

Méthodes de Suivi du Caribou Boréal du CNSCB

# MÉTHODES DE SURVEILLANCE INDIRECTE AU CANADA



Consortium national du savoir sur le caribou boréal



# Méthodes de Suivi du Caribou Boréal du CNSCB

## MÉTHODES INDIRECTES AU CANADA



### Méthodes de Surveillance Indirecte

#### Contenus

<b>Introduction aux méthodes indirectes</b> .....	1
<b>Connaissances Autochtones dans les programmes de suivi</b> .....	2
<b>6. Caméras automatiques</b> .....	3
<b>6.1 EN UN COUP D'ŒIL</b> .....	3
<b>6.2 APTITUDE À LA SURVEILLANCE</b> .....	4
<b>6.3 CONSIDÉRATIONS ET EXIGENCES</b> .....	6
<b>6.4 EXEMPLES</b> .....	10
<b>7. Échantillonnage fécal</b> .....	11
<b>7.1 EN UN COUP D'ŒIL</b> .....	11
<b>7.2 APTITUDE À LA SURVEILLANCE</b> .....	14
<b>7.3 CONSIDÉRATIONS ET EXIGENCES</b> .....	17
<b>7.4 EXEMPLE</b> .....	20
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	22

# MÉTHODES INDIRECTES



Crédit photo : Cole Burton

## Introduction aux méthodes indirectes

La surveillance indirecte - où la taille de la population, la tendance ou d'autres mesures sont déduites à partir de photos d'animaux ou de comptages d'excréments ou de traces d'animaux - est bien adaptée aux études de population lorsque les méthodes d'observation directe peuvent être difficiles (par exemple Taberlet *et al.* 1999, O'Connell *et al.* 2011, Département Néo-Zélandais de la Conservation 2012). Les méthodes indirectes peuvent donc être particulièrement bénéfiques pour les créatures rares, timides ou insaisissables (ex. Stanley & Royle 2005, Kuhl *et al.* 2008, McFarlane *et al.* 2020a), et sont également efficaces pour le suivi multi-espèces ou au niveau communautaire (par exemple Crooms *et al.* 2009, Burgar *et al.* 2019, Wittische *et al.* 2020).

Les approches traditionnelles de surveillance du caribou boréal peuvent être limitées par la petite taille des échantillons et nécessitent souvent un échantillonnage aérien intensif ou une manipulation directe (e.g. pose de colliers télémétriques, marquage physique, étiquetage et/ou prélèvement de tissus; Carroll *et al.* 2018). DeMars *et al.* (2015) soulignent les méthodes indirectes appropriées pour la surveillance du caribou, y compris le marquage-revue, le marquage-recapture de l'ADN fécal ou les modèles démographiques, mais recommandent que, dans certains cas, les résultats des études indirectes soient corroborés par des méthodes directes (par exemple aerial studies; Kuhl *et al.* 2008, DeMars *et al.* 2015).

Les sources d'erreur peuvent être traitées par la formation, une conception d'échantillonnage appropriée et l'utilisation de tests statistiques et d'inférences appropriés (par exemple, Stanley et Royle 2005).

Deux méthodes utilisées dans les programmes de suivi du caribou boréal qui utilisent une approche indirecte sont le piégeage photographique et l'échantillonnage fécal. Dans les programmes de piégeage par caméra, des caméras à l'épreuve des intempéries avec détecteurs de mouvement peuvent être montées dans l'habitat du caribou pour enregistrer des photos ou des vidéos de tout animal qui passe. Cette approche de surveillance passive réduit les perturbations fauniques et peut enregistrer la présence non seulement du caribou, mais aussi de toute autre espèce cohabitante. Les caméras peuvent être laissées pendant de longues périodes par temps violent, et les images donnent un aperçu de la distribution et de l'utilisation de l'habitat, ainsi que des indices de santé et de comportement. Les améliorations continues de la technologie des caméras et la mise en place de nouveaux réseaux de caméras-piégeage étendent les applications des données de caméra-piège à des paramètres supplémentaires (par exemple l'abondance) et à des échelles spatiales plus larges. Dans les programmes d'échantillonnage fécal, l'échantillonnage génétique des tissus animaux fournit une source précieuse d'ADN pour l'utilisation dans la recherche et la surveillance de la faune, et lorsqu'elle est combinée avec une bonne conception de l'enquête et une analyse génétique et de capture-recapture (CR) minutieuse, fournit un moyen puissant et robuste de surveiller les populations d'animaux sauvages. Cette approche a été appliquée à la surveillance du caribou en Ontario (Carr *et al.* 2010), Manitoba (Hettinga *et al.* 2012), Saskatchewan (McFarlane *et al.* 2021) et Alberta (McFarlane *et al.* 2018, McFarlane *et al.* 2020a). Les modèles spatiaux de capture-recapture (SCR) de données génétiques sont une méthode de plus en plus populaire pour estimer à la fois la taille et la tendance de la population. Les modèles SCR sont robustes aux petites tailles d'échantillons, produisent des estimations précises de la densité et de l'abondance et peuvent s'adapter à de faibles probabilités de capture (Borchers et Efford 2008, Royle *et al.* 2014). L'échantillonnage génétique non invasif spatialement explicite génère également des données auxiliaires pour l'analyse de la structure génétique de la population (Ball *et al.* 2010, Priadka *et al.* 2018, Thompson *et al.* 2019) et analyse génétique du paysage (Galpern *et al.* 2012b, 2014) qui peuvent détecter les premiers signes de fragmentation, de déclin ou d'autres informations écologiques (Bruggeman *et al.* 2010). Bien que les échantillons génétiques puissent provenir de poils, de tissus ou de sang, l'échantillonnage de l'ADN fécal est la méthode la plus couramment appliquée au caribou.

