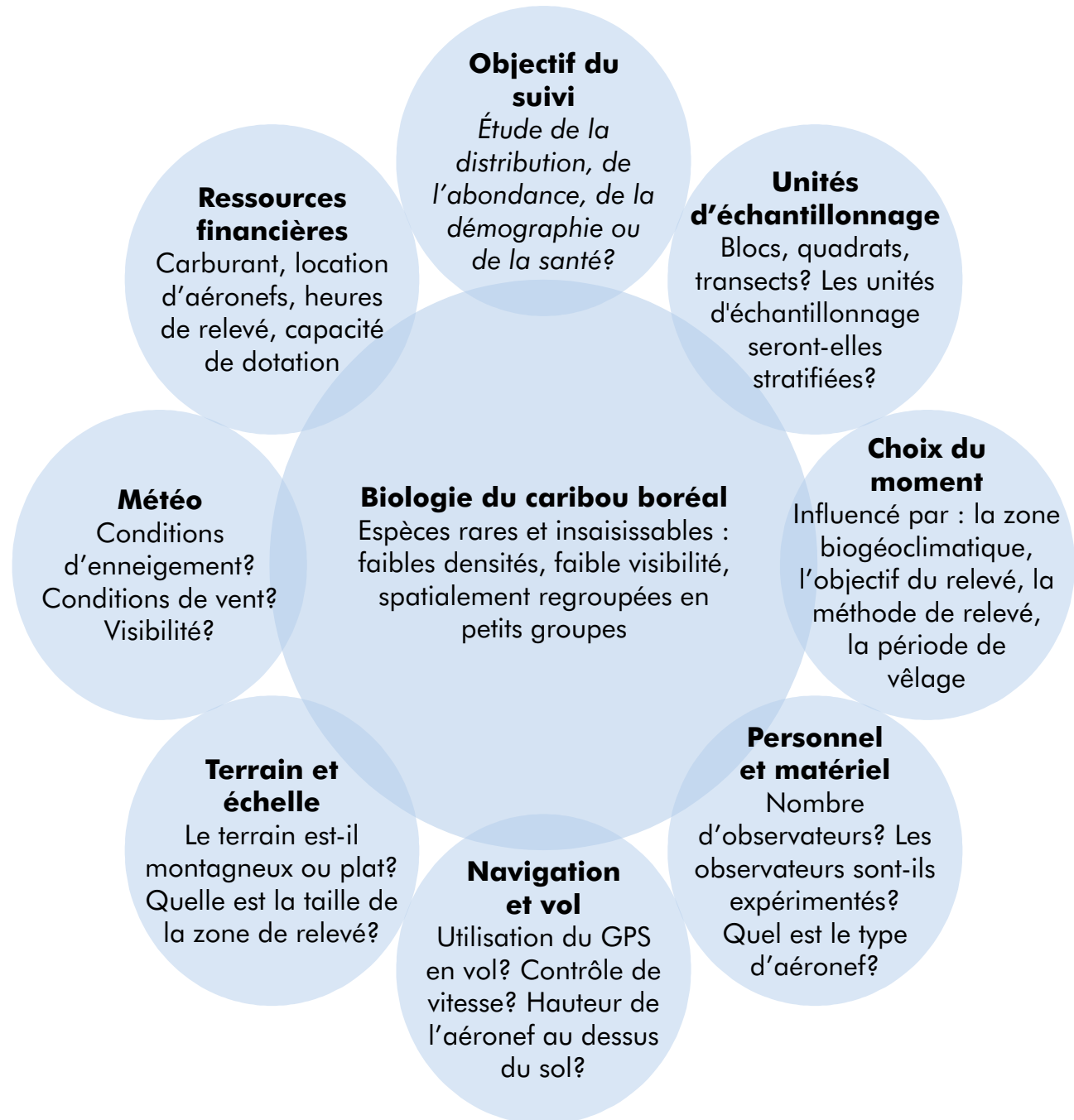


Modèles d'étude communs

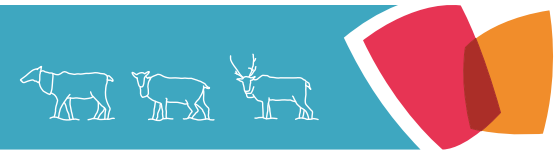
Les relevés aériens peuvent faire appel à des méthodes directes et/ou indirectes. Les méthodes directes sont basées sur l'observation des caribous individuels, alors que les méthodes indirectes sont basées sur l'observation de signes (e.g. des traces ou des cratères d'alimentation). Il existe une variété de modèles d'étude pour les relevés aériens, dont le choix est influencé par des facteurs tels que ceux décrits à la figure 1.

Les différents modèles d'étude utilisés pour les relevés aériens du caribou boréal au Canada sont présentés ci-dessous, y compris les avantages et les inconvénients de chacun, ainsi que des exemples spécifiques de quand/où une méthode particulière a été utilisée. Pour des descriptions plus approfondies de chaque méthode, ainsi que la façon d'intégrer les facteurs énumérés à la figure 1 dans le modèle d'étude des projets futurs, nous invitons le lecteur à se référer à la littérature primaire.

Illustration 1 (à droite) : Des facteurs tels que les besoins en matière de données, l'échelle spatiale ainsi que les ressources financières et humaines guideront le choix de la méthode la plus appropriée pour les relevés aériens du caribou boréal. Le contenu de la figure est basé sur : BC RIC 2002, ASRD 2010, MRNF 2014, De Mars et al. 2017, et MFFP 2019.



RELEVÉS AÉRIENS



Relevés à base de blocs (ou de grilles) : recherches effectuées systématiquement, en survolant une zone en « unités d'échantillonnage »

Approches

1. Échantillonnage à base de grille : Les unités d'échantillonnage sont une série de polygones de taille égale et de forme identique disposés selon un motif en forme de grille sur le paysage. Le motif peut être n'importe quel polygone répétitif (hexagone, carré, triangle, etc.), selon le modèle du relevé.
 - La province de l'Ontario effectue des évaluations intégrées de l'aire de répartition du caribou boréal à l'aide d'une méthode de relevé en deux étapes où « la première étape consiste en un relevé à voilure fixe basé sur un hexagone (taille de cellule d'environ 100 km²) [grille] ». (MRNF 2014). La trajectoire de vol de l'aéronef croise chaque cellule de la grille, et les analyses ultérieures traduisent les observations dans la cellule pour représenter la cellule dans son ensemble.
2. Échantillonnage stratifié aléatoire à base de blocs : les unités d'échantillonnage sont des blocs de relevé de taille variable (généralement basés sur des caractéristiques observables comme la topographie, ou délimités à l'aide de blocs de taille uniforme à l'aide de la technologie GPS) et sont stratifiées (voir la discussion ci-dessus) avant d'être relevés.
 - La province de la Colombie-Britannique a utilisé l'échantillonnage stratifié aléatoire à base de blocs comme protocole standard provincial pour les relevés de caribou boréal (BC RIC 2002), mais cette méthode n'est actuellement pas la méthodologie optimale (A. Pelletier, *comm. pers.*)
 - L'Alberta « s'efforce de mettre en œuvre des approches de relevés aériens qui permettent des estimations statistiquement rigoureuses du nombre et de la densité des populations d'ongulés dans les unités de masse de zone sauvage ». En général, cela implique de réaliser des dénombrements dans une sélection aléatoire de blocs de relevés au sein des unités de masse de zone sauvage. (ASRD) (2010)

Avantages des relevés à basé de blocs

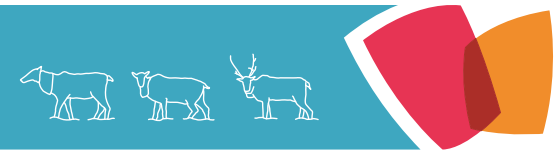
- Utiles dans les zones à terrain accidenté ou à terrain variable.
- Les détenteurs de connaissances et les experts locaux peuvent être impliqués dans la planification du travail sur le terrain. Plus précisément, un aperçu des emplacements généraux des caribous, des trajectoires de vol, des conditions de l'habitat et des points de ravitaillement en carburant peut grandement aider à accroître l'efficacité des relevés (ASRD 2010, Couturier *et al.* 2018).

Inconvénients des relevés à base de blocs

- L'augmentation du temps de vol, de la consommation de carburant et du temps du personnel pour les vols de stratification préalables au relevé entraîne une augmentation globale des coûts (Courtois *et al.* 2003).
- Avec les relevés à base de grille, la résolution ou la précision des données est limitée, en partie, à la taille du polygone échantillonné. En d'autres termes, plus la taille des cellules étudiées est grande, plus il y a de possibilités de ne pas voir les différences dans l'ensemble du paysage.



RELEVÉS AÉRIENS



Relevés à base de transects parallèles : recherches effectuées systématiquement, en survolant une zone en « bandes »

Approches :

1. Échantillonnage à distance à l'aide de transects linéaires : Une forme d'échantillonnage par transects où la distance perpendiculaire entre les animaux observés et la ligne de relevé est mesurée et une fonction de détection* est estimée pour déterminer la taille de la zone échantillonnée. Cela signifie que la largeur de la bande dépend de la visibilité, plutôt que de déterminer à l'avance la largeur de la bande, comme c'est le cas avec les relevés traditionnels par transects. La largeur du relevé de bande n'est pas maintenue constante. Tous les animaux observables sont enregistrés quelle que soit leur distance par rapport au transect; une covariable (telle que la taille du groupe ou la couverture terrestre) peut être incluse pour tenir compte d'une partie de la variation de la visibilité et peut donc être utilisée pour améliorer la précision de l'estimation. On suppose toutefois que les animaux situés directement sur la ligne de transect ne sont pas oubliés. (Quang et Becker 1996, Buckland 2001, Thomas et al. 2010).

**Une « fonction de détection » est similaire au « facteur de correction de la visibilité » utilisé dans d'autres conceptions expérimentales, sauf que des hypothèses doivent être respectées. Voir e.g. : Buckland 2001 pour plus de renseignements.*

- Les caribous des monts Torngat du Québec et du Labrador ont récemment fait l'objet d'un échantillonnage à distance, avec des transects espacés de trois ou quatre kilomètres, selon les prévisions de densité de caribous. Cela a efficacement stratifié la zone de relevé en fonction des résultats de relevés antérieurs ainsi que des connaissances locales sur la répartition du caribou (Couturier et al. 2018).
2. Échantillonnage en bandes de largeur variable : Une forme d'échantillonnage par transect où la distance perpendiculaire entre les animaux observés et la ligne de relevé n'est pas enregistrée, et la largeur du relevé de bande n'est pas maintenue constante.
 - Un relevé aérien récent de la région de la Basse Côte-Nord (Québec) a fait appel aux bandes de largeur variable dans un relevé en deux étapes, pour dénombrer et classer le caribou boréal de la région. Dans ce relevé, le facteur de correction de la visibilité était basé sur le rapport entre le nombre d'individus munis de colliers observés et le nombre total

d'individus munis de colliers disponibles sur la zone de relevé (MFFP 2019).

3. Échantillonnage de bandes à largeur fixe : Une forme d'échantillonnage par transects où tous les animaux vus sont enregistrés et contribuent aux résultats du relevé, mais où seuls les caribous vus dans une zone de relevé définie (donc dans une largeur de bande prédéterminée) contribuent aux estimations de densité ou d'abondance. (Bergerud 1963).
 - Dans l'échantillonnage de bande à largeur fixe, une largeur de bande constante est maintenue en pilotant l'aéronef à une altitude spécifique (BC RIC 2002). Les observateurs à bord sont formés pour définir les animaux comme étant « sur » ou « hors » du transect, en fonction de leur position maintenue et des marqueurs de distance sur le hublot de leur aéronef. La correction de la visibilité peut être estimée en utilisant des observateurs à double insu. Cette méthode a été utilisée pour étudier le caribou boréal au Labrador. Il convient de noter qu'en Colombie-Britannique, en raison du terrain accidenté, cette méthode n'a été utilisée que pour le relevé des orignaux (BC RIC 2002).

Avantages des relevés à base de transects parallèles

- Si le temps de vol (et les ressources financières) le permettent, les relevés par transect peuvent être conçus pour inclure une deuxième étape de vols où la composition de la population peut être évaluée (cette pratique est appelée « vols en deux étapes » : e.g. MPPF 2019). Pour être clair, dans les vols en deux étapes, les animaux sont classés pendant le relevé aérien, et non lors d'un vol ultérieur.
- Cette approche de relevés aériens, connue sous le nom de « recensement par bande », a une histoire au Canada (Bergerud 1963) et est encore utilisée pour comparer les résultats d'une année à l'autre.
- La densité peut être estimée avec un échantillonnage par bandes à largeur fixe (où la zone étudiée est connue) ou un échantillonnage basé sur la distance (où la zone étudiée est calculée mathématiquement à l'aide de logiciels après le travail sur le terrain)

Considérations pour les relevés à base de transects parallèles

- L'échantillonnage par transect fonctionne mieux lorsque les animaux sont répartis au hasard sur de vastes zones d'habitat homogène (e.g. BC RIC 2002). Toutefois, le caribou boréal est généralement regroupé, surtout en hiver, période où la plupart des relevés sont effectués. Le caribou boréal ne se trouve généralement pas non plus dans un habitat homogène. Face à ce défi, une adaptation possible de la conception de

RELEVÉS AÉRIENS



L'étude consiste à stratifier la zone d'échantillonnage (pré-relevé) en fonction des densités de caribous prévues (e.g. Couturier et al. 2018; MFFP, 2019).

Inconvénients des relevés à base de transects parallèles

- Dans l'échantillonnage à largeur variable, il n'y a pas de mesure de la superficie étudiée et, par conséquent, la densité ne peut pas être estimée.

Échantillonnage ciblé : recherches effectuées dans des zones où la présence d'animaux est connue

Approches :

1. Études de composition

- L'Alberta, Terre-Neuve-et-Labrador et les Territoires du Nord-Ouest effectuent des relevés de la composition du caribou boréal des bois. Ces relevés de composition commencent par un vol vers des harde munies de colliers émetteurs, puis par le dénombrement et la classification du nombre total d'individus rencontrés. (e.g. ASRD 2010, DeMars 2017). Dans ces études de composition, la priorité est à la relocalisation des individus munis de colliers. La recherche de points chauds dans des zones d'habitat convenable a également lieu si le temps le permet.
- Lorsqu'elles sont menées en hiver, les études de composition visent généralement à obtenir des chiffres de recrutement, car les veaux doivent être âgés de 9 à 10 mois pour ces études.
- Lorsqu'elles sont menées à l'automne, les études de composition visent généralement à déterminer le nombre de mâles royaux, et l'obtention des chiffres de recrutement est un objectif secondaire. Ces « dénombrements de rut » d'automne permettent généralement aux observateurs d'avoir de meilleurs comptes parce que les animaux se rassemblent en groupes plus importants, par rapport à l'hiver.