# MÉTHODES INDIRECTES



## Connaissances Autochtones dans les programmes de suivi

Dans le cadre de l'élaboration du projet [Suivi du Caribou Boréal au Canada Partie 1 : Perspectives du Groupe de Travail sur le Suivi des Populations du CNSB](#), un nombre de un certain nombre de méthodes de terrain pour le suivi du caribou boréal ont été identifiées comme couramment utilisées au Canada. Cependant, ces méthodes ont aussi la caractéristique commune de ne pas être fondées sur des méthodes Autochtones. Or, l'application conjointe de connaissances Autochtones 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 un programme de suivi d. De plus, Au-delà de la conservation : Une boîte à outils pour atteindre la réciprocité dans l'intendance (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. Voici quelques exemples (non exhaustifs) de ces modalités : la coordination de programmes en collaboration avec les peuples autochtones dès le début de la planification; la répartition équitable des prises de décision relatives aux programmes; 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 ressource) de renforcement des capacités et d'indemnisation pour la contribution en temps.





## 6. Caméras automatiques

### 6.1 EN UN COUP D'ŒIL

Les caméras automatiques (également connus sous le nom de «caméras de chasse») consistent en une caméra, généralement montée sur un arbre ou une autre structure fixe, ainsi qu'un capteur infrarouge ou un autre détecteur de mouvement (Silveira *et al.* 2003, Steenweg *et al.* 2017). Lorsqu'un objet en mouvement avec un différentiel de température (c'est-à-dire généralement supérieur à la température ambiante) est détecté par le capteur, la caméra commence à enregistrer des données, sous forme d'images ou de vidéos. En tant que telles, ces caméras sont utiles pour la surveillance de la faune, car le chercheur n'a pas besoin d'être physiquement présent et il y a une perturbation minimale du comportement de l'animal par rapport à l'observation directe. Les images (ou vidéos) sont estampillées avec la date, l'heure et le lieu, ainsi que d'autres données environnementales telles que la température (Steenweg *et al.* 2017).

Les caméras automatiques conviennent parfaitement à la surveillance de plusieurs espèces, qui peuvent inclure à la fois des proies alternatives et des prédateurs du caribou (e.g. Burgar *et al.* 2019, Tattersall *et al.* 2020b, Wittische *et al.* 2020). Pour le caribou en particulier, les caméras automatiques peuvent fournir des renseignements considérables sur la répartition/l'occupation, et peuvent également être utiles pour l'estimation d'un certain nombre d'autres paramètres, y compris l'utilisation de l'habitat/du site ou les modèles d'activité (e.g. Frey *et al.* 2017), densité de population (e.g. Efford 2004, Burgar *et al.* 2018), les mouvements migratoires (par exemple Blagdon & Johnson 2021), la recherche de nourriture et d'autres comportements (par exemple Caravaggi *et al.* 2017, 2020). Ils peuvent également fournir des indications sur l'état corporel, la maladie ou d'autres problèmes de santé. La survie pourrait être estimée si les caméras sont combinées avec le marquage individuel des animaux, et les caméras automatiques peuvent permettre l'estimation d'un indice relatif d'abondance (en supposant qu'il n'y a pas de mouvement dépendant de la densité ; Broadley *et al.* 2019). Burton *et al.* (2015) présentent un examen des applications de caméra automatique et suggèrent des moyens d'adapter l'échantillonnage par caméra aux processus écologiques d'intérêt.

L'utilisation de caméras automatiques a considérablement augmenté ces dernières années, en raison des améliorations de la technologie et de la baisse des coûts des unités (par exemple, Steenweg *et al.* 2017). Par exemple, les nouveaux systèmes de type "caméras noires" ou "flash invisible" peuvent être moins perturbants (Trailcampro 2020), bien qu'ils soient probablement toujours détectés par les animaux. (Meek *et al.* 2014b). Des directives générales pour la conception et le signalement du piégeage par caméra sont disponibles (par exemple, Meek *et al.* 2014a, Wearn & Glover-Kapfer 2017), et cette méthode continue de prouver son efficacité comme outil de suivi (ex. Wearn & Glover-Kapfer 2019). Incertitudes restantes sur les réponses comportementales aux caméras (Caravaggi *et al.* 2020) et conception d'étude pour la caméra piégeage (Kays *et al.* 2020) font l'objet de recherches actives.



# MÉTHODES INDIRECTES



## 6. Caméras automatiques

### 6.2 APTITUDE À LA SURVEILLANCE

#### 6.2.1 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

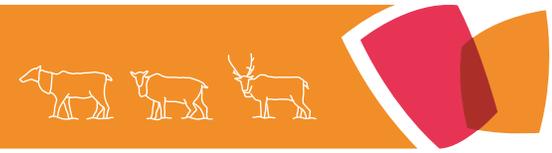
x La méthode x n'est pas appropriée à l'évaluation de ce paramètre ✓ La méthode permet de collecter des informations ou, combinée à d'autres méthodes, permet d'émettre des déductions ✓✓ La méthode fournit des informations considérables et est appropriée à l'évaluation ✓✓✓ La méthode est la plus appropriée et/ou vise spécifiquement l'évaluation 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	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	Décomptes minimaux	Tendance de la croissance démographique	Survie/mortalité	Recrutement/reproduction	État corporel	Maladies	Autres indicateurs de santé	Recherche de nourriture/nutrition
Méthodes indirectes	Caméras automatiques	✓✓	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 ».