Avantages des relevés par échantillonnage ciblé

- Économise du temps en échantillonnant uniquement les zones où l'on sait que le caribou est présent; utile pour les petits sites d'étude (Courtois et al. 2003)

Considérations pour les relevés par échantillonnage ciblé

- Si l'objectif du relevé est d'obtenir une estimation de la population, un échantillonnage ciblé devra être combiné avec une pose extensive de colliers radiotélémetriques (effectuée avant l'échantillonnage). L'utilisation de colliers de radiotélémetrie permet de calculer une

probabilité de visibilité, qui est ensuite appliquée pour fournir une estimation de la population.

- Si le but du relevé est d'obtenir des renseignements sur la composition (et non une estimation fiable de la population), il n'est pas absolument nécessaire d'utiliser des colliers de radiotélémetrie. Dans ce cas, un échantillonnage ciblé pourrait être effectué en survolant des zones connues de bonne qualité d'habitat ou par le biais d'observations locales de haute densité.

Inconvénients des relevés par échantillonnage ciblé

- Évite potentiellement les zones d'échantillonnage où la densité de caribous augmente sans qu'on le sache
- Les recherches ciblées sont généralement basées sur des données télémetriques. Ainsi, comme pour tout suivi basé sur la télémetrie, la recherche de points chauds néglige potentiellement l'échantillonnage pour les mâles individuels ou les groupes entièrement mâles, car seules les caribous femelles sont munies d'un collier.
- Cette méthode évite les zones d'échantillonnage où « absence » et « absence de détection » peuvent être confondus.



RELEVÉS AÉRIENS



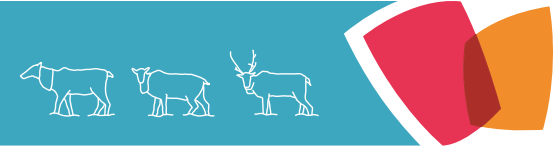
Savoir autochtone dans les programmes de suivi

Dans le cadre de l'élaboration du projet [Suivi du Caribou Boréal au Canada](#) [Partie I : Perspectives du groupe de travail responsable du suivi du CNSCB](#), un certain nombre de méthodes de terrain pour le suivi du caribou boréal ont été identifiées comme couramment utilisées au Canada. Ces méthodes ont aussi la caractéristique commune de ne pas être fondées sur des méthodes autochtones. Or, l'application conjointe de savoirs autochtone et non autochtones aux programmes de suivi du caribou présente de nombreux avantages (e.g. Raygorodetsky et Chetkiewicz, 2017). À cet égard, les documents inclus dans la trousse de suivi du caribou boréal font état de l'apport appréciable des peuples autochtones et de leurs connaissances dans le programme de suivi du caribou boréal. De plus, la trousse « Aspects pratiques de la réconciliation des modes de connaissance autochtones et non autochtones » (en cours de préparation) présentera des conseils pratiques pour

réunir les divers savoirs sur le caribou et aidera les lecteurs à comprendre les modalités d'une collaboration enrichissante avec les communautés autochtones. Par exemple, ces modalités comprennent (sans s'y limiter) : la coordination de programmes en collaboration avec les peuples autochtones dès le début de la planification; la répartition équitable des prises de décision relatives au programme de suivi; la communication continue à toutes les phases d'un programme; des engagements relatifs à l'établissement de relations et à l'apprentissage mutuel; un accord sur les principes éthiques entourant la conception et la mise en œuvre de projets; une transparence accrue dans la collecte, l'utilisation et le stockage des données (e.g. [Principes de PCAP](#)); le respect des protocoles établis par les conseils de gouvernance et de cogestion locaux, et l'aménagement dans les programmes de suivi de mesures (en temps, en énergie et en ressources) de renforcement des capacités et d'indemnisation pour la contribution en temps.



RELEVÉS AÉRIENS



1. Inventaires aériens

1.1 EN UN COUP D'ŒIL

Les inventaires aériens sont un type spécifique de relevé aérien, adapté au suivi lorsque les objectifs sont d'obtenir des décomptes minimaux de population, de déterminer la taille et/ou la densité de la population, ou d'obtenir des renseignements sur la répartition, la tendance de croissance et les taux de recrutement d'une population.

Les inventaires aériens sont généralement effectués du début à la fin de l'hiver, car c'est à ce moment-là que les veaux sont moins susceptibles d'être indûment stressés par les aéronefs (Arsenault 2019). L'échantillonnage en hiver permet également aux observateurs d'utiliser les chutes de neige : les traces dans la neige peuvent être utilisées pour stratifier une zone avant le vol, et peuvent également être utilisées pour guider les observateurs afin de localiser les groupes de caribous. Enfin, la neige offre un contraste visuel accru entre la couleur du caribou et le sol (e.g. BC RIC 2002, ASRD 2010, Arsenault 2019).

1.2 APTITUDE À LA SURVEILLANCE

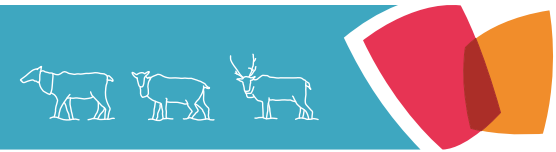
1.2.1 PARAMÈTRES DE SUIVI DES POPULATIONS DE CARIBOUS

Par renvoi au tableau comparatif 1 : Choisir une méthode de suivi qui convient le mieux à vos objectifs

		Répartition			Abondance				Démographie			Santé			
		Répartition/ Occupation	Dispersion/ Mouvement	Utilisation de l'habitat	Densité de la population	Taille de la population	Taille effective de la population	Décompte minimaux	Tendance de la croissance démographique	Survie/Mortalité	Recrutement/ Reproduction	État corporel	Maladies	Autres indicateur de santé	Recherche de nourriture/Nutrition
x	La méthode n'est pas appropriée à l'estimation de ce paramètre														
✓	La méthode permet de collecter des renseignements ou, combinée à d'autres méthodes, de formuler des déductions														
✓✓	La méthode permet de collecter des renseignements considérables et est appropriée à l'estimation														
✓✓✓	La méthode est la plus appropriée ou vise spécifiquement l'estimation de ce paramètre														
Remarque : Le tableau est conçu pour une utilisation combinée à d'autres outils de la trousse de suivi et peut ne pas refléter les particularités associées aux régions lorsqu'il est utilisé seul.															
Relevés aérien	Inventaires aérien	✓✓	x	✓	✓✓✓	✓✓✓	x	✓✓✓	✓✓	x	✓✓	x	x	x	x

****Notez que les seuls paramètres énumérés ici sont les paramètres primaires de la population qui sont explorés en détail dans le Tableau comparatif 1 pour permettre une comparaison standardisée entre les approches de surveillance. Toutes les autres informations qui peuvent être obtenues à partir de cette méthode sont détaillées dans la section suivante « Paramètres et informations supplémentaires ».**

RELEVÉS AÉRIENS



1. Inventaires aériens

1.2.2 PARAMÈTRES ET RENSEIGNEMENTS SUPPLÉMENTAIRES QUI PEUVENT ÊTRE SUIVIS (AU-DELÀ DE CEUX ÉNUMÉRÉS DANS LE TABLEAU 1)

- Des inventaires de classification et/ou des évaluations de recrutement peuvent être réalisés pendant les relevés aériens, pour déterminer la démographie de la population (telle que le rapport des sexes et le recrutement).
- Les données environnementales ou sur l'habitat peuvent être incorporées dans les analyses pour tenir compte de la variation de la visibilité (e.g. observateur, couverture de neige, pente, taille du groupe).
- Les inventaires aériens peuvent également aider à noter de nouveaux changements dans le paysage (e.g. des perturbations naturelles telles qu'un incendie de forêt ou l'utilisation humaine des terres, comme un nouveau sentier de VTT), mais ne seraient pas appropriés pour documenter dans le cadre de la perturbation totale de la zone.
- Les inventaires aériens axés sur le caribou peuvent également, dans certains cas, fournir des données d'observation sur l'abondance relative d'autres grands animaux terrestres. Cela peut inclure l'obtention d'un indice d'occupation humaine sur le terrain.

1.2.3 APPLICATIONS

- Comme pour la plupart des relevés aériens, les inventaires aériens conviennent mieux à l'estimation de la taille, de la densité et de la tendance de la population lorsque l'aire de répartition, l'habitat saisonnier et l'abondance locale sont quelque peu compris afin que l'activité de relevé puisse être répartie de manière appropriée.
- Il doit y avoir un financement suffisant pour étudier une proportion adéquate de la zone afin de réduire l'intervalle de confiance de l'estimation. Par exemple, la stratification avant le relevé de la zone de relevé en catégories de densité élevée, moyenne et faible peut aider à cela. Veuillez consulter la discussion sur la stratification dans l'introduction du chapitre.
- Les inventaires aériens ne visent pas à recueillir des renseignements sur l'occupation ou la répartition saisonnière et l'utilisation de l'habitat. Comme la plupart des inventaires aériens sont effectués en hiver, l'utilisation hivernale d'une zone peut être notée lors d'un relevé de dénombrement aérien, mais seulement de manière anecdotique. (Considérez, par exemple, que les relevés aériens ne fournissent qu'un « instantané » de la répartition dans le temps et que le caribou est une espèce mobile.)

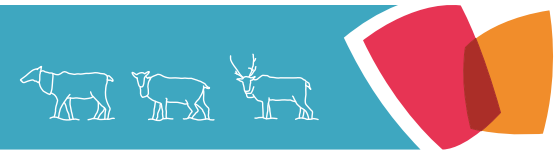
1.2.4 AVANTAGES

- Peut être planifié, mis en œuvre et analysé en peu de temps.
- Ne nécessite pas de financement annuel répété, peut donc être mis en œuvre lorsque les fonds sont disponibles.
- Cette méthode n'est pas limitée aux programmes de suivi provinciaux. Par exemple, les conseils de cogestion de la faune peuvent diriger le suivi (e.g. Couturier *et al.* 2018). En outre, cette méthode permet également aux groupes locaux (détenteurs de savoirs autochtones, ONGE, etc.) de participer à la planification et au travail de terrain, et d'acquérir une expérience directe.
- Peut être combiné avec l'évaluation de la structure de la population (recrutement, rapport des sexes, etc.) grâce à l'utilisation de vols de relevé en deux étapes. Par exemple, cette technique a été récemment utilisée dans la province de Québec (MFFP 2019), où l'objectif du vol de première étape était d'effectuer un dénombrement de la population, et l'objectif des vols de deuxième étape était d'effectuer une évaluation de la composition de la population. Les classifications aériennes peuvent être effectuées simultanément avec les études aériennes d'occupation. Dans ces cas, l'hélicoptère quitte le transect pour classer les individus une fois qu'un groupe est observé, comme cela se fait lors des relevés aériens des harde de caribous boréaux au Labrador.

1.2.5 DÉSAVANTAGES

- Les frais de vol sont importants et le budget est donc dépensé rapidement au moment du relevé.
- L'utilisation de l'habitat varie selon la saison (le caribou boréal couvre une plus grande superficie pendant la saison de vêlage), et donc les inventaires aériens effectués en hiver peuvent ne pas être représentatifs de la répartition pendant d'autres saisons que l'hiver.
- La réussite dépend des conditions météorologiques. Nécessite suffisamment de jours de beau temps pour inspecter toute l'aire de répartition avant que le caribou puisse se déplacer suffisamment pour s'attendre à un double échantillonnage.

RELEVÉS AÉRIENS



1. Inventaires aériens

1.3 CONSIDÉRATIONS ET EXIGENCES

Par renvoi au tableau comparatif 2 : Comparaison de l'aptitude à la surveillance et des exigences des méthodes de suivi

Échelle Spatiale		Échelle spatiale		Besoins en matière de données **		Implication de la communauté		Ressources			Considérations éthiques		
✓	La méthode permet de collecter des informations à cette échelle spatiale	Local/zone d'étude	Aire régionale	Exigences minimales d'échantillonnage	Capacité à évaluer l'indice de confiance des données	Possibilités locales	Application conjointe du savoir autochtone	Frais d'équipement	Frais de personnel	Compétences requises	Capture/manipulation	Stress potentiel lié au suivi	Empreinte carbone
✓✓	La méthode est appropriée pour une application à cette échelle spatiale												
✓✓✓	La méthode est la plus appropriée pour une application à cette échelle spatiale												
Application combinée des Connaissances Autochtones : P – Planification D – Collecte de données A – Analyse R – Rapport <i>Remarque : Le Tableau est conçu pour utilisation combinée à d'autres outils de la trousse de suivi et peut ne pas refléter les particularités associées aux régions lorsqu'il est utilisé seul</i>													
Relevés aériens	Inventaires aériens	✓	✓✓✓	Taille de la population ≥1 an/ Tendance de la population ≥2 ans	Élevé	Modéré	P, D	Élevé	Modéré/Élevé	Modéré	Non	Modéré/Élevé	Élevé

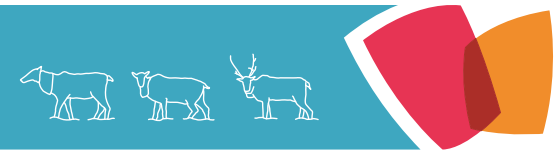
* Deux notes relatives à l'échelle spatiale pour l'imagerie aérienne représentent respectivement les aéronefs pilotés et les aéronefs sans pilote // ** Il ne s'agit que de lignes directrices générales; reportez-vous au texte pour plus de détails sur les exigences d'échantillonnage.

1.3.1 ÉCHELLE SPATIALE

- L'échelle spatiale doit couvrir toute l'aire d'hivernage, selon l'emplacement des colliers, les connaissances locales/autochtones et l'utilisation historique de l'habitat et de l'aire de répartition.
- Si les aires d'hivernage sont inconnues, des inventaires aériens doivent être effectués à l'échelle régionale ou de l'aire de répartition. Par exemple, cela a été mis en œuvre dans la région des monts Torngat au Labrador (> 30 000 km²) et dans les régions du Québec où des renseignements détaillés sur les emplacements des caribous n'étaient pas disponibles, mais les connaissances locales pourraient informer les limites approximatives des zones d'étude (Couturier *et al.* 2018).

1.3.2 BESOINS EN DONNÉES ET CONFIANCE

- Nécessite un effort concerté pendant plusieurs journées consécutives sur le terrain pour obtenir une estimation de la taille ou de la densité de la population dans l'aire d'hivernage. N'importe quel niveau d'échantillonnage peut être utilisé comme dénombrement minimum.
- Si la conception de l'étude implique un échantillonnage à distance, un minimum de 60 à 80 groupes doit être observé pour que la fonction de détection soit correctement ajustée et assure l'exactitude de l'ensemble de données (e.g. Buckland *et al.* 2001). Toutefois, plus de 80 observations peuvent être nécessaires pour obtenir des estimations d'abondance précises (CV < 20 %) et peu biaisées (< 10 %; Glass *et al.* 2016).