#### 6.2.2 PARAMÈTRES DE SUIVI ET INFORMATIONS (SUPPLÉMENT AU TABLEAU 1)

- Présence ou interactions avec d'autres espèces (Burgar et al. 2019, Keim et al. 2019, Tattersall et al. 2020b, Wittische et al. 2020)
- Réponse à des caractéristiques paysagères spécifiques (par exemple, lignes sismiques restaurées ; voir Tattersall et al. 2020a, Wittische et al. 2020) ou perturbation (Brodie et al. 2015a ; Keim et al. 2019)
- Connectivité du paysage (Barrueto et al. ,2014, Brodie et al. 2015b)
- Conditions de la plante/de l'habitat et phénologie (Morissette et al. 2008, Fisher & Burton 2018, Hofmeester et al. 2019b)
- Schémas de déplacement spatiaux et temporels en relation avec les variables environnementales et les espèces co-occurentes (Blagdon & Johnson 2021)

- Utilisation de l'habitat à différents stades de vie (Fisher et al. 2014)
- Le piégeage par caméra d'animaux identifiables individuellement (c'est-à-dire via des marques naturelles ou des étiquettes) fournit des informations sur les mouvements
- La modélisation spatiale de capture-recapture peut être utilisée pour dériver un indice d'abondance basé sur des estimations de densité (par exemple Burgar et al. 2018)
- Des parasites, un état corporel ou des signes de maladie/maladie peuvent être observés de manière opportuniste
- Vigilance et autres modèles de comportement/d'activité (par exemple Caravaggi et al. 2017)



## 6. Caméras automatiques

### 6.2.3 APPLICATION

- Convient le mieux aux animaux terrestres de taille moyenne à grande (Steenweg *et al.* 2017)
- Bien adapté aux espèces insaisissables ou à faible densité (Karanth & Nichols 1998)
- Les caméras automatiques peuvent être utilisés pour surveiller les espèces nocturnes et diurnes, car les photographies peuvent être prises de jour comme de nuit (Rowcliffe *et al.* 2008)
- Peut être bien adapté aux régions éloignées car les caméras peuvent être laissées sur le terrain pendant plusieurs mois d'affilé avant d'être vérifiées (O'Brien *et al.* 2003)
- Moins adapté aux petits animaux qui peuvent ne pas être visibles dans le champ de vision de la caméra ou qui peuvent ne pas activer le déclencheur de manière cohérente (Villette *et al.* 2016, 2017)
- Il faut faire preuve de prudence lors du calcul de l'abondance à partir des données des caméras : pour obtenir des estimations précises, l'analyse statistique des données de caméras automatiques doit tenir compte des taux de détection imparfaits, et la méthodologie doit être explicitement signalée pour permettre aux données d'être mises à l'échelle et comparées (Rowcliffe *et al.* 2008, Burton *et al.* 2015, Forrester *et al.* 2016). Comme pour toute méthode, les inférences des caméras automatiques sont sensibles aux hypothèses du modèle, mais il est prouvé que les taux de détection peuvent fournir un indice d'abondance utile (par exemple, Neilson *et al.* 2018, Broadley *et al.* 2019).
- Par rapport à d'autres méthodes de surveillance (e.g. colliers GPS), la caméra automatique peut ne pas fournir de données à résolution suffisamment fine sur les déplacements peu fréquents des caribous à faible densité (Blagdon et Johnson 2021).

### 6.2.4 AVANTAGES

- Les caméras peuvent fournir des données sur de longues échelles temporelles (par exemple, Tattersall *et al.* 2020a), et détectent également l'activité nocturne (Silveira *et al.* 2003)
- Les photos et vidéos qui en résultent peuvent faciliter l'intérêt du public pour la biodiversité (Steenweg *et al.* 2017). Les photographies et les vidéos de l'appareil photo sont très utiles pour engager la communauté et stimuler la

conversation et l'échange d'informations.

- Si elles sont correctement installées, les caméras fonctionnent dans la plupart des conditions météorologiques, y compris celles qui contraindront normalement le travail sur le terrain (Silveira *et al.* 2003). Par exemple, les travaux de piégeage par caméra des Premières Nations de Fort McKay ont utilisé des caméras sous la pluie et la neige, à des températures allant de -40 à +30 °C (L. Gould, *comm. pers.*)
- Plusieurs espèces peuvent être surveillées, y compris les prédateurs et les concurrents de l'espèce cible (Burgar *et al.* 2019).
- Les caméras automatiques peuvent être efficacement combinés avec d'autres méthodes pour obtenir des informations plus précises, telles que des modèles partiellement marqués avec des données de télémétrie (par exemple Sollmann *et al.* 2013, Royle *et al.* 2014) et des modèles de population intégrés avec marquage-recapture de l'ADN (Chandler et Clark 2014).
- Les caméras sont relativement faciles à régler et à vérifier en suivant des protocoles normalisés, et le traitement des images est relativement simple
- Il existe des réseaux émergents de caméras automatiques favorisant la normalisation et la synthèse des données (par exemple, Forrester *et al.* 2016, RISC 2019, WildCams 2020); sans cela, la comparaison des résultats à travers les échelles peut être difficile (Steenweg *et al.* 2017).



# MÉTHODES INDIRECTES



## 6. Caméras automatiques

### 6.2.5 DÉSAVANTAGES

- Il peut être difficile d'évaluer les mesures de la population à l'aide de données de caméras automatiques, nécessitant souvent des modèles statistiques complexes et une puissance de calcul élevée, bien qu'il s'agisse d'un domaine actif de recherche méthodologique (par exemple, Rowcliffe *et al.* 2008; Bugar *et al.* 2018)
- Les fichiers image et vidéo sont souvent volumineux, ce qui peut créer des difficultés de stockage et de partage ; le stockage numérique peut également se remplir rapidement en raison de faux déclencheurs (par exemple, le vent, les branches, la croissance des feuilles) à moins que les emplacements des caméras ne soient soigneusement préparés.