1. Inventaires aériens

- Nécessite deux années ou plus de données pour éclairer la tendance de la population à partir des estimations d'abondance.
- Comme pour tous les relevés aériens, des corrections doivent être apportées pour les erreurs de visibilité. Cela peut être fait comme indiqué ci-dessus sous « Défis associés aux inventaires aériens ».
- La précision concernant l'estimation de l'abondance de la population peut être exprimée à l'aide de la méthode statistique choisie et exprimée sous la forme d'un intervalle de confiance ou d'un pourcentage d'erreur.



Crédit photo : Division de la faune de T.-N.-L.

1.3.3 IMPLICATION DES COMMUNAUTÉS

Possibilité d'implication des communautés locales

- Avec une formation, des capacités et une expérience appropriées, les membres des communautés locales peuvent jouer un rôle clé en tant qu'observateurs de l'équipe de relevé pendant l'exécution du relevé. Leur participation peut profiter à l'effort de relevé en raison de leur expérience de vie avec le suivi de la faune, de leur familiarité avec le paysage dans lequel le relevé aérien est entrepris et de leur connaissance locale de l'endroit où le caribou peut se trouver.
- Les membres des communautés locales peuvent fournir des connaissances sur la répartition/l'occupation passées et présentes du caribou; les membres de ces communautés peuvent éclairer la conception du relevé en partageant leurs connaissances locales, telles que l'identification de domaines d'intérêt spécifiques afin que l'effort de relevé puisse être réparti de manière appropriée (Couturier et al., 2018)

Potentiel d'application conjointe du savoir autochtone

Veuillez noter que toute application du savoir autochtone doit être menée de façon transparente et conforme à l'accord de tous les intervenants; elle doit servir les communautés locales d'où proviennent les renseignements et respecter la gouvernance et la souveraineté des données autochtones locales.

- Planification
 - Le savoir autochtone peut être utilisé pour délimiter les zones de relevé en l'absence d'autres données sur la répartition du caribou, ou pour compléter les connaissances générales sur la répartition du caribou dans les zones où les données sont insuffisantes, ou encore pour vérifier les connaissances sur la répartition historique du caribou (comme cela a été décrit pour le caribou de la toundra dans Campbell et al. 2015).
- Collecte de données
 - Les membres des communautés peuvent participer à des vols de reconnaissance pour localiser les animaux pour les déploiements de colliers de télémétrie.
 - Les détenteurs de connaissances autochtones peuvent également participer aux vols. Les observateurs inexpérimentés peuvent influencer le succès du relevé car ils manquent beaucoup plus d'animaux que les observateurs expérimentés (Gasaway et al. 1986). Les pêcheurs locaux ont une vaste expérience du suivi des animaux dans la zone où un relevé est effectué et ont une bonne idée de l'endroit où les caribous sont susceptibles de se trouver.
- Analyse
 - Les auteurs notent que bien qu'aucun exemple n'ait été fourni à ce sujet à ce jour, il n'est pas exclu que le savoir autochtone puisse informer davantage l'analyse des données de télémétrie. Si le lecteur a des renseignements qui pourraient combler cette lacune, il est prié de communiquer avec le secrétariat du CNSCB.

RELEVÉS AÉRIENS



1. Inventaires aériens

- Rapports
 - Les auteurs notent que, bien qu'aucun exemple spécifique n'ait été signalé pour cette section jusqu'à présent, les leçons tirées des programmes de suivi communautaires mettent en évidence une opportunité de collaboration dans la communication et le partage des connaissances des résultats des programmes de suivi. Par exemple, alors que les scientifiques occidentaux pourraient diriger l'élaboration d'articles universitaires ou de publications dans des revues, les membres des communautés locales (notamment les jeunes) pourraient collaborer à l'interprétation des résultats du programme et, par la suite, diriger le partage des connaissances au sein de leurs communautés. Comme l'ont noté Raygorodetsky et Chetkiewicz (2017), ces réalisations sont possibles dans la mesure où les programmes de suivi régionaux sont fondés sur une pratique factuelle multiple.
- Les pilotes de relevé qui sont les plus utiles au projet sont ceux qui ont à la fois des niveaux élevés d'expérience et d'intérêt (BC RIC 2002), ce qui peut entraîner un coût plus élevé.
- Les coûts du travail sur le terrain seront affectés par les salaires du personnel et les déplacements vers le lieu du relevé, les repas, l'hébergement et l'équipement. Sur le plan opérationnel, les coûts de personnel pendant le travail sur le terrain peuvent être réduits au minimum en collaborant au-delà des frontières juridictionnelles et en partageant les ressources (e.g. BC RIC 2002, ASRD 2010).
- Après l'échantillonnage sur le terrain, des étapes analytiques importantes sont nécessaires, pour lesquelles le temps des techniciens doit également être budgétisé.

Coût : \$\$\$

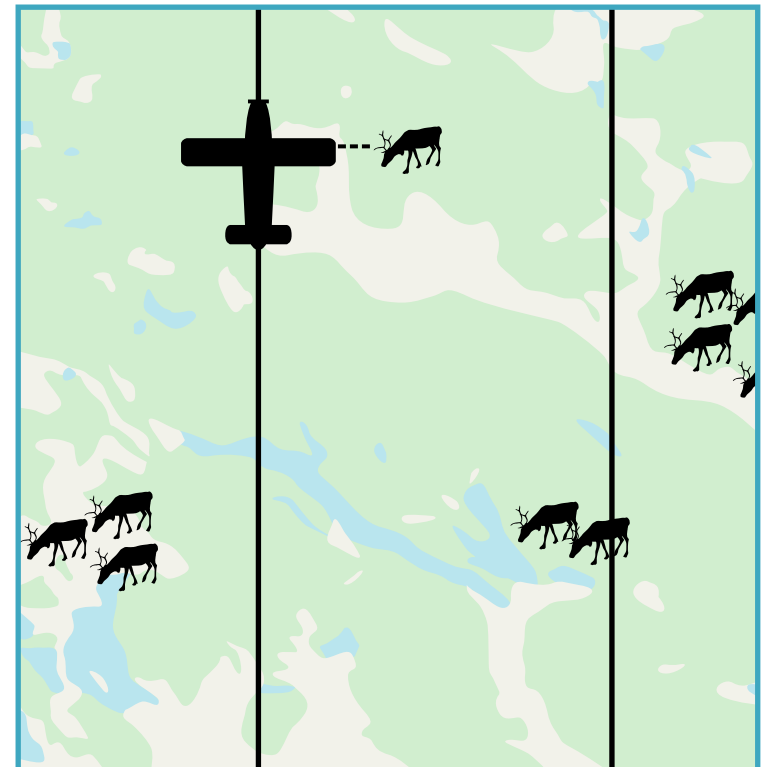
1.3.4 RESSOURCES

Frais d'équipement

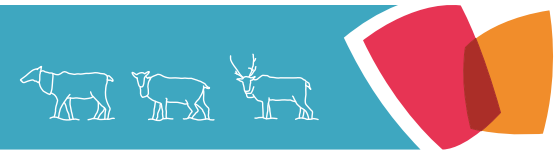
- Les dépenses à prendre en compte dans les programmes de suivi par dénombrement aérien varieront en fonction des éléments suivants : frais d'aéronef, carburant d'aéronef, déploiement de carburant dans des endroits éloignés et étendue de la zone de relevé.
- Les coûts d'un relevé de comptage aérien augmenteront si un vol préalable au relevé est nécessaire pour aider à la stratification (en raison de l'augmentation du temps en vol).

Frais de personnel

- Le coût de la planification du travail sur le terrain sera influencé par le degré d'intégration des détenteurs de connaissances et d'experts locaux dans la conception et l'exécution du relevé. Le personnel peut avoir besoin de se déplacer pour recueillir ces renseignements, et les détenteurs de connaissances doivent être rémunérés pour leurs contributions.



RELEVÉS AÉRIENS



1. Inventaires aériens

Complexité logistique : MODÉRÉE

Compétences requises

- Un relevé d'échantillonnage par dénombrement aérien est rendu plus efficace grâce à une connaissance préalable de l'aire de répartition de la harde et de la répartition saisonnière. Cela peut être obtenu grâce aux connaissances locales ou autochtones de la région, ou grâce à un examen des résultats d'inventaires précédents, des fonctions de sélection de ressources ou des modèles d'occupation.
- Le personnel doit savoir repérer les traces ou les signes de caribou à partir d'un aéronef, mesurer/estimer la distance et classer les animaux (si l'on estime le recrutement). « En plus de la sécurité, maximiser la qualité des données recueillies tout en minimisant simultanément le stress des animaux devrait être le principal objectif de chaque relevé; cela nécessite l'implication de personnel expérimenté dans tous les aspects de la planification et de la réalisation du relevé » (ASRD 2010). En termes simples, la clé est de choisir des observateurs qui ont l'expérience de la recherche de caribous ou de leurs pistes, l'expérience du vol, et qui resteront investis pendant une longue période afin que l'expérience se développe.



Crédit photo : MRNFO

- La conception du relevé et l'analyse des données collectées nécessitent des connaissances en statistiques, en SIG, et parfois la familiarisation avec d'autres logiciels.

Capture/Manipulation : NON

1.3.5 PRÉOCCUPATIONS ÉTHIQUES

Capture/manipulation

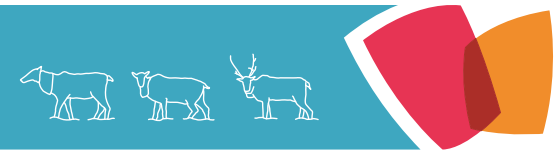
- Les caribous ne sont pas* directement capturés pour les inventaires aériens.

**Comme mentionné dans l'introduction, les études de dénombrement aérien sont souvent combinées avec des études de télémétrie pour tenir compte des problèmes de visibilité, améliorer la précision des données et dériver des estimations de recrutement. Si tel est le cas, les caribous doivent être soumis à une manipulation pour l'installation des colliers de télémétrie.*

Stress potentiel lié au suivi

- Survoler des caribous avec n'importe quel type d'aéronef motorisé pourrait créer des perturbations; « les inventaires aériens doivent être programmés [...] afin de minimiser le stress imposé aux animaux en raison du harcèlement par les aéronefs de relevé » (BC RIC 2002, ASRD 2010). La période de vêlage revêt une importance particulière alors que le stress doit être minimisé à tout prix (Larter et Allaire 2018, Arsenault 2019).
- Il faut établir une altitude de vol qui permette de concilier une perturbation minimale et une visibilité maximale, ce qui est souvent guidé par les protocoles de protection des animaux décrits dans les permis.
- Si les classifications doivent être effectuées à partir de l'aéronef, les limites maximales de temps de chasse doivent être respectées et le personnel doit être au courant des indicateurs de fatigue du caribou. Ceci est souvent guidé par les protocoles de protection des animaux décrits dans les permis. Par exemple, le protocole de relevé de Wood Environmental and Infrastructure Solutions indique « d'abandonner la classification si la poursuite se prolonge au-delà de 2 minutes de course du caribou » (Arsenault 2019).

RELEVÉS AÉRIENS



1. Inventaires aériens

- Les classifications photographiques ont également été utilisées pour réduire le temps de poursuite et peuvent permettre une classification approfondie du caribou après coup (e.g. Couturier *et al.*, 2018).

Empreinte carbone et impact environnemental

- Élevé : Comme pour tous les relevés aériens, une quantité considérable de carburant est consommée pendant le temps de vol. Par exemple, au Labrador, deux aéronefs couramment utilisés sont l'hélicoptère Bell 206 LR

qui consomme 123 L/h

(<https://summithelicopters.ca/fleet/bell-206-lr/>), et l'hélicoptère Astar 350 B2 qui consomme 180 L/h

(<https://www.yhl.ca/astar-as350-b2-helicopter/>), alors que les inventaires typiques sur le gros gibier durent entre 40 et 100 heures de vol.

1.4 EXEMPLES DE MISES EN PRATIQUE

LABRADOR La harde de caribous des monts Torngat appartient à sa propre unité désignable (UD 10) et est présentement désignée en voie de disparition (COSEPAC 2017). Cette petite harde de caribous de montagne se trouve sur un vaste territoire qui s'étend de la péninsule d'Ungava au nord du Labrador et du Québec, de Killiniq au nord à Okak Bay au sud. Des objectifs communs et un intérêt mutuel pour le suivi de cette harde ont rassemblé plusieurs organisations pour former le comité technique du caribou de Torngat, qui comprend deux parcs, deux gouvernements provinciaux et trois gouvernements régionaux, ainsi qu'un conseil de cogestion. Le suivi à l'aide d'inventaires aériens et de classifications visait à répondre aux questions de recherche initiales concernant l'abondance et la démographie de la harde. Le comité a planifié et exécuté les premiers inventaires stratégiques aériens de population et de classification de la harde à l'aide d'un échantillonnage basé sur la distance (Couturier *et al.* 2015). Bien que l'on s'attende à ce que la taille de la population soit relativement faible, on a estimé que cette méthode serait la plus efficace pour cette harde, étant donné la grande superficie et le paysage de toundra ouverte qu'il faudrait étudier. Il y avait peu de renseignements passés qui pouvaient être utilisés pour déterminer la zone de relevé, donc la totalité de l'aire de répartition historique connue du caribou des Torngat a été incluse. Ce plan a été examiné par les membres de la communauté avant chaque relevé pour valider qu'aucune zone importante n'a été exclue de la conception (Couturier *et al.* 2015-2018). Cette méthode a été utilisée en 2014 pour estimer l'abondance et la démographie de la harde, et de nouveau avec des modifications en 2017 pour établir les tendances initiales de la population. Des transects ont été répartis dans cette zone de relevé, dont l'espacement a varié au fil des années de relevé. Plus récemment, il s'agissait de trois kilomètres au nord, où se trouve la plus forte densité de caribous, et de quatre kilomètres le long de la périphérie sud de l'aire de répartition, où l'on s'attend à trouver moins de groupes de caribous. Les inventaires ont été effectués par aéronef pendant trois à quatre semaines de la fin mars au début avril, alors que la durée du jour était suffisante pour effectuer des inventaires dans le nord, et en utilisant des membres d'équipage qualifiés et compétents en matière de détection des caribous et de leurs pistes. En 2014, 269 caribous ont été observés dans 50 groupes et la population a été estimée à 930 caribous (IC à 90 % : 616-1 453) répartis sur 29 390 km² (Couturier *et al.* 2015). En 2017, avec une couverture légèrement accrue de la zone de relevé (30 625 km²), 610 caribous ont été observés dans 58 groupes et la population a été estimée à 1 326 caribous (IC à 90 % : 912-1 986), une augmentation de 13 % de la taille de la population par an entre 2014 et 2017 (Couturier *et al.* 2018). Le recrutement de faons a également augmenté durant cette période, passant de 17,2 % en 2014 à 23,1 en 2017 (Couturier *et al.* 2015-2018). Malgré cette tendance positive de l'abondance du caribou, il est encore trop tôt pour savoir si cette tendance à la hausse de la population s'est poursuivie au cours des dernières années. Avec seulement deux inventaires systématiques effectués sur cette harde, les tendances à long terme sont encore inconnues. Le suivi continu devrait se poursuivre sur un cycle de trois ans afin de développer et de distinguer les tendances significatives.