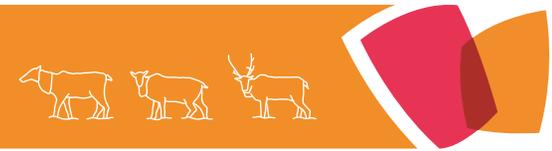
- Des préoccupations éthiques peuvent survenir concernant la photographie de personnes
- Le placement de la caméra doit éviter les zones face au soleil ou d'inondation, ce qui pourrait endommager la caméra et ses capteurs (Valdez 2018)
- Le comportement des animaux photographiés peut être affecté par le bruit, l'odeur ou la lumière des caméras (Caravaggi *et al.* 2020)
- Un boîtier robuste peut être nécessaire pour protéger la caméra contre la mastication par les carnivores (Valdez 2018) ou contre le vol ou le vandalisme dans les zones à forte activité humaine (Meek *et al.* 2019).

### 6.3 CONSIDÉRATIONS ET EXIGENCES

Par renvoi au Tableau d'Appropriation 2 : Comparaison de l'appropriation et des exigences des méthodes de suivi

Échelle spatiale		Échelle spatiale		Besoins en matière des données		Implication de la communauté		Ressources			Considérations Éthiques			
		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 permet de collecter des informations à cette échelle spatiale													
✓✓	La méthode est appropriée pour une application à cette échelle spatiale													
✓✓✓	La méthode est la plus appropriée pour une application à cette échelle spatiale													
<b>Application combinée des Connaissances Autochtones :</b> P – Planification      D – Collecte de données A – Analyse              R – Rapport														
<i>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</i>														
Méthodes indirectes	Caméras automatiques	✓✓✓	✓	Variable (voir texte)	Modéré	Élevé	P, D, A, R	Faible/Modéré	Faible	Modéré	Non	Aucun	Faible	

\*\* Il ne s'agit que de lignes directrices générales; reportez-vous au texte pour plus de détails sur les exigences d'échantillonnage.



## 6. Caméras automatiques

### 6.3.1 ÉCHELLE SPATIALE

- Les caméras automatiques sont les mieux adaptés à la collecte de données à l'échelle d'une sous-population, car chaque caméra est considérée comme un échantillon ponctuel et, par conséquent, de nombreuses caméras seraient nécessaires pour couvrir une vaste zone.
- L'échelle de l'étude est généralement déterminée par le programme et les résultats souhaités, par exemple l'inférence au niveau d'une population individuelle par rapport à une plus petite unité de gestion. L'espacement entre les caméras peut avoir des implications importantes pour leur traitement en tant qu'échantillons indépendants (par exemple, occupation) ou dépendants (par exemple, capture-recapture spatiale). La conception de l'étude est un domaine de recherche actif (e.g. Kays et al. 2020).
- Des revues récentes démontrent la capacité de combiner des données de caméra provenant de plusieurs sources pour passer à une perspective régionale, mais uniquement avec une normalisation de la méthodologie et des rapports, ou une correction statistique afin de tenir compte des différences entre les études (Burton et al. 2015; Forrester et al. 2016; Scotson et al. 2017, Steenweg et al. 2017, Hofmeester et al. 2019a). Les réseaux émergents de caméras-piège facilitent la standardisation et la collecte des données des caméras à plus grande échelle (par exemple McShea et al. 2015, Forrester et al. 2016).



Crédit Photo : Première Nation de Fort McKay

### 6.3.2 BESOINS EN DONNÉES ET CONFIANCE

- Capacité modérée à évaluer la fiabilité des données - Les Non-détections (individus manqués par les caméras) peuvent être problématiques. Les faibles détections sont probablement plus préoccupantes pour les relevés de courte durée ou avec peu de caméras, et il existe plusieurs méthodes pour faire face à la non-détection, par exemple l'utilisation d'approches d'échantillonnage multiples, l'emplacement prudent du site et les leurres/attractifs (par exemple Holinda et al. 2020).

### 6.3.3 IMPLICATION DE LA COMMUNAUTÉ

#### Possibilités d'Implications des Communautés Locales

- Les caméras automatiques sont largement utilisés dans les applications industrielles ; l'industrie pourrait contribuer ses propres données d'enquête à la base de données plus large
- Utilisation de métadonnées et de protocoles standardisés (e.g., Forrester et al. 2016; Hofmeester et al. 2019a, RISC 2019), les données des caméras peuvent être combinées entre plusieurs enquêtes et utilisateurs.

#### Potentiel D'applications Combinées des Connaissances Autochtones

*Veillez noter que toute application des Connaissances Autochtones 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
  - Les Connaissances Autochtones permettent de délimiter les zones d'échantillonnage 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.
  - Les Connaissances des Autochtones peuvent être utilisées pour éclairer les emplacements des caméras. Par exemple, la Première Nation de Fort McKay a organisé une réunion communautaire pour identifier les zones où placer les caméras, et les protocoles des caméras ont été surveillés en fonction des commentaires de la communauté.



## 6. Caméras automatiques

- Collecte de données
  - Les détenteurs de connaissances et les membres de la communauté locale peuvent être formés sur la façon d'installer, d'utiliser et d'entretenir l'équipement de piège photographique, y compris la collecte de cartes de données. Par exemple, deux membres de la Première Nation de Fort McKay ont été employés comme équipe de caméras des gardiens de l'environnement et sont responsables de l'installation des caméras.
- Analyse
  - Les Connaissances Autochtones peuvent être utilisées pour éclairer l'analyse et l'interprétation des données. Par exemple, les deux membres de la Première Nation de Fort McKay sont employés comme équipe de caméras des gardiens de l'environnement et sont responsables du tri des photos.
- Rapports
  - Les deux membres de la Première Nation de Fort McKay travaillent comme équipe de caméras des Gardiens de l'environnement et sont responsables de la rédaction du rapport et du partage des connaissances avec les communautés locales.