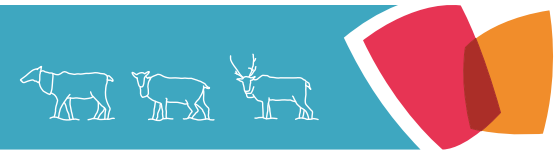


1. Inventaires aériens

ALBERTA Le gouvernement de l'Alberta suit les populations de caribous boréaux des écotypes de montagne Narraway (NAR) et Redrock-Prairie Creek (RPC), qui passent la majorité de leurs hivers à haute altitude dans les Rocheuses canadiennes. Ces hardes ont des aires de répartition dans le centre-ouest de l'Alberta et le centre-est de la Colombie-Britannique. Étant donné que l'on peut trouver ces deux hardes pendant les mois d'hiver dans les montagnes, il est efficace, en termes de temps et de ressources, d'effectuer des inventaires par transects aériens dans ces aires de répartition de caribous afin de recueillir des renseignements tels que des estimations de la densité de la population et de la structure par âge. En outre, afin de maximiser l'investissement en temps de vol des hélicoptères, un dénombrement aérien peut très bien être jumelé à un relevé d'ADN, c'est-à-dire le repérage sur des transects de la présence de caribous (pistes ou animaux) et l'atterrissage à ces sites pour estimer le nombre de caribous et recueillir du matériel fécal pour l'analyse de l'ADN. Les excréments de caribou sont ensuite envoyés à l'un des nombreux laboratoires du pays pour analyse, comme Wildlife Genetics à Nelson, en Colombie-Britannique. Lorsqu'il s'agit d'inventaires sur le caribou, quel que soit l'objectif du vol, le temps de vol est généralement la limite, car les heures et le coût global d'un projet s'additionnent rapidement. Ainsi, l'avantage de faire des transects aériens dans l'aire d'hivernage du caribou pour recueillir des données qui servent à plusieurs objectifs du projet (e.g. des estimations de la population par le biais d'études aériens d'occupation et d'ADN provenant des excréments), augmente l'efficacité tout en améliorant le pouvoir prédictif des deux ensembles de données du projet. En particulier dans les petites hardes de caribous boréaux de montagne comme la NAR et la RPC, plus on peut recueillir de données spécifiques à la population lors d'un relevé aérien, plus il est rapide de se mobiliser par la suite pour élaborer des stratégies de rétablissement du caribou en fonction des dernières tendances.



RELEVÉS AÉRIENS



2. Études aériens d'occupation

2.1 EN UN COUP D'ŒIL

Les études aériens d'occupation sont un type particulier de relevé aérien, le plus approprié pour le suivi lorsque les objectifs sont liés à l'occupation et à l'utilisation de l'habitat. Les études aériens* d'occupation sont utilisés pour collecter les données de présence ou de non-détection ainsi que des variables supplémentaires (e.g. l'habitat) qui peuvent être incluses dans les modèles comme prédicteurs de l'occupation. Pour recueillir ces données, il faut réaliser plusieurs études dans le temps sur chaque site d'étude. Suite à la collecte sur le terrain, les données sont analysées à l'aide de modèles d'occupation, qui sont basés sur la relation entre l'abondance et la proportion de sites occupés dans

l'aire de répartition d'une espèce. À noter que des études aériens d'occupation sont menés sur le terrain et font l'objet de cette section, tandis que les modèles aériens d'occupation utilisent les données de terrain pour déterminer la persistance de la population.

* Les auteurs de ce rapport notent que les études d'occupation peuvent également inclure des variantes non aériennes, où les données d'occupation sont collectées par des méthodes de relevé telles que des caméras de la faune ou le génotypage de l'ADN dans des échantillons fécaux.

2.2 APTITUDE À LA SURVEILLANCE

2.2.1 PARAMÈTRES DE SUIVI DES POPULATIONS DE CARIBOUS

Par renvoi au tableau d'aptitude à la surveillance 1 : Choisir une méthode de suivi qui convient le mieux à vos objectifs

		Répartition			Abondance				Démographie			Santé			
		Répartition/ Occupation	Dispersion/ Mouvement	Utilisation de l'habitat	Densité de la population	Taille de la population	Taille effective de la population	Décompte minimaux	Tendance de la croissance démographique	Survie/Mortalité	Recrutement/ Reproduction	État corporel	Maladies	Autres indicateur de santé	Recherche de nourriture/Nutrition
x	La méthode n'est pas appropriée à l'estimation de ce paramètre														
✓	La méthode permet de collecter des renseignements ou, combinée à d'autres méthodes, de formuler des déductions														
✓✓	La méthode permet de collecter des renseignements considérables et est appropriée à l'estimation														
✓✓✓	La méthode est la plus appropriée ou vise spécifiquement l'estimation de ce paramètre														
Remarque : Le tableau est conçu pour une utilisation combinée à d'autres outils de la trousse de suivi et peut ne pas refléter les particularités associées aux régions lorsqu'utilisé seul.															
Relevés aérien	Inventaires aérien	✓✓✓	x	✓✓✓	✓✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x

**Notez que les paramètres répertoriés ici ne tiennent compte que des principales mesures de la population qui sont explorées en détail dans le tableau comparatif 1 pour établir une norme comparative entre les approches de suivi; des renseignements sur d'autres paramètres de suivi sont détaillés dans la section suivante « Paramètres et renseignements supplémentaires ».

2. Études aériens d'occupation

2.2.2 PARAMÈTRES ET RENSEIGNEMENTS SUPPLÉMENTAIRES QUI PEUVENT ÊTRE SUIVIS (AU-DELÀ DE CEUX ÉNUMÉRÉS DANS LE TABLEAU 1)

- Les études aériens d'occupation conviennent au suivi et à l'évaluation de plusieurs espèces (Poley *et al.* 2014).
- Comme pour la plupart des relevés aériens, les études aériens d'occupation peuvent être utilisés de manière opportuniste pour noter de nouveaux changements dans le paysage, par exemple des perturbations telles qu'un incendie de forêt ou un nouveau sentier de VTT, mais ne seraient pas appropriés pour documenter la superficie totale perturbée.

2.2.3 APPLICATIONS

- Les études aériens d'occupation sont les plus appropriés et les plus bénéfiques pour le suivi à long terme de la persistance des espèces à des échelles grossières (e.g. à l'échelle de l'aire de répartition). Par exemple, de tels études peuvent être particulièrement utiles pour examiner les changements potentiels dans l'aire de répartition et dans les probabilités de persistance associées au changement climatique. Il est à noter que pour pouvoir déduire les changements dans la distribution spatiale d'une harde, il faut effectuer des études aériens d'occupation répétés.
- Peut être utilisé dans des situations où la taille des échantillons est trop petite pour utiliser d'autres formes d'analyse statistique.
- Comme pour la plupart des relevés aériens, les frondaisons au printemps et en été réduisent la visibilité. Ainsi, les études aériens d'occupation sont généralement limités aux mois d'hiver (e.g. Poley *et al.* 2014, Mackenzie et Nichols 2014). Cela dit, DeMars *et al.* (2017) démontrent qu'un « programme d'occupation axé sur l'hiver peut ne pas refléter toute l'étendue de la répartition annuelle du caribou ». Ainsi, les déductions tirées des études d'occupation aérienne doivent être faites à la bonne échelle temporelle.
- La tendance démographique peut être déduite du nombre d'unités occupées; toutefois, il y a un risque que le nombre d'individus dans chaque unité puisse diminuer sans changement connexe du nombre d'unités occupées (et vice versa). Par exemple, McLellan *et al.* (2011) notent que « pour les espèces vivant en groupe, comme le caribou boréal, les déclin

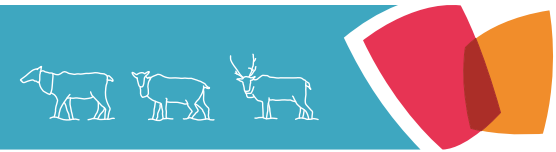


Crédit photo : Laura Finnegan

initiaux de la population peuvent être masqués par la surveillance de l'occupation lorsque le nombre d'individus par groupe diminue alors que le nombre et la distribution des groupes dans le paysage restent relativement constants ». En outre, DeMars *et al.* (2017) soulignent que le suivi des changements d'occupation comme substitut de la taille et de la tendance de la population peut avoir pour conséquence une puissance limitée pour détecter des changements plus petits et à court terme. En somme, l'utilisation des études aériens d'occupation pour déterminer la tendance de la population ne devrait être utilisée que comme une estimation grossière et devrait être corroborée par d'autres méthodes de déduction.

- Les études d'occupation ne suffisent pas si des estimations de l'abondance, du recrutement ou de la survie sont requises (e.g. déduction pour la modélisation démographique).

RELEVÉS AÉRIENS



2. Études aériens d'occupation

2.2.4 AVANTAGES

- Les données de présence ou de non détection obtenues par le biais d'études d'occupation peuvent être utilisées comme une estimation grossière pour identifier les zones d'utilisation potentiellement plus élevée, sur la base d'associations avec des types d'habitats (e.g. MacKenzie et Nichols 2004, DeMars et al. 2017). Par ailleurs, des approches récentes intègrent explicitement la détectabilité et l'autocorrélation spatiale dans les modèles d'occupation (e.g. Poley et al. 2014).
- Les études d'occupation ne nécessitent que la recherche de preuves de la présence d'espèces (e.g. pistes, cratères), ce qui est plus facile et moins coûteux que l'observation directe ou la capture d'animaux. Évidemment, la mise en garde à cette pratique est que les pistes doivent être identifiées avec précision, ce qui est parfois difficile. (Considérez, par exemple, que dans

certaines régions, les pistes d'orignaux, de chevreuils et de caribous dans la neige partiellement fondue peuvent avoir une forme assez similaire, surtout lorsqu'elles sont observées à partir d'un aéronef (Oswald, 1998).

- Les données peuvent être combinées à partir de plusieurs sources, y compris, par exemple : inventaires aériens, ADN fécal, le savoir traditionnel, le savoir écologique traditionnel et/ou local, et les données provenant de caméras automatiques (e.g. Noon et al. 2012).

2.2.5 INCONVÉNIENTS

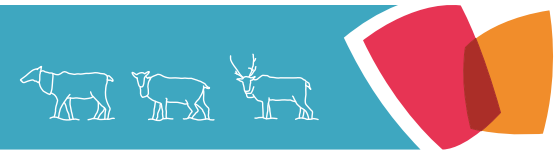
- Pour répondre aux exigences de taille d'échantillon pour la modélisation de l'occupation, les études d'occupation peuvent nécessiter plus de données que les autres modèles de répartition des espèces (SDM).

2.3 CONSIDÉRATIONS ET EXIGENCES

Par renvoi au tableau d'aptitude à la surveillance 2 : Comparaison de l'aptitude à la surveillance et des exigences des méthodes de suivi

Échelle Spatiale			Échelle spatiale		Besoins en matière de données **		Implication de la communauté		Ressources			Considérations éthiques		
✓	La méthode permet de collecter des informations à cette échelle spatiale		Local/zone d'étude	Aire régionale	Exigences minimales d'échantillonnage	Capacité d'évaluer l'indice de confiance des données	Possibilités locale	Application conjointe du savoir autochtone	Frais d'équipement	Frais en personnel	Compétences requises	Capture/manipulation	Stress potentiel lié au suivi	Empreinte carbone
✓✓	La méthode est appropriée pour une application à cette échelle spatiale													
✓✓✓	La méthode est la plus appropriée pour une application à cette échelle spatiale													
Application combinée du savoir autochtone : P – Planification D – Collecte de données A – Analyse R – Rapport <i>Remarque : Le Tableau est conçu pour utilisation combinée à d'autres outils de la trousse de suivi et peut ne pas refléter les particularités associées aux régions lorsqu'utilisé seul</i>														
	Relevés aériens	Études d'occupation	✓	✓✓✓	≥ 1 an (≥ 3 échantillons événements/an)	Élevé	Modéré	P, D	Élevé	Modéré / Élevé	Modéré/Élevé	Non	Modéré/Élevé	Élevé

**Deux notes relatives à l'échelle spatiale pour l'imagerie aérienne représentent respectivement les aéronefs pilotés et les aéronefs sans pilote // ** Il ne s'agit que de lignes directrices générales; reportez-vous au texte pour plus de détails sur les exigences d'échantillonnage.



2. Études aériens d'occupation



Crédit photo : MRNFO

2.3.1 ÉCHELLE SPATIALE

- Les relevés basés sur l'occupation sont appropriés pour les inférences sur la distribution grossière, comme à l'échelle de l'aire de répartition ou de la région. (e.g. DeMars et al., 2017).
- Pour le caribou, l'échelle spatiale la plus appropriée pour les études aériens d'occupation serait probablement les aires de répartition définies du caribou (Environnement Canada, 2011).

2.3.2 BESOINS ET CONFIANCE EN MATIÈRE DE DONNÉES

- De multiples relevés dans le temps sont nécessaires sur des sites individuels pour recueillir des données sur la présence non détectée ainsi que des variables prédictives supplémentaires (e.g. l'habitat) qui peuvent être incluses dans les modèles d'occupation.
- La taille de l'échantillon (nombre de relevés répétés et nombre total de sites) dépend de la probabilité de visibilité de l'espèce (voir « Défis associés aux relevés aériens » ci-dessus) et de la complexité du modèle d'occupation (i.e. nombre de covariables) dans lequel les données seront utilisées.
- Les modèles d'occupation produisent des statistiques inférentielles,

notamment des valeurs moyennes et des erreurs standard à partir desquelles des intervalles de confiance peuvent être calculés.

- Afin de déterminer la taille de la population, une estimation de l'abondance par unité doit être disponible.

2.3.3 IMPLICATION DES COMMUNAUTÉS

Possibilité d'implication des communautés locales

- Les membres de la communauté locale peuvent fournir des connaissances sur la répartition et l'occupation passées et présentes du caribou.
- Les membres de la communauté peuvent fournir des renseignements sur les sites de collecte connus (cratères, lèches) et sur les zones où les sources de nourriture préférées peuvent être trouvées (lichen).
- Les membres de la communauté locale peuvent participer en tant qu'observateurs au travail de relevé ou acquérir de l'expérience pour le faire.

Potentiel d'application conjointe du savoir autochtone

Veuillez noter que toute application du savoir autochtone doit être menée de façon transparente et conforme à l'accord de tous les intervenants, elle doit servir les communautés locales d'où proviennent les informations et respecter la gouvernance et la souveraineté des données autochtones locales.

- Planification
 - Le savoir autochtone permet de délimiter la zone de relevé en l'absence d'autres données sur la répartition du caribou, de compléter les connaissances générales sur la répartition du caribou dans les zones où les données sont insuffisantes, et de vérifier les connaissances sur la répartition historique du caribou.
- Collecte de données
 - Les données utilisées dans les études d'occupation peuvent être combinées à partir de plusieurs sources, y compris le savoir traditionnel, ainsi que le savoir écologique traditionnel et/ou local.
 - Les détenteurs de connaissances autochtones peuvent également participer aux vols, s'ils ont la formation nécessaire (voir « compétences requises » ci-dessous). Les observateurs inexpérimentés peuvent influencer le succès du relevé car ils manquent beaucoup plus d'animaux que les observateurs expérimentés (Gasaway et al. 1986). Les pêcheurs locaux



2. Études aériens d'occupation

ont une vaste expérience du suivi des animaux dans la zone où un relevé est effectué et ont une bonne idée de l'endroit où les caribous sont susceptibles de se trouver.

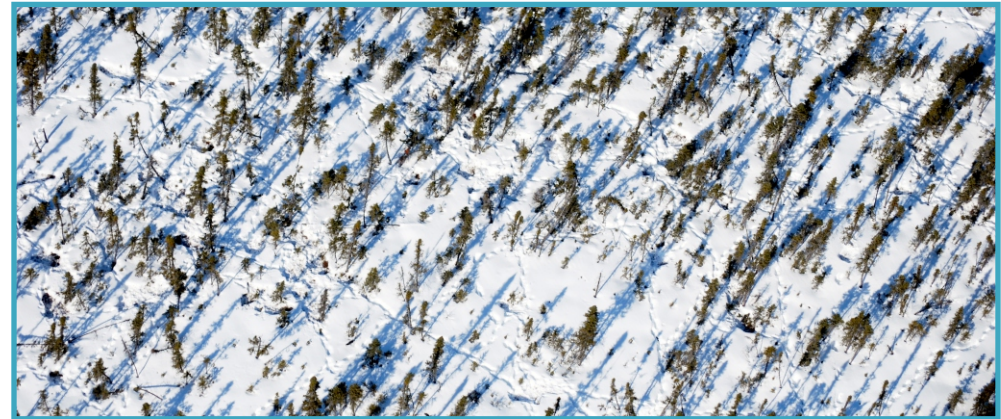
- o Une fois conçue (c'est-à-dire où, quand et comment collecter les données), la collecte des données d'occupation est assez simple. Les membres de la communauté et les partenaires ont certainement un rôle à jouer pour définir la zone d'intérêt et collecter des données.
- Analyse
 - o Les auteurs notent que bien qu'aucun exemple n'ait été fourni à ce sujet à ce jour, il n'est pas exclu que le savoir autochtone puisse informer davantage l'analyse des données de télémétrie. Si le lecteur a des renseignements qui pourraient combler cette lacune, il est prié de communiquer avec le secrétariat du CNSCB.
- Rapports
 - o Les auteurs notent que, bien qu'aucun exemple spécifique n'ait été signalé pour cette section jusqu'à présent, les leçons tirées des programmes de suivi communautaires mettent en évidence une opportunité de collaboration dans la communication et le partage des connaissances des résultats des programmes de suivi. Par exemple, alors que les scientifiques occidentaux pourraient diriger l'élaboration d'articles universitaires ou de publications dans des revues, les membres des communautés locales (notamment les jeunes) pourraient collaborer à l'interprétation des résultats du programme et, par la suite, diriger le partage des connaissances au sein de leurs communautés. Comme l'ont noté Raygorodetsky et Chetkiewicz (2017), ces réalisations sont possibles dans la mesure où les programmes de suivi régionaux sont fondés sur une pratique factuelle multiple.

Coût : \$\$\$

2.3.4 RESSOURCES

Frais d'équipement

- Les dépenses à prendre en compte dans les programmes de suivi aérien de l'occupation varieront en fonction de l'étendue de la zone de relevé



Credit photo : MRNFO

(c'est-à-dire la taille de l'échantillon), ainsi que des exigences en matière de données pour les variables (e.g. l'habitat) utilisées pour l'analyse dans les modèles d'occupation.

- Étant donné que des visites répétées sur les sites sont nécessaires pour estimer le facteur de correction de la visibilité, l'accessibilité est une considération primordiale.

Frais de personnel

- Le coût de la planification du travail sur le terrain sera influencé par le degré d'intégration des détenteurs de connaissances et d'experts locaux dans la conception et l'exécution du relevé. Le personnel peut avoir besoin de se déplacer pour recueillir ces renseignements, et les détenteurs de connaissances doivent être rémunérés pour leurs contributions.
- Les coûts du travail sur le terrain seront affectés par les salaires du personnel et les déplacements vers le lieu du relevé, les repas, l'hébergement et l'équipement.



2. Études aériens d'occupation

Complexité logistique : MODÉRÉE

Compétences requises

- Une étude aérienne d'occupation est rendue plus efficace grâce à une connaissance préalable de l'aire de répartition de la harde et de la répartition saisonnière. Cela peut être obtenu grâce aux connaissances locales ou autochtones de la région, ou grâce à un examen des résultats des études précédentes, des fonctions de sélection des ressources ou des modèles d'occupation.
- Le personnel doit savoir repérer les traces ou les signes de caribou à partir d'un aéronef, mesurer/estimer la distance et classer les animaux (si l'on estime le recrutement). « En plus de la sécurité, maximiser la qualité des données recueillies tout en minimisant simultanément le stress des animaux devrait être le principal objectif de chaque relevé; cela nécessite l'implication de personnel expérimenté dans tous les aspects de la planification et de la réalisation du relevé » (ASRD 2010). En termes simples, la clé est de choisir des observateurs qui ont l'expérience de la recherche de caribous ou de leurs pistes, l'expérience du vol, et qui resteront investis pendant une longue période afin que l'expérience se développe.
- La conception du relevé et l'analyse des données collectées nécessitent des connaissances en statistiques, en SIG, et parfois la familiarisation avec d'autres logiciels.

Capture/Manipulation : NON*

* sauf si le programme combine la télémétrie

2.3.5 PRÉOCCUPATIONS ÉTHIQUES

Capture/manipulation

- Les caribous ne sont pas capturés directement pour les relevés aériens d'occupation.



Stress potentiel lié au suivi

Credit photo : MRNFO

- Bien que les relevés d'occupation n'impliquent aucune manipulation directe des animaux, la méthode nécessite des visites répétées pour estimer la visibilité; cela peut augmenter la probabilité de stress chez l'animal.

Empreinte carbone et impact environnemental

- Élevé : Comme pour tous les relevés aériens, une quantité considérable de carburant est consommée pendant le temps de vol. Par exemple, au Labrador, deux aéronefs couramment utilisés sont l'hélicoptère Bell 206 LR qui consomme 123 L/h (<https://summithelicopters.ca/fleet/bell-206-lr/>), et l'hélicoptère Astar 350 B2 qui consomme 180 L/h (<https://www.yhl.ca/astar-as350-b2-helicopter/>), alors que les relevés sur le gros gibier varient de 40 à 100 heures de vol.

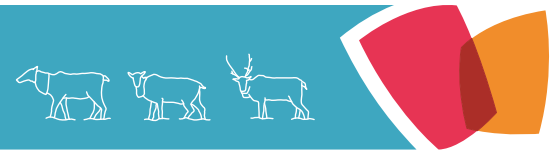


2. Études aériens d'occupation

2.4 EXEMPLE

NORD DE L'ONTARIO Les relevés annuels de la répartition hivernale du caribou boréal dans le nord de l'Ontario fournissent des données pour estimer la probabilité d'occupation et déduire des changements dans la répartition de la population. « Des chercheurs du ministère des Richesses naturelles et des Forêts ont appliqué de nouvelles techniques analytiques aux observations de caribous, d'orignaux et de loups recueillies lors de relevés aériens systématiques qui ont été effectués dans le Grand Nord de l'Ontario et les ont utilisées pour développer des modèles d'occupation pour chaque espèce. Les facteurs ayant les impacts les plus importants sur la détection des animaux variaient selon les espèces et les écozones (i.e. le Bouclier de l'Ontario et les basses terres de la baie d'Hudson). Dans les deux écozones, les caribous étaient plus susceptibles d'être détectés lorsque l'ouverture du terrain était élevée. Dans l'écozone des basses terres de la baie d'Hudson, la détection du caribou était également influencée par la période de l'année et l'heure de la journée. La probabilité de détection était la plus élevée plus tôt en hiver et à la mi-journée (par rapport au début ou à la fin de la journée). Par ailleurs, l'utilisation d'une technique analytique qui tenait explicitement compte du manque d'indépendance spatiale entre les lieux d'échantillonnage a amélioré la précision des modèles d'occupation et l'incertitude associée aux estimations d'occupation. » (MNR, 2014)





3. Imagerie aérienne



Crédit photo : MRNFO

3.1 EN UN COUP D'ŒIL

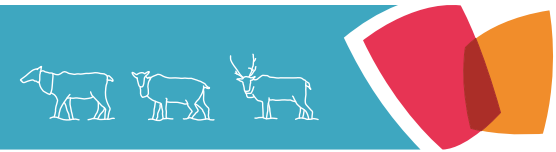
L'imagerie aérienne est une technique de surveillance de la faune basée sur la technologie des caméras. Les caméras peuvent être pilotées à distance (véhicule aérien sans pilote ou UAV), ou être contrôlées par un pilote embarqué. Les images sont collectées à partir de la lumière visible (imagerie RVB) ou de la partie infrarouge (e.g. Radiomètres thermiques à balayage frontal ou FLIR) du spectre électromagnétique. La trajectoire de vol de la ou des caméras couvre la zone de relevé, généralement selon un schéma quadrillé de transects parallèles. Un « champ de vision large » est utilisé pour rechercher le caribou, tandis qu'un « champ de vision étroit » est utilisé pour vérifier l'objet, au besoin (Carr *et al.* 2012, Bernatas 2013). Des enregistrements vidéo (et parfois des images fixes) sont collectés tout au long du vol. Après le vol, les images sont analysées pour donner des renseignements relatifs à une variété de mesures de la population de caribous. Par exemple, les résultats du relevé peuvent être utilisés pour fournir une base de référence sur la densité et la répartition des animaux dans la zone de relevé (Bernatas 2013). Cette méthode de suivi est censée être à la fois efficace en termes de coût et de temps, en particulier pour les projets où une vaste zone géographique doit être étudiée, ou lorsque des évaluations au niveau de la harde sont nécessaires (Carr *et al.* 2012, Gillette *et al.* 2015).

NOTE SUR LE VOCABULAIRE :

Sans pilote : Les caméras pilotées à distance sont désignées dans la littérature comme étant montées sur des véhicules aériens sans pilote (UAV), montées sur des systèmes aériens sans pilote (UAS) ou « drones ». Les drones peuvent être équipés soit de caméras à spectre de lumière visible, soit de capteurs infrarouges, soit des deux. Au Canada, l'utilisation d'UAV relève du Règlement de l'aviation canadien de Transports Canada, où les règlements diffèrent selon le poids de l'appareil, l'équipement attaché et l'usage auquel il est destiné. Une restriction à noter quant à l'utilisation des UAV est l'exigence légale de visibilité directe. Les UAV doivent être pilotés dans une ligne de vision directe de l'opérateur, ce qui signifie que l'utilisation d'UAV dans les programmes de suivi des caribous nécessite la connaissance de l'emplacement de la harde avant le vol d'UAV. Des permis spéciaux sont requis pour faire voler des appareils UAV au-delà de la ligne de vision de l'observateur (e.g. Patterson *et al.* 2016). Aux fins du présent rapport, nous faisons référence aux véhicules aériens sans pilote et aux caméras qui y sont fixées en tant que « véhicules sans pilote ».

Piloté : Les caméras pilotées par un pilote à bord et une équipe d'arpentage peuvent être montées sur des aéronefs à voilure fixe ou à voilure tournante. L'imagerie aérienne recueillie à partir d'un aéronef piloté utilise des technologies telles que les capteurs de Radiomètres thermiques à balayage frontal (FLIR). Ceux-ci sont généralement montés avec un cardan (support pivotant) qui permet d'effectuer des panoramiques verticaux et horizontaux, ce qui constitue un avantage par rapport à l'imagerie infrarouge à visée verticale. Les FLIR produisent des images à partir de la chaleur et non de la lumière visible (FLIR Systems Inc. 2019). L'identification des animaux est parfois difficile à partir de la seule imagerie thermique (e.g. Carr *et al.* 2012), et une caméra ou un capteur capable de détecter la lumière visible ne détectera pas l'énergie thermique (FLIR Systems Inc. 2019). C'est pourquoi les capteurs FLIR sont souvent couplés à une caméra vidéo à couleurs naturelles et à haute résolution spatiale. Aux fins du présent rapport, nous désignons ces aéronefs et leurs caméras par le terme « piloté ».

Imagerie RVB : Le spectre de la lumière visible fait référence à la partie du spectre électromagnétique qui est détectable par l'œil humain, les caméras de vision diurne et certaines caméras de vision nocturne (FLIR Systems Inc. 2019). Cela inclut la lumière blanche et les couleurs telles que le rouge, le vert et le bleu



3. Imagerie aérienne



Crédit photo : MRNFO

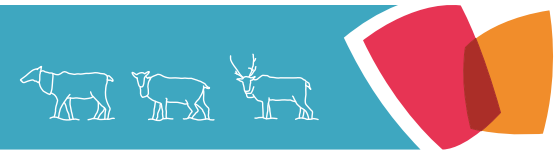
(d'où « RVB »). Sur le spectre électromagnétique, la lumière visible se trouve à la longueur d'onde de $0,4$ à $0,7 \mu\text{m}$ (Figure 2). Les images détectées dans l'œil humain et dans les caméras de vision diurne et nocturne sont basées sur la quantité et l'intensité de la lumière qui peut être détectée (e.g. lumière du soleil, clair de lune, lumière des étoiles, lumière artificielle).