**Coût : \$\$**

### 6.3.4 RESSOURCES

#### Frais d'équipement

- Dans l'ensemble, les caméras automatiques sont une méthode de surveillance relativement rentable (Silveira *et al.* 2003). Les coûts d'équipement initiaux peuvent être élevés, mais la rentabilité augmente avec l'utilisation répétée des caméras au fil du temps.
- Les prix des appareils photo ne cessent de baisser, certains modèles étant disponibles pour seulement 100 USD (Steenweg *et al.* 2017), bien que les modèles bon marché puissent ne pas être aussi fiables (voir Newey *et al.* 2015).
- Les autres coûts comprennent les fournitures (e.g. piles, cartes SD), l'accès (peut être coûteux dans le paysage boréal éloigné, dont certains ne peuvent être atteints que par hélicoptère) et la main-d'œuvre qualifiée pour les analyses.

#### Frais de personnel

- Il peut être assez simple de former du personnel pour surveiller et entretenir les caméras, et même pour analyser des vidéos/photos (selon les résultats souhaités ; Steenweg *et al.* 2017)
- Un logiciel est disponible (ou devient disponible) pour réduire le temps passé à traiter les images, même pour le personnel peu formé (e.g. Wildlife Insights 2020)
- Certains projets s'appuient sur la participation du public pour traiter les images et effectuer l'identification afin de réduire les coûts (e.g. eMammal 2017, Zooniverse 2020)





## 6. Caméras automatiques

### Complexité Logistique : MODÉRÉE

#### Compétences requises

- Un nouveau logiciel permet au personnel peu formé de traiter et d'analyser les images, mais l'analyse avancée des données peut nécessiter une expertise ou un logiciel spécialisé
- Bien que souvent chronophages, des méthodes émergent pour l'identification automatisée des espèces (e.g. Wildlife Insights 2020) et le crowdsourcing (Zooniverse 2020), ce qui peut accélérer les délais de traitement, bien que ce soit encore un travail en cours (Schneider *et al.* 2020)
- Des résumés de données de base peuvent être facilement obtenus à l'aide de logiciels comme camtrapR ou Wildlife Insights (Niedballa *et al.* 2020, Aperçus de la Faune 2020)

### Capture/Handling: NO

#### 6.3.5 PRÉOCCUPATIONS ÉTHIQUES

##### Capture/manipulation

- Aucun

##### Stress potentiel lié au suivi

- Aucun

##### Empreinte carbone/environnementale

- Variable – les caméras sont facilement transportables en voiture ou à pied, et peuvent être laissées en enregistrement pendant plusieurs mois à la fois. Cependant, comme les caméras peuvent être déployées facilement (régler et oublier), elles peuvent également être utilisées pour échantillonner des sites très éloignés, nécessitant un accès en motoneige ou en VTT (perturbation de l'habitat) ou en hélicoptère (empreinte carbone).



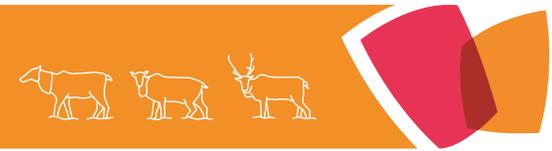


## 6. Caméras automatiques

### 6.4 EXEMPLES

**PREMIÈRE NATION DE FORT MCKAY, ALBERTA** Au début de 2019, les gardiens de l'environnement de la Première Nation de Fort McKay ont commencé à utiliser des caméras pour surveiller la faune dans leur Territoire Traditionnel. Les gardiens ont installé plus de 40 caméras dans le Territoire Traditionnel. Le déploiement des caméras est un placement délibérément biaisé aux points focaux pour maximiser la détection des espèces cibles ; dans ce cas, le caribou. Les zones de déploiement des caméras ont été sélectionnées sur la base des informations obtenues auprès des membres de la Communauté lors des discussions de l'atelier. Sur le terrain, des emplacements spécifiques ont été sélectionnés en fonction de l'habitat (tourbières minérotrophes et tourbières ombrotrophes ou près des arbres avec une abondance de lichens), des preuves d'utilisation de la faune (e.g. traces) et de la pertinence de l'installation de la caméra (e.g. la taille des arbres, l'ouverture de l'habitat, la sécurité). Il était également crucial que ces emplacements soient relativement proches des routes et des lignes de coupe pour un accès futur. Le programme de surveillance des caméras de la faune utilise des caméras Reconyx Hyperfire 2 alimentées par des batteries au lithium avec des cartes SD de 32 Go. Ces caméras détectent les mammifères de taille moyenne et grande dans une zone cible à environ 5 mètres devant la caméra. Les caméras sont fixées aux arbres à une hauteur d'environ un mètre au-dessus du sol à l'aide de vis à bois et d'un support métallique sécurisé par un câble antivol. Les gardiens de l'environnement éliminent ensuite les branches et les arbustes obstruant le champ de la caméra et photographient l'habitat environnant. Les Gardiens enregistrent le numéro de la caméra, la carte SD et l'emplacement de la caméra (latitude et longitude) sur une fiche technique et un GPS portable. Les Gardiens de l'Environnement vérifient les caméras tous les 3 à 6 mois (les piles et les cartes SD sont changées au besoin). Les Gardiens de l'Environnement trient et classent ensuite les photographies sur leurs ordinateurs au bureau. Les données photographiques et vidéo sont analysées et les résultats sont communiqués chaque année à la Communauté. La Communauté et les dirigeants ont accueilli avec enthousiasme les résultats et le programme.