Imagerie infrarouge : L'imagerie infrarouge est différente de la vision le long du spectre de la lumière visible, car l'imagerie infrarouge est tirée de la partie infrarouge (IR) du spectre électromagnétique (et non de la partie de la lumière visible). La partie du spectre électromagnétique qui se réfère à l'énergie infrarouge est comprise entre $0,7$ et $1,0 \mu\text{m}$ de longueur d'onde (Figure 2). Cette énergie est trop faible pour que l'œil humain puisse la voir. Les caméras à éclairage infrarouge (également appelées « caméras de nuit infrarouges ») génèrent leur propre lumière en projetant un faisceau d'énergie proche de l'infrarouge que leur imageur peut voir lorsqu'il est réfléchi par l'objet. (JagerPro2015, FLIR Systems Inc. 2019). En d'autres termes, des capteurs spéciaux sont nécessaires pour pouvoir détecter l'énergie infrarouge. C'est pourquoi on parle de « capteurs infrarouges », et non de « caméras infrarouges ». En termes simples, les images infrarouges sont produites en fonction de la quantité d'énergie infrarouge que les capteurs peuvent détecter.

Imagerie thermique : Les caméras thermiques sont des dispositifs qui « traduisent » la région d'imagerie thermique du spectre infrarouge en lumière visible, afin d'analyser un objet ou une scène particulière. En d'autres termes, ces capteurs traduisent la chaleur (qui est invisible à l'œil humain) en quelque chose de visible pour l'analyse. La « région d'imagerie thermique » du spectre électromagnétique est comprise entre $8,0$ et $15,0 \mu\text{m}$ (Figure 2). Les systèmes FLIR détectent l'énergie thermique dans la plage de $7,5$ à $13,5 \mu\text{m}$ du spectre électromagnétique. Les images produites à partir des FLIR et d'autres caméras thermiques sont appelées thermogrammes et sont analysées par un processus appelé thermographie (Grainger 2018). En termes simples, les caméras thermiques détectent les différences de chaleur et affichent ces différences (selon le type de caméra thermique utilisée) en noir/blanc, fer ou arc-en-ciel (Grainger 2018, FLIR Systems Inc. 2019). Cela permet aux utilisateurs de distinguer les objets chauds (e.g. le caribou) des fonds plus froids (e.g. le sol).



Crédit photo : MRNFO



3. Imagerie aérienne



Crédit photo : MRNFO



Crédit photo : MRNFO

Caméras de vision
- Imagerie passive - Basé sur la lumière visible

0,4 μm « Imagerie RVB » 0,70 μm



Radiomètres thermiques à balayage frontal (FLIR)
- Les capteurs obtiennent une image complètement passive des sujets - Nécessite que les sujets soient d'une température plus élevée que l'arrière-plan - Utilise des capteurs plus complexes que ceux des caméras de vision diurne ou de vision nocturne à infrarouge.

7,5 μm « Imagerie thermique » 13,5 μm

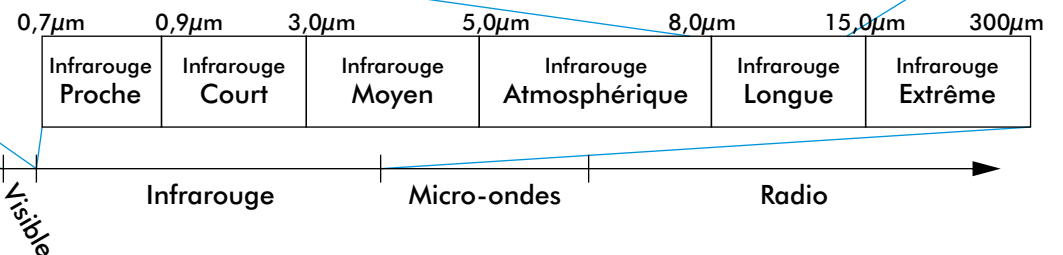
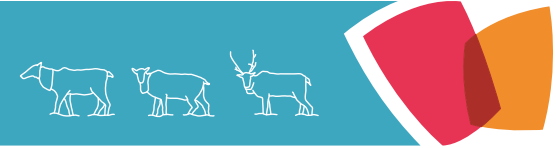


Figure 2 : Là où les caméras de vision diurne et les Radiomètres thermiques à balayage frontal (FLIR) fonctionnent le long du spectre électromagnétique. Les différences dans les propriétés de la lumière visible et de la lumière infrarouge entraînent des différences dans les propriétés de la caméra. Les caméras de vision diurne et les FLIR sont tous deux utilisés pour l'imagerie aérienne du caribou boréal au Canada. Le contenu de la figure est basé sur : NASA 2013, Akhloufi et Bendada 2013, Pinkson 2015, Grainger 2018, FLIR Systems Inc. 2019.

RELEVÉS AÉRIENS



3. Imagerie aérienne

3.2 APTITUDE À LA SURVEILLANCE

3.2.1 PARAMÈTRES DE SUIVI DES POPULATIONS DE CARIBOUS

Par renvoi au tableau d'aptitude à la surveillance 1 : Choisir une méthode de suivi qui convient le mieux à vos objectifs

		Répartition			Abondance				Démographie			Santé			
		Répartition/ Occupation	Dispersion/ Mouvement	Utilisation de l'habitat	Densité de la population	Taille de la population	Taille effective de la population	Décompte minimaux	Tendance de la croissance démographique	Survie/Mortalité	Recrutement/ Reproduction	État corporel	Maladies	Autres indicateur de santé	Recherche de nourriture/Nutrition
x	La méthode n'est pas appropriée à l'estimation de ce paramètre														
✓	La méthode permet de collecter des renseignements ou, combinée à d'autres méthodes, de formuler des déductions														
✓✓	La méthode permet de collecter des renseignements considérables et est appropriée à l'estimation														
✓✓✓	La méthode est la plus appropriée ou vise spécifiquement l'estimation de ce paramètre														
Remarque : Le tableau est conçu pour une utilisation combinée à d'autres outils de la trousse de suivi et peut ne pas refléter les particularités associées aux régions lorsqu'il est utilisé seul.															
Relevés aérien	Imagerie aérienne	✓✓	x	✓✓	✓✓	✓✓	x	✓✓	✓✓	x	✓	x	x	x	x

****Notez que les paramètres répertoriés ici ne tiennent compte que des principales mesures de la population qui sont explorées en détail dans le tableau comparatif 1 pour établir une norme comparative entre les approches de suivi; des renseignements sur d'autres paramètres de suivi sont détaillés dans la section suivante « Paramètres et renseignements supplémentaires ».**

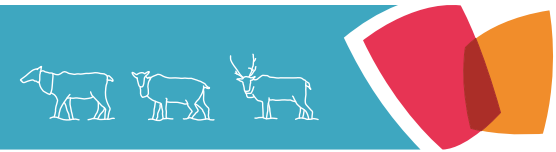
3.2.2 PARAMÈTRES ET RENSEIGNEMENTS SUPPLÉMENTAIRES QUI PEUVENT ÊTRE SUIVIS (AU-DELÀ DE CEUX ÉNUMÉRÉS DANS LE TABLEAU 1)

- Suivi de l'habitat : Les caméras thermiques montées sur UAV ainsi que les images RVB haute résolution peuvent fournir des détails sur les changements au fil du temps.
- Il est possible d'utiliser des drones pour évaluer les changements de végétation dus au changement climatique (Malenovský et al. 2017) et le suivi forestier à long terme à la suite de perturbations humaines (e.g. récolte de bois) et naturelles (e.g. incendie, insecte) à l'échelle locale et/ou régionale (Zhang et al. 2016).
- Les relevés par imagerie aérienne conviennent au suivi et à l'évaluation de plusieurs espèces (e.g. Bernatas 2010, Millette et al. 2011)

- Des approches au niveau du paysage peuvent être utilisées pour noter les schémas de perturbation dans la zone en question (e.g. Riccardo et al. 2017).
- À l'avenir, possibilité de mesurer la température corporelle comme indice de santé (Lavers 2009)

3.2.3 APPLICATIONS

- Comme pour toutes les méthodes de relevés aériens, cette méthode est appropriée pendant les saisons du printemps et de l'automne, lorsque l'accès au sol aux zones de relevés n'est pas possible (boue, neige, propriété privée, manque d'accès routier) ou à un coût prohibitif (Gillette et al. 2015).
- Plus bénéfique dans les régions éloignées où les visites de retour sont coûteuses, surtout si plusieurs espèces sont étudiées.



3. Imagerie aérienne

- L'imagerie aérienne peut étayer les constatations et vérifier les tendances prévues par d'autres programmes de suivi. Par exemple, Gillette *et al.* (2015) ont montré que le dénombrement des leks de tétas à l'aide de l'imagerie thermique aérienne était statistiquement équivalent aux inventaires d'un relevé au sol. D'autre part, Carr *et al.* (2012) ont constaté que l'imagerie FLIR détectait plus de caribous que les autres méthodes de relevé.
- L'imagerie aérienne peut guider de nouveaux programmes de suivi dans des zones où les données de suivi sont rares ou inexistantes. Par exemple, l'imagerie aérienne utilisée pour obtenir une estimation initiale de la taille et de la répartition d'une harde pourrait guider les schémas de stratification des inventaires aériens ultérieurs ou des études d'occupation aériens.

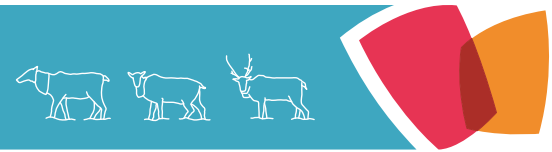


Crédit photo : MRNFO

- L'imagerie thermique n'est pas adaptée à une utilisation où les données sur l'âge*, le sexe* et la santé sont le principal objectif du relevé, en raison du risque de résolution insuffisante des images.
- *Il convient de noter que les séquences thermiques et en mode RVB ont été utilisées en combinaison en Ontario pour la stratification par âge/sexe, bien que la résolution insuffisante des images ne permette pas d'en faire une pratique courante.

3.2.4 AVANTAGES :

- Sans pilote
 - L'UAV a le potentiel de fournir des images avec des résolutions spatiales et temporelles élevées (par rapport aux relevés aériens traditionnels), notamment la distinction des classes d'âge et de sexe de la faune (e.g. Jones *et al.* 2006, Berger 2012, Whitehead *et al.* 2014, Chrétien *et al.* 2016).
 - L'empreinte carbone est réduite (par rapport aux relevés pilotés) car les appareils sont petits, légers et souvent alimentés par batterie.
- Piloté
 - « Bien que les relevés FLIR nécessitent un opérateur de capteur expérimenté et un équipement spécialisé, ils sont généralement moins chers que les relevés aériens conventionnels ». (Carr *et al.* 2012)
 - Il existe un risque réduit pour la sécurité des humains (par rapport aux relevés aériens traditionnels) en raison de la réduction de la fatigue et du mal de l'air de l'observateur, et donc potentiellement d'une réduction de la partialité de l'observateur.
 - Il y a un risque réduit de stress potentiel sur le caribou (par rapport aux relevés aériens traditionnels) parce que les relevés sont généralement effectués à une altitude plus élevée, souvent avec des aéronefs à voilure fixe, et passent moins de temps directement au-dessus des animaux.
- Imagerie aérienne en général
 - Les images RVB et thermiques peuvent fournir des données visuelles concrètes pour un examen et une évaluation ultérieurs. Ce relevé numérique peut être examiné en avant, en arrière et image par image à la vitesse préférée de l'observateur.
 - Les images RVB et thermiques peuvent aider à déterminer les sources de problèmes de visibilité. Par exemple, un examen des séquences FLIR par Bernatas (2013) a mis en évidence une surprise : la « lueur » du débournement des arbres à feuilles caduques a rendu la lueur des cerfs de Virginie au sol moins évidente.



3. Imagerie aérienne

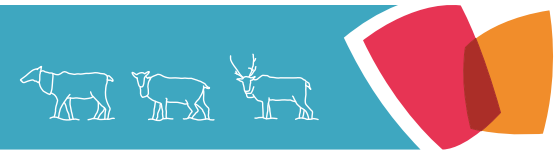
- Images RVB
 - Avec les images RVB, les animaux aux couleurs très contrastées sont facilement comptés, mais il y a des limites pour les espèces plus cryptiques (Chrétien *et al.* 2016). Par exemple, la possibilité d'utiliser des UAV avec des caméras RVB pour suivre le caribou a été testée au Labrador en utilisant des panneaux de contreplaqué comme cibles de substitution, ce qui a permis d'obtenir un taux de détection global de 77,5 % et d'élucider l'importance du type d'habitat comme facteur important de la détectabilité (Patterson *et al.* 2016).
- Images thermiques
 - Les images thermiques conduisent à des taux de détection plus précis, par rapport aux relevés aériens traditionnels (e.g. Bernatas 2013, Gillette *et al.* 2015)
 - Concernant les horaires saisonniers : « La fenêtre d'opportunité pour les relevés FLIR est plus large que pour les relevés aériens qui nécessitent des conditions d'enneigement appropriées en hiver; une considération importante dans une période de changement climatique qui peut produire des hivers courts et doux avec moins de neige. » (Carr *et al.* 2012)
 - L'imagerie thermique gagne en popularité en tant qu'outil de suivi, car elle ne nécessite pas la capture et la manipulation d'individus (e.g. Carr *et al.* 2012).
- Les limitations météorologiques et de température créent des périodes de restriction (les drones ne peuvent pas voler à des températures en dessous de -10 °C).
- Les UAV ne peuvent couvrir qu'une zone relativement petite au cours d'une journée donnée par rapport aux aéronefs pilotés.
- Piloté
 - Comme pour toutes les opérations d'aéronefs pilotés, les vols peuvent être bruyants, ce qui entraîne un stress potentiel pour le caribou (Patterson *et al.* 2016).
- Imagerie aérienne générale
 - Coût de démarrage élevé de l'équipement (caméra ou capteur), de l'aéronef et de l'opérateur qualifié.
- Images RVB
 - La couverture végétale empêche la détection des animaux.
- Images thermiques
 - Il n'est pas possible de déterminer le sexe de l'animal, sauf si l'appareil FLIR est couplé à une caméra couleur naturelle à haute résolution spatiale.

3.2.5 DÉSAVANTAGES

- Sans pilote
 - Les effets des UAV sur le comportement et la physiologie des caribous doivent être évalués (Ditmer *et al.* 2015).
 - L'aire de rassemblement convenant au lancement et à la récupération des UAV doit être relativement proche de la harde, car les UAV nécessitent une ligne de vision directe en tout temps.
 - La connaissance de l'emplacement approximatif d'une harde de caribous est requise avant d'effectuer le relevé, à moins qu'un « permis hors ligne de vision » ne soit acquis auprès de Transports Canada.
 - Le temps de vol est limité par la capacité de la batterie (capacité de carburant si un UAV plus grand est utilisé). Les drones les plus couramment utilisés ont une autonomie de 20 à 30 minutes.