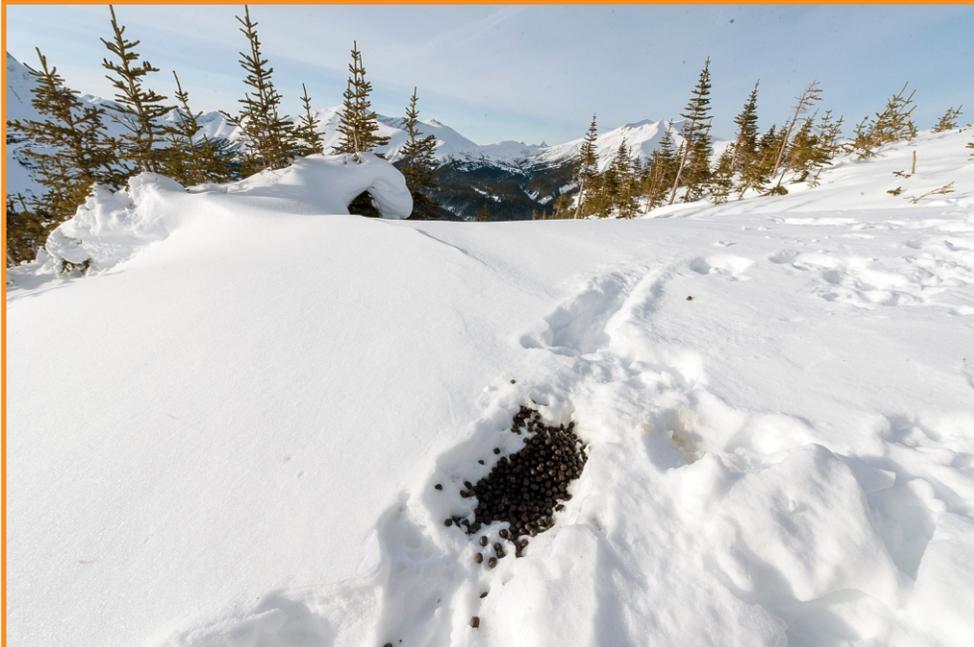
**RÉPARTITION EST DE LA RIVIÈRE ATHABASCA, NORD-EST DE L'ALBERTA** Entre novembre 2015 et 2019, un projet de caméras automatiques a été lancé pour surveiller l'utilisation des lignes sismiques par les caribous, les loups, les ours noirs, les orignaux et les cerfs de Virginie après la restauration des lignes sismiques. La restauration avait été achevée dans la zone entre 2012 et 2015, et les caméras avaient permis de comparer l'utilisation de ces lignées par les mammifères par rapport à leur utilisation de lignées se régénérant naturellement et de lignées non restaurées. Les cooccurrences de mammifères (en particulier les prédateurs : loups, ours noirs, coyotes et lynx) sur les lignes sismiques ont également été mesurées pour étudier leur partage du paysage, et des données environnementales ont également été recueillies (accumulation saisonnière de neige et verdissement). Une étude connexe a consisté à installer un réseau de caméras dans l'aire de répartition du caribou de Richardson au nord-est de Fort McMurray, afin de recueillir des données sur les mammifères sur et hors des lignes sismiques et dans les zones historiquement touchées par les incendies de forêt. En bref, les caméras ont été bénéfiques dans ce cas en tant que méthode non invasive et relativement rentable pour collecter des données sur les réponses des communautés de mammifères aux perturbations sur des longues périodes. En raison de contraintes logistiques, l'étude n'a observé que les réponses des mammifères après la restauration de la ligne sismique ; une inférence plus forte des réponses de la faune au changement pourrait résulter de l'utilisation de caméras automatiques dans une conception BACI (Avant-Après-Contrôle-Impact), où les données sont collectées à la fois avant et après la restauration. Voir Tattersall *et al.* (2020a) pour plus de détails sur cette étude.



## 7. Échantillonnage fécal

### 7.1 EN UN COUP D'ŒIL

Au lieu d'étiquettes physiques ou de marquage naturel pour identifier les individus, des marqueurs moléculaires diagnostiques ou des étiquettes génétiques (par exemple, des microsatellites) dérivés de l'ADN fécal peuvent être combinés avec des méthodes analytiques modernes pour évaluer l'abondance de la population et pour surveiller les tendances et la démographie de la population (e.g. la survie et la reproduction ; Ball *et al.* 2010, Hettinga *et al.* 2012, Galpern *et al.* 2012b, McFarlane *et al.* 2019, 2020, 2021, Moeller *et al.* 2021). Les étiquettes génétiques sont des séquences uniques d'ADN utilisées pour identifier les individus et leur espèce, leur sexe et leur lignée (Lamb *et al.* 2019). En plus de la surveillance de la population par l'identification des individus (décrit plus en détail ci-dessous), les données génétiques dérivées de l'ADN fécal peuvent également être utilisées pour estimer des paramètres et des processus démographiques supplémentaires tels que le régime alimentaire, la condition physique individuelle, la consanguinité, la



Crédit Photo : Samanta McFarlane et le Gouvernement de l'Alberta

diversité génétique, la dispersion et connectivité génétique (par exemple Schwartz *et al.* 2007, McFarlane *et al.* 2018, Lamb *et al.* 2019). Des paramètres supplémentaires peuvent être évalués simultanément à partir des fèces (par exemple, l'état de reproduction et la structure par âge de la population ; Morden *et al.* 2011, Flasko *et al.* 2017).

Les fèces recueillis en hiver fournissent une source d'ADN de haute qualité (à partir de cellules épithéliales intestinales intégrées) à utiliser dans les études d'évaluation et de surveillance génétiques des populations de caribous (Ball *et al.* 2007, 2010, Petersen *et al.* 2010, Arsenault & Manseau 2011, Hettinga *et al.* 2012). Les étiquettes génétiques dérivées de l'ADN fécal offrent une approche rentable et riche en informations pour la surveillance avec la puissance et la flexibilité nécessaires pour évaluer de nombreux paramètres de population (Schwartz *et al.* 2006, Lamb *et al.* 2019). Les marqueurs génétiques dérivés de l'ADN fécal sont particulièrement utiles pour surveiller les espèces rares, insaisissables et à faible densité comme le caribou boréal, car les fèces : (i) peuvent être collectés sans aucun contact avec les animaux (c'est-à-dire non invasifs), sur de vastes zones ; (ii) sont bien conservés dans la neige (l'ADN ne se dégrade pas rapidement) ; (iii) peuvent être prélevés en grand nombre dans les sites de cratérisation hivernale (où les caribous creusent sous la neige pour atteindre le lichen; voir Hettinga *et al.* 2012); et (iv) peuvent être collectés par des membres de la communauté locale tels que des Gardiens Autochtones ou des citoyens chercheurs.