RELEVÉS AÉRIENS



3. Imagerie aérienne

3.3 CONSIDÉRATIONS ET EXIGENCES

Par renvoi au tableau d'aptitude à la surveillance 2 : comparaison de l'aptitude à la surveillance et des exigences des méthodes de suivi

Échelle Spatiale			Échelle spatiale		Besoins en matière de données **		Implication de la communauté		Ressources			Considérations éthiques									
✓	La méthode permet de collecter des informations à cette échelle spatiale		Local/zone d'étude	Aire régionale	Exigences minimales d'échantillonnage	Capacité à évaluer l'indice de confiance des données	Possibilités locale	Application conjointe du savoir autochtone	Frais d'équipement	Frais de personnel	Compétences requises	Capture/manipulation	Stress potentiel lié au suivi	Empreinte carbone							
✓✓	La méthode est appropriée pour une application à cette échelle spatiale																				
✓✓✓	La méthode est la plus appropriée pour une application à cette échelle spatiale																				
Application combinée du savoir autochtone :																					
P – Planification D – Collecte de données A – Analyse R – Rapport																					
Remarque : Le Tableau est conçu pour utilisation combinée à d'autres outils de la trousse de suivi et peut ne pas refléter les particularités associées aux régions lorsqu'utilisé seul																					
	Relevés aériens	Imagerie aérienne *	✓, ✓✓	✓✓✓, ✓✓✓	Taille de la population ≥1 an/≥ Tendance sur 2 ans (≥ 2 échantillons/an)	Faible/Modéré	Modéré/Élevé	P, D	Modéré/Élevé	Modéré/Élevé	Modéré/Élevé	Non	Faible/Modéré	Modéré/Élevé							

* Deux notes relatives à l'échelle spatiale pour l'imagerie aérienne représentent respectivement les aéronefs pilotés et les aéronefs sans pilote // ** Il ne s'agit que de lignes directrices générales; reportez-vous au texte pour plus de détails sur les exigences d'échantillonnage.

3.3.1 ÉCHELLE SPATIALE

- L'imagerie aérienne est plus efficace lorsqu'elle est effectuée à une échelle grossière ou lorsqu'elle est utilisée pour des évaluations au niveau de la harde.
- Relativement les uns aux autres, les relevés d'imagerie aérienne sans pilote sont plus appropriés pour les études menées à des échelles spatiales plus fines, tandis que les relevés avec pilote sont plus appropriés pour des échelles spatiales grossières.
- Avec l'une ou l'autre méthode de relevé par caméra, les photos peuvent être alignées dans l'espace de manière à fournir de bonnes données sur une zone plus large.

3.3.2 BESOINS EN DONNÉES ET CONFIANCE

- Nécessite deux années ou plus de données pour éclairer la tendance de la population à partir des estimations d'abondance.
- Comme pour tous les relevés aériens, des corrections doivent être apportées pour les erreurs de visibilité. Cela peut se faire, par exemple, par le calcul d'une fonction de détection, si l'imagerie aérienne a été combinée avec des méthodes d'échantillonnage à distance. On peut également utiliser des protocoles de marquage-recapture si des individus marqués (e.g. avec des colliers émetteurs) se trouvent dans la zone du relevé, comme indiqué dans l'introduction du chapitre.



3. Imagerie aérienne

3.3.3 IMPLICATION DES COMMUNAUTÉS

Possibilité d'implication des communautés locales

- Pourrait certainement impliquer tous les membres ou partenaires de la communauté qui connaissent les zones où les caribous passent du temps.

Potentiel d'application conjointe du savoir autochtone

Veillez noter que toute application du savoir autochtone doit être menée de façon transparente et conforme à l'accord de tous les intervenants, elle doit servir les communautés locales d'où proviennent les informations et respecter la gouvernance et la souveraineté des données autochtones locales.

- Planification
 - Le savoir autochtone permet de délimiter de la zone d'étude en l'absence d'autres données sur la répartition du caribou, de compléter les connaissances générales sur la répartition du caribou dans les zones où les données sont insuffisantes, et de vérifier les connaissances sur la répartition historique du caribou.
- Collecte de données
 - Les auteurs notent que bien qu'aucun exemple n'ait été fourni pour cette section à ce jour, il n'est pas exclu que le savoir autochtone puisse informer davantage l'analyse des données de télémétrie. Si le lecteur a des renseignements qui pourraient combler cette lacune, il est prié de communiquer avec le secrétariat du CNSCB.
- Analyse
 - Les auteurs notent que, bien qu'aucun exemple n'ait été fourni pour cette section à ce jour, il est possible d'en apprendre davantage sur la façon dont le savoir autochtone peut éclairer l'analyse des données d'imagerie aérienne. Si le lecteur a des renseignements qui pourraient combler cette lacune, il est prié de communiquer avec le secrétariat du CNSCB.

- Rapports
 - Les auteurs notent que bien qu'aucun exemple spécifique n'ait été fourni pour cette section à ce jour, l'expérience acquise dans le cadre de programmes de suivi régionaux met en évidence les avantages d'une entraide mutuelle, tant dans l'élaboration des rapports de suivi que dans le partage des savoirs et des résultats de suivi. Par exemple, alors que les scientifiques occidentaux pourraient diriger l'élaboration d'articles universitaires ou de publications dans des revues, les membres des communautés locales (notamment les jeunes) pourraient collaborer à l'interprétation des résultats du programme et, par la suite, diriger le partage des connaissances au sein de leurs communautés. Comme l'ont noté Raygorodetsky et Chetkiewicz (2017), ces réalisations sont possibles dans la mesure où les programmes de suivi régionaux sont fondés sur une pratique factuelle multiple.





3. Imagerie aérienne

Coût : \$\$

3.3.4 RESSOURCES

Frais d'équipement

- Les dépenses à prendre en compte dans les programmes de suivi par imagerie aérienne varieront en fonction : des vols pilotés ou sans pilote, du type d'imagerie (RVB ou thermique), ainsi que de la durée et du lieu de l'étude.
- Les dépenses typiques des vols de relevé sans pilote comprennent l'appareil UAV lui-même, l'équipement de recharge de l'UAV, ainsi que le transport du personnel et l'hébergement sur le site de relevé potentiellement éloigné.
- Les dépenses typiques des vols de relevé pilotés comprennent : l'aéronef (les prix varieront selon que l'aéronef est à voilure fixe ou à voilure tournante, ainsi que la durée d'utilisation de l'aéronef);
- Les coûts d'imagerie RVB et thermique sont très variables et dépendent de la qualité de l'imagerie.

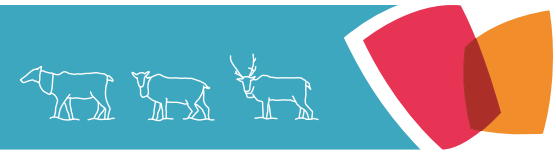
Frais de personnel

- Le coût de la planification du travail sur le terrain sera affecté par le degré d'intégration des détenteurs de connaissances et d'experts locaux dans la conception et l'exécution du relevé. Le personnel peut avoir besoin de se déplacer pour recueillir ces renseignements, et les détenteurs de connaissances doivent être rémunérés pour leurs contributions.
- Le personnel aurait besoin d'une formation en thermographie et de capacités de stockage de données et de traitement informatique appropriées pour gérer à la fois le flux vidéo RVB haute résolution et le flux vidéo de la caméra thermique.
- Le travail de relevé sur le terrain nécessite un minimum de deux personnes; pilote et opérateur du système.
- Les coûts du travail sur le terrain seront affectés par les salaires du personnel et les déplacements vers le lieu du relevé, les repas, l'hébergement et l'équipement.



Crédit photo : Division de la faune de T.-N.-L.

- L'investissement en temps pour l'analyse de la vidéo enregistrée à la suite du relevé est considérable (examen d'environ 2 heures pour chaque heure enregistrée). Cette exigence de temps peut être réduite à l'avenir grâce à des algorithmes d'apprentissage automatique en cours de développement pour une utilisation avec des relevés aériens et des pièges photographiques (Schneider et al. 2019, Torney et al. 2019, Willi et al. 2019).



3. Imagerie aérienne

Complexité logistique : MODÉRÉE

Compétences requises

- Formation de pilote d'UAV (temps de vol, formation au sol et cours de base en thermographie).
- La conception et l'analyse de l'échantillonnage sont simples et similaires à la planification des relevés aériens typiques.
- Le travail sur le terrain nécessiterait de la main-d'œuvre pour déplacer l'équipement (à l'aide de véhicules amphibies ou tout-terrain).
- L'opérateur du système a besoin d'une formation spécialisée pour utiliser l'équipement et identifier la faune, notamment l'âge et le sexe si possible.



Capture/Manipulation : NON*

* sauf si le programme combine la télémétrie

3.3.5 PRÉOCCUPATIONS ÉTHIQUES

Capture/manipulation

- Les caribous ne sont pas capturés ou manipulés dans les programmes de suivi par imagerie aérienne.

Stress potentiel lié au suivi

- Les drones sont alimentés par batterie et donc moins perturbateurs que les relevés basés sur FLIR.
- Le niveau de stress que les aéronefs d'imagerie aérienne causent aux caribous doit être étudié. On s'accorde à dire que les aéronefs sans pilote sont moins bruyants que les aéronefs pilotés, en raison de la taille plus petite des aéronefs. Toutefois, on ne sait pas quel « niveau » de bruit est acceptable, en termes de risque de déranger les caribous.

Empreinte carbone et impact environnemental

- Sans pilote : Faible
- Piloté : Modéré Le temps nécessaire pour effectuer un relevé FLIR est généralement inférieur (80 %) à celui d'un relevé aérien standard, car on passe moins de temps à encercler les individus pour confirmer une observation et pour identifier l'âge/le sexe.



3. Imagerie aérienne

3.4 EXEMPLE

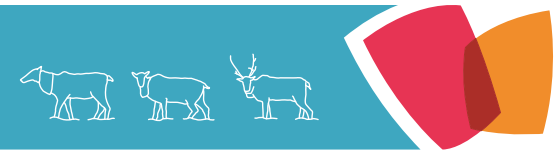
ÎLES SLATE, LAC SUPÉRIEUR, ONTARIO Le caribou des bois boréal des îles Slate, dans le nord du lac Supérieur, en Ontario, est le plus au sud du Canada, sa population atteignant jusqu'à 600 individus entre 1975 et 1997 (Bergerud *et al.* 2007, Rangifer). Une étude pilote a été entreprise en janvier 2009 pour évaluer la faisabilité d'utiliser l'imagerie infrarouge prospective (FLIR) pour obtenir une estimation actualisée de la population. Les îles Slate se sont avérées un cadre idéal pour tester la technologie FLIR car elles représentent un système essentiellement fermé et manquent d'autres ongulés (orignal, cerf) qui pourraient être confondus avec le caribou dans les images aériennes. Les résultats du relevé FLIR ont ensuite été comparés à trois autres méthodes d'estimation de la population (Carr *et al.* 2012, Rangifer). Le relevé FLIR des îles Slate a été effectué par Vision Air Research Inc. (Boise, Idaho) les 29 et 30 janvier 2009. Un cardan PolyTech Kelvin 350 II (Eskilstuna, Suède), qui comprenait un capteur infrarouge haute résolution Agema Thermovision 1000 (FLIR Systems, Inc., Wilsonville, Oregon) avec une plage spectrale de 8 à 12 microns et une caméra vidéo Sony (Sony Corporation, Minato, Tokyo, Japon), monté sous l'aile gauche d'un Cessna 206 « Stationair » a été utilisé pour le relevé. Les vols de relevé ont eu lieu entre 1000 et 1400 heures le long de transects orientés nord-est-sud-ouest, parallèlement au terrain dominant. Les transects étaient espacés de 200 m pour donner une couverture complète de la zone et ont été survolés à une altitude de 305 m (1 000 pieds) au-dessus du niveau du sol du point le plus élevé le long de chaque transect et du transect adjacent. L'opérateur du capteur a effectué un balayage latéral pour permettre des champs de vision multiples et un chevauchement avec les transects adjacents. Les animaux ont d'abord été aperçus à l'aide du capteur infrarouge et vérifiés à l'aide d'images vidéo en temps réel. Des images ont été enregistrées le long de tous les transects. À la suite du relevé, tous les enregistrements vidéo ont été examinés image par image pour confirmer les observations et les emplacements des caribous et pour vérifier le nombre d'individus qui auraient pu se trouver en groupes. Les distances perpendiculaires entre les emplacements des caribous et les lignes de transect ont été déterminées dans ArcGIS (ESRI, Redlands CA). Une estimation de la taille de la population de caribous et des intervalles de confiance connexes a ensuite été calculée à l'aide du logiciel Distance 6.0 version 2 (Thomas *et al.* 2010, Journal of Applied Ecology). Le relevé FLIR a fourni une estimation de la population comparable à d'autres méthodes d'estimation de la population, mais avec des intervalles de confiance plus étroits que deux méthodes. Toutefois, le taux de détection dans le relevé FLIR n'était que de 60 %, probablement en raison de l'obstruction du couvert de conifères, et il est recommandé de le combiner avec d'autres techniques telles que l'échantillonnage génétique pour une plus grande précision. Il convient de noter que des progrès considérables ont été réalisés dans la technologie FLIR depuis l'époque de l'étude pilote, notamment le déploiement sur des systèmes aériens sans pilote (UAS) (Beaver *et al.* 2020, Wildlife Society Bulletin).