*Veillez noter que nous nous concentrons principalement sur l'utilisation de l'ADN fécal dans les plans d'échantillonnage CR/SCR dans ce chapitre, bien que d'autres utilisations des données génétiques pour la surveillance du caribou soient également discutées.*

### Surveillance de la population par la méthode de capture-marquage-recapture grâce à l'identification par ADN fécal des individus

Pour surveiller les paramètres démographiques de la population à l'aide de données génétiques, les analyses CR non spatiales ont été la méthode standard utilisée pour estimer l'abondance de nombreuses espèces de vertébrés, mais les modèles spatialement explicites (SCR) sont une méthode de plus en plus populaire pour l'estimation robuste des paramètres écologiques, car ils sont robustes aux petites tailles d'échantillon et peuvent s'adapter à de faibles probabilités de capture.



## 7. Échantillonnage fécal

En incluant les informations spatiales des individus capturés directement dans l'analyse, les modèles SCR résolvent les problèmes entourant la zone de piégeage efficace et sont robustes aux hypothèses sur la fermeture géographique qui sont des problèmes courants dans les études CR non spatiales.

Les techniques d'échantillonnage génétique non invasif peuvent être appliquées à l'échelle de l'aire de répartition/de la population (Ball *et al.* 2007) et ont été utilisés pour surveiller une variété de données démographiques. Ceux-ci incluent l'abondance (Arsenault & Manseau 2011, Harris *et al.* 2010, Hettinga *et al.* 2012, McFarlane *et al.* 2018, 2020a), tendance de la croissance démographique à travers des modèles de marquage-recapture de conception robuste (par exemple Hettinga *et al.* 2012, McFarlane *et al.* 2018), le sexe-ratio (par exemple Goode *et al.* 2014), le taux de grossesse (Messier *et al.* 1990, Flasko *et al.* 2017) et les relations familiales (McFarlane *et al.* 2021).

L'identification individuelle basée sur l'ADN fécal est utilisée comme substitut de la capture et de la recapture directes des animaux dans les études CR traditionnelles. Le signal génétique dans les matières fécales représente l'individu, et ainsi la « capture » et la « recapture » ne sont confirmées qu'une fois que les échantillons sont analysés en laboratoire et que l'individu est identifié.

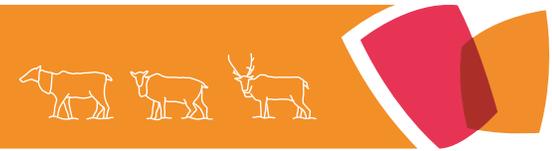
La capture-marquage-recapture via l'analyse de l'ADN fécal nécessite un effort d'échantillonnage systématique impliquant des aéronefs à voilure tournante ou fixe, ou une combinaison des deux. Les transects aériens sont systématiquement survolés à intervalles réguliers (par exemple, intervalles de 3 km, Hettinga *et al.* 2012) sur l'ensemble de l'aire de répartition de la population de caribous. Les observateurs recherchent et consignent toutes les observations confirmées de caribous ou de signes (e.g. traces, cratères) et notent si les signes sont récents (cratères) ou anciens (traces fondues, soufflées par le vent, manquant de définition). Les fèces sont ramassées au sol au fur et à mesure qu'ils sont rencontrés lors de la fouille systématique. Les sites peuvent être revisités par hélicoptère si des vols de reconnaissance à voilure fixe ont été utilisés pour localiser initialement les zones d'activité du caribou. Les protocoles pour assurer la collecte d'échantillons

de haute qualité comprennent : la collecte d'un minimum de 10 pastilles/échantillon et le choix de pastilles congelées ensemble plutôt que de pastilles individuelles (voir Hettinga *et al.* 2012). Pour garantir l'intégrité de l'ADN fécal, les échantillons doivent être conservés congelés à - 20 °C jusqu'à l'extraction de l'ADN.

Ce processus de CR se déroule en deux phases principales :

- **La phase « capture »** est effectuée au début de l'hiver (décembre-février) une fois qu'une couverture de neige suffisante (> 30 cm) est présente, de préférence au plus tard 3 à 4 jours après une chute de neige fraîche significative (oblitérant la trace). Les sites d'échantillonnage potentiels varient au cours d'une même saison : au début de l'hiver, le caribou se nourrit de lichens arboricoles, de carex et d'éricoïdes des tourbières dans les fondrières boisées (O'Brien *et al.* 2006, Arsenault & Manseau 2011), tandis qu'à la fin de l'hiver, ils se déplacent vers des peuplements matures dominés par le pin gris des hautes terres où les lichens terrestres sont abondants et les conditions de neige sont plus favorables à la recherche de nourriture (O'Brien *et al.* 2006).





## 7. Échantillonnage fécal

- **La Phase « recapture »** est effectuée au minimum 3 semaines après la phase de capture, de préférence 3 à 4 jours après une importante chute de neige fraîche. Un taux de recapture seuil  $> 20\%$  est requis pour une précision adéquate des estimations des modèles CR (White *et al.* 1982), mais la « recapture » d'un individu n'est pas confirmée tant que des échantillons fécaux n'ont pas été analysés en laboratoire. Il est donc important de maximiser la collecte d'échantillons à chaque site d'échantillonnage (généralement  $\sim 1,5$  fois le nombre estimé d'individus ; Micheline Manseau, *comm. pers.*).

Après le prélèvement des échantillons, l'analyse en laboratoire consiste à décongeler les échantillons et à retirer la couche muqueuse entourant les pastilles pour l'analyse de l'ADN ; protocole d'extraction et d'amplification est décrit dans Ball *et al.* (2007). Les échantillons ont fait l'objet d'une analyse de génotype (et le sexe est identifié) selon un protocole documenté (e.g. Flasko *et al.* 2017, McFarlane *et al.* 2018), et les individus sont identifiés (Galpern *et al.* 2012a).