BIBLIOGRAPHIE

- Akhloufi, MA, & Bendada, A. (2013). Fusion d'images infrarouges actives et passives pour la reconnaissance faciale. Dans *Thermosense : Thermal Infrared Applications XXXV* (Vol. 8705, p. 87050B). International Society for Optics and Photonics. <https://doi.org/10.1117/12.2017942>
- Alberta Sustainable Resource Development (ASRD). (2010). Aerial Ungulate Survey Protocol Manual.
- Arsenault, A. (2019). Protocole de relevé : Woodland Caribou Herd Classification and Species Distribution. Wood Environment and Infrastructure Solutions.
- Berger, J. (2012). Estimation des traits de taille corporelle par photogrammétrie chez les grands mammifères pour éclairer la conservation. *Conservation Biology* 26, 769–777.
- Bergerud, A. T. (1963). Recensement aérien hivernal des caribous. *Journal of Wildlife Management* 27, 438–449.
- Bernatas, S. (2010). Relevé aérien des orignaux, des loups et des caribous dans l'unité de gestion de la faune 19 à l'aide de Radiomètres thermiques à balayage frontal (FLIR). Rapport inédit. Soumis au ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario, mars 2010. 8 p.
- Bernatas, S. (2013). Aerial Thermal Infrared Imaging White-tailed Deer Count Mount Lebanon, Pennsylvania. Soumis à la municipalité de Mt. Lebanon PA, en avril 2013. 6 p.
- Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L., Borchers, D. L., & Thomas, L. (2001). Introduction to distance sampling : estimating abundance of biological populations. Oxford University Press, Oxford, Royaume-Uni.
- Buckland S.T., Rexstad E.A., Marques T.A., Oedekoven C.S. (2015) Fonctions de détection de modélisation. Dans : Échantillonnage à distance : Méthodes et applications. Méthodes en écologie statistique. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19219-2_5
- British Columbia Resources Inventory Committee (BC RIC). (2002). Aerial-based Inventory Methods for Selected Ungulates: Bison, Mountain Goat, Mountain Sheep, Moose, Elk, Deer and Caribou. ISBN : 0-7726-4704-6
- Campbell, M., Goorts, J., Lee, DS, Boulanger, J. et Pretzlaw, T. (2015). Aerial Aerial Abundance Estimates, Seasonal Range Use, and Spatial Affiliations of the Barren-Ground Caribou (*Rangifer tarandus groenlandicus*) on Baffin Island – Mars 2014. Ministère de l'Environnement du gouvernement du Nunavut. Série de rapports techniques – no : 01-2015
- Carr, N. L., Rodgers, A. R., Hettinga, P. N., Thompson, L. M., Kingston, S. R., Janusz- Renton, J. L. et Wilson, P. J. (2012). Relevés comparatifs des populations de caribous des bois dans le parc provincial des Îles Slate, Ontario. Numéro spécial Rangifer n° 20 : 205-217.
- Chabot, D., et Bird, D. M. (2012). Évaluation d'un système aérien sans pilote disponible sur le marché pour faire des relevés des volées d'oies. *Waterbirds* 35, 170–174.
- Chrétien, L.-P., Théau, J., et Ménard, P. (2016). Télédétection infrarouge visible et thermique pour la détection du cerf de Virginie à l'aide d'un système aérien sans pilote. *Wildlife Society Bulletin* 40, 181–191. <https://doi.org/10.1002/wsb.629>
- COSEPAC (2017). Évaluation et rapport de situation du COSEPAC sur le caribou Rangifer tarandus, population migratrice de l'Est et population des monts Torngat, au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. xvii + 68 p.
- Courtois, R., Gingras A., Dussault, C., Breton, L., et Ouellet, J-P. (2003). Une technique de relevé aérien pour l'écotype forestier du caribou des bois, *Rangifer tarandus caribou*. *Canadian Field-Naturalist* 117, 546-554.
- Couturier, S., Dale, A., Mitchell Foley, J., Snook, J. et Wood, B. (2015). Premières données scientifiques sur la taille et la dynamique des populations de la harde de caribous des Monts Torngat. Torngat Wildlife, Plants and Fisheries Secretariat Series (Secrétariat Torngat de la faune, de la flore et des pêches) 2015/43 + 9 p. DOI : [10.13140/RG.2.1.3213.1043](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3213.1043)
- Couturier, S., Dale, A., Wood, B. et Snook, J. (2018). Résultats d'un relevé aérien du printemps 2017 de la harde de caribous des monts Torngat. Rapport technique. Secrétariat Torngat de la faune, de la flore et des pêches. 2018/40 + 10 p
- DeMars, C., Boulanger, J., et Serrouya, R. (2017). A literature review for monitoring rare and elusive species, and recommendations on survey design for monitoring boreal caribou (*Étude documentaire sur le suivi des espèces rares et insaisissables, et recommandations sur la conception des relevés pour le suivi du caribou boréal*) Rapport technique. Caribou Monitoring Unit, Alberta Biodiversity Monitoring Institute.
- Ditmer, MA, Vincent, JB, Werden, LK, Tanner, JC, Laske, TG, Iazzo, PA, Garshelis, DL et Fieberg, JR (2015). Les ours manifestent une réponse comportementale physiologique mais limitée aux véhicules aériens sans pilote. *Current Biology* 25, 2278–2283.
- Environnement Canada. (2011). Évaluation scientifique aux fins de la désignation de l'habitat essentiel de la population boréale du Caribou des bois (*rangifer tarandus caribou*) au Canada : Mise à jour 2011.
- FLIR Systems Inc. (2019). Quelle est la différence entre l'imagerie thermique et la vision nocturne? Consulté en ligne le 11 mars 2020 sur <https://www.flir.ca/discover/ots/thermal-vs-night-vision/>
- Gasaway WC, DuBois, SD, Reed, DJ et Harbo, SJ (1986). Estimating moose population parameters from aerial surveys (*Estimation des paramètres de la population d'orignaux à partir d'inventaires aériens*). *Biological Papers of the University of Alaska* 22, 1-108.
- Gauthier DA, et JB Théberge. (1985). Population characteristics of the Burwash caribou herd in southwestern Yukon estimated by capture-recapture analysis (*Caractéristiques de la population de la harde de caribous de Burwash dans le sud-ouest du Yukon estimées par analyse de capture-recapture*). *Canadian Journal of Zoology*, 63:516-523.
- Gillette, G.L., Reese, K.P., Connelly, J.W., Colt, C.J. et Knetter, J.M. (2015). Evaluating the potential of aerial infrared as a lek count method for prairie grouse (*Évaluation du potentiel de l'infrarouge aérien comme méthode de dénombrement des lek pour le tétras des prairies*). *Journal of Fish and Wildlife Management* 6, 486–497. e1944-687X. doi : <https://dx.doi.org/10.3996/022015-JFWM-008>
- Glass R., Forsyth, D.M., Coulson, G., et Festa-Bianchet, M. (2016). Precision, accuracy and bias of walked line-transect distance sampling to estimate eastern grey kangaroo population size (*Précision, exactitude et biais de l'échantillonnage de la distance parcourue entre les lignes et les transects pour estimer la taille de la population de kangourous gris de l'Est*). *Wildlife Society Bulletin* 42, 633-641.

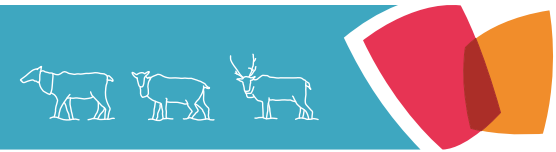
AERIAL SURVEYS



REFERENCES

- Granger. (2018). Thermal Imaging Cameras Explained. Quick Tips #345. Consulté en ligne le 11 mars 2020 sur <https://www.grainger.com/content/qt-thermal-les-applications-d'imagerie-utilisent-les-fonctionnalités-345>
- Ireland, A. W., Palandro, D.A., Garas, V. Y., Woods, R.W., Davi, R.A., Butler, J. D., Gibbens, D.M., et Gibbens, J. S. Jr. (2019). Testing unmanned aerial systems for monitoring wildlife at night (*Essais de systèmes aériens sans pilote pour le suivi nocturne de la faune*). Wildlife Society Bulletin 43, 182–190.
- Jones G. P. IV, Pearlstine, L. G., et Percival, H. F. (2006). An assessment of small unmanned aerial vehicles for wildlife research (*Évaluation des petits véhicules aériens sans pilote pour la recherche sur la faune*). Wildlife Society Bulletin 34, 750–758.
- Larter, N.C., et Allaire, D.G. (2018). Dencho boreal Caribou Study Progress Report. Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest.
- Lavers, C. R. (2009). What Heat Can Reveal- using thermal imagery for wildlife research (*Ce que la chaleur peut révéler – utilisation de l'imagerie thermique pour la recherche sur la faune*). The Wildlife Professional Winter 2009, 66-68.
- MacKenzie, D. I. et Nichols, J. D. (2014). Occupancy as a surrogate for abundance estimation (*L'occupation comme substitut pour l'estimation de l'abondance*). Animal Biodiversity and Conservation 27, 461-467.
- Malenovsky, Z., Lucieer, A., King, D. H., Turnbull, J. D., et Robinson, S.A. (2017). Unmanned aircraft system advances health mapping of fragile polar vegetation (*Un système aérien sans pilote fait progresser la cartographie de la santé de la végétation polaire fragile*). Methods in Ecology and Evolution 8, 1842–1857. DOI : [10,1111/2041-210X.12833](https://doi.org/10.1111/2041-210X.12833)
- Miller, D. L., Rexstad, E., Thomas, L., Marshall, L., et Laake, J. L. (2019). Distance sampling in R. Journal of Statistical Science. 89, 1-28. DOI : [10,18637/jss.v089.i01](https://doi.org/10.18637/jss.v089.i01)
- Millette, T. L., Slaymaker, D., Marcano, E., Alexander, C., et Richardson, L. (2011). AIMS-thermal – a thermal and high resolution color camera system integrated with GIS for aerial moose and deer census in northeastern Vermont (*un système de caméra couleur thermique et haute résolution intégré au SIG pour le recensement aérien des orignaux et des cerfs dans le nord-est du Vermont*). Alces 47, 27–37.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Gouvernement du Québec (MFFP). (2019). Inventaire aérien du caribou forestier (*Caribou Rangifer tarandus*) au cours de l'hiver 2019 dans le secteur de la Basse Côte-Nord. ISBN : 978-2-550 – 85343-5
- Ministère des Richesses naturelles et des Forêts (MRNF). 2014. State of the Woodland Caribou Resource Report. Species at Risk Branch, Thunder Bay, Ontario. + 156 pp.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2013). Imagine the universe: spectra and what they can tell us. Consulté en ligne le 12 mars 2020 sur <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/spectra1.html>
- Consortium national du savoir sur le caribou boréal (CNSCB) (2019). Suivi du Caribou Boréal au Canada Partie I : Perspectives du groupe de travail sur le suivi du CNSCB. Consortium national du savoir sur le caribou boréal, Ottawa, Canada 43 pages.
- Oswald, K. (1998). Moose Aerial Observation Manual (*Manuel d'observation aérienne de l'orignal*). Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Northeast Science & Technology, 95 p.
- Patterson, C., Koski, W., Pace, P., McLuckie, B., et Bird, D.M. (2016). Evaluation of an unmanned aircraft system for detecting surrogate caribou targets in Labrador (*Évaluation d'un système aérien sans pilote pour la détection de caribous cibles de substitution au Labrador*). Journal of Unmanned Vehicle Systems 4, 53-69.
- Pinkson, R. (2015). Vision nocturne vs lunettes thermiques. Blog Jager Pro. Consulté en ligne le 12 mars 2020 sur <https://jagerpro.com/night-vision-vs-thermal-scopes/>
- Poley, L. G., Pond, B. A., Schaefer, J. A., Brown, G. S., Ray, J. C. et Johnson, D. S. (2014). Occupancy patterns of large mammals in the Far North of Ontario under imperfect detection and spatial autocorrelation (*Modèles d'occupation des grands mammifères dans le Grand Nord de l'Ontario sous détection imparfaite et autocorrélation spatiale*). Journal of Biogeography 41, 122–132.
- Poole, KG, Cuyler, C., et Nymand, J. (2013). Evaluation of caribou *Rangifer tarandus groenlandicus* survey methodology in West Greenland (*Évaluation du caribou Rangifer tarandus groenlandicus méthodologie de relevé dans l'ouest du Groenland*). Wildlife Biology 19, 225-240.
- Raygorodetsky, G. et Chetkiewicz, C. (2017). Watching, Listening, and Learning to Understand Change: (*Regarder, écouter et apprendre à comprendre le changement :*) Developing a Community-Based Monitoring (CBM) Initiative in Ontario's Far North (*Élaboration d'une initiative de suivi communautaire (CBM) dans le Grand Nord de l'Ontario*). Wildlife Conservation Society Canada. Toronto, Ontario, Canada.
- Riccardo, L., Flavia, T., Riccardo, S., Sacha, K., Giuseppe, M.S., et Antoine, H. (2017). UAV-Based thermal imaging for high-throughput field phenotyping of black poplar response to drought (*Imagerie thermique basée sur les drones pour le phénotypage à haut débit sur le terrain de la réponse du peuplier noir à la sécheresse*). Frontiers in Plant Science 8, 1681.
- Schneider, S., Taylor, G. W., Linquist, S., et Kremer, S. C. (2019). Past, present and future approaches using computer vision for animal re-identification from camera trap data (*Approches passées, présentes et futures utilisant la vision par ordinateur pour la ré-identification des animaux à partir de données de pièges photographiques*). Methods in Ecology and Evolution 10, 461-470.
- Siniff D. B. et Skoog, R. O. (1964). Aerial censusing of caribou using stratified random sampling (*Recensement aérien des caribous à l'aide d'un échantillonnage aléatoire stratifié*). Journal of Wildlife Management 28, 391-401.
- Thomas, D. (1996). Needed: less counting of caribou and more ecology (*Besoin : moins de dénombrement des caribous et plus d'écologie*). Rangifer Special Issue 10, 15-23.
- Thomas, L., Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Laake, J. L., Strindberg, S., Headley, S. L., Bishop, J. R. B., Marques, T. A., et Burnham, K. P. 2010. Distance software : design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size (*Logiciel de distance : conception et analyse d'inventaires d'échantillonnage à distance pour estimer la taille d'une population*). Journal of Applied Ecology 47, 5-14. doi: [10,1111/j.1365-2664.2009.01737.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01737.x)

AERIAL SURVEYS



REFERENCES

- Torney, C. J., Lloyd-Jones, D. J., Chevallier, M., Moyer, D. C., Maliti, H. T., Mwita, M., Kohi, E. M., et Hopcraft, G. C. (2019). A comparison of deep learning and citizen science techniques for counting wildlife in aerial survey images (*Comparaison des techniques d'apprentissage en profondeur et de science citoyenne pour le dénombrement de la faune dans les images d'inventaires aériens*). *Methods in Ecology and Evolution* 10, 779– 787. <https://doi.org/10.1111/2041210X.13165>.
- Quang P. X. et Becker. E. F. (1996). Line transect sampling under varying conditions with application to aerial surveys (*Échantillonnage par transect linéaire dans des conditions variables avec application aux inventaires aériens*). *Ecology* 77, 1297-1302.
- Whitehead, K., Hugenholtz, C.H., Myshak, S., Brown, O., LeClair, A., Tamminga, A., Barchyn, T.E., Moorman, B. et Eaton, B. (2014). Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 2: scientific and commercial applications (*Télédétection de l'environnement avec de petits systèmes aériens sans pilote (UAS), partie 2 : applications scientifiques et commerciales*). *Journal of Unmanned Vehicle Systems* 2, 86-102.
- Willi, M., Pitman, R. T., Cardoso, A. W., Locke, C., Swanson, A., Boyer, A., Veldhuis, M., et Fortson, L. (2019). Identifying animal species in camera trap images using deep learning and citizen science (*Identification des espèces animales dans les images de pièges photographiques à l'aide de l'apprentissage en profondeur et de la science citoyenne*). *Methods in Ecology and Evolution* 10, 80-91.
- Zhang, J., Hu, J., Lian, J., Fan, Z., Ouyang, X., et Ye, W. (2016). Seeing the forest from drones: (*Voir la forêt à partir de drones :*) Testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring (*Tester le potentiel des drones légers comme outil de suivi à long terme des forêts*) *Biological Conservation* 198, 60–69.