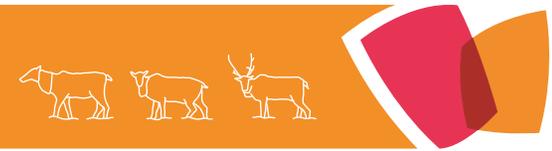
Notez qu'il y a un nouveau projet en cours (P. Wilson, Université Trent et M. Manseau, Environnement et Changement climatique Canada; financé par le Programme de Partenariat pour les Applications Génomiques) pour développer et mettre en œuvre des méthodes de génotypage hautement normalisées et rentables, afin d'améliorer le partage des données pour la conservation du caribou (en assurant la compatibilité croisée entre les laboratoires) et pour développer des pratiques exemplaires pour estimer une répartition de paramètres de population. Les objectifs du projet comprennent l'extraction fiable de génotypes uniques à l'aide de nouvelles technologies de séquençage, de données sur l'alimentation et le microbiome à l'aide de méthodes de métabarcodage et le développement de meilleures pratiques (taille de l'échantillon, fréquence d'échantillonnage) pour maximiser le rapport coût-efficacité des efforts de surveillance. Toutes les données produites dans le cadre de ce projet sont gérées dans une base de données en ligne.

Voir <http://www.ecogenomicscanada.ca/> pour plus d'informations.



Crédit photo : Marc Bradley

# MÉTHODES INDIRECTES



## 7. Échantillonnage fécal

### 7.2 APTITUDE À LA SURVEILLANCE

#### 7.2.1 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

X	La méthode x n'est pas appropriée à l'évaluation de ce paramètre	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	Décomptes minimaux	Tendance de la Croissance démographique	Survie / mortalité	Recrutement/reproduction	État corporel	Maladies	Autres indicateurs de santé	Recherche de nourriture / nutrition
✓	La méthode permet de collecter des informations ou, combinée à d'autres méthodes, permet d'émettre des déductions														
✓✓	La méthode fournit des informations considérables et est appropriée à l'évaluation														
✓✓✓	La méthode est la plus appropriée et/ou vise spécifiquement l'évaluation 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															
Méthodes indirectes	Échantillonnage fécal	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓	✓	✓✓✓	✓✓

\*\*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 ».

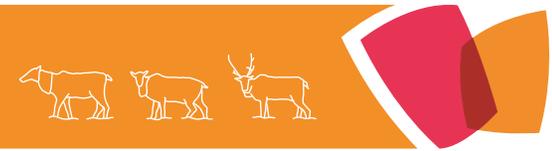
#### 7.2.2 PARAMÈTRES DE SUIVI ET INFORMATIONS (SUPPLÉMENT AU TABLEAU 1)

\*Notez que la majorité des paramètres énumérés ci-dessous sont possibles en raison des données génétiques contenues dans les échantillons fécaux et ne nécessitent pas nécessairement une approche capture-recapture/capture-recapture spatialement explicite pour analyser ces données

- Niveau de condition physique individuel, pedigrees et relations de parenté (Kalinowski et al. 2007, McFarlane et al. 2018, McFarlane et al. 2021)
- Niveaux de diversité génétique (coefficient de consanguinité/valeur Fst) et inférence de la structure de la population via l'attribution de l'ascendance à

un groupe génétique caractérisé par un ensemble de fréquences d'allèles (Weir & Cockerham 1984, Ball et al. 2010, Priadka et al. 2018, Thompson et al. 2019)

- Paramètres du paysage affectant les modèles de flux de gènes et la structure de la population (Galpern et al. 2012b, 2014, Priadka et al. 2018; Thompson et al. 2019)
- L'alimentation peut être analysée par métabarcoding (Newmaster et al. 2013)
- Des analyses hormonales d'échantillons fécaux ont été utilisées pour déterminer le taux de grossesse et d'évaluer le stress physiologique et



## 7. Échantillonnage fécal

nutritionnel (Morden *et al.* 2011, Joly *et al.* 2015, Flasko *et al.* 2017). Notez cependant que les concentrations d'hormones fécales sont influencées par divers facteurs, notamment le régime alimentaire, les conditions environnementales (e.g. l'humidité) et la consistance des fèces (frais ou séchés), qui doivent être soigneusement pris en compte et pris en compte (Palme, 2005). De plus, l'utilisation des concentrations de progestérone pour la confirmation de la grossesse est plus précise (> 95 %; Morden *et al.*, 2011 ; Messier *et al.*, 1990) une fois la saison de reproduction terminée et que les niveaux de progestérone chez les femelles gestantes sont significativement élevés par rapport aux femmes non gestantes/non ovulatoires.

- Le génotypage du génome complet et du Polymorphisme Mononucléotidique (SNP) peut permettre d'étudier les variations potentiellement fonctionnelles et les différences adaptatives entre les écotypes (Flanagan *et al.* 2018, Horn *et al.* 2018, Taylor *et al.* 2019, 2020, 2021a,b)

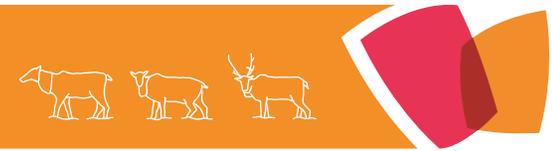


Crédit Photo : Marc Bradley

- Les échantillons de granulés peuvent être testés pour la charge parasitaire (Turgeon *et al.* 2018)
- Les données sur l'habitat peuvent être enregistrées lors d'enquêtes d'échantillonnage, par exemple pour distinguer les perturbations anthropiques (coupées, sentiers/routes) des perturbations naturelles (feux de forêt, chablis)

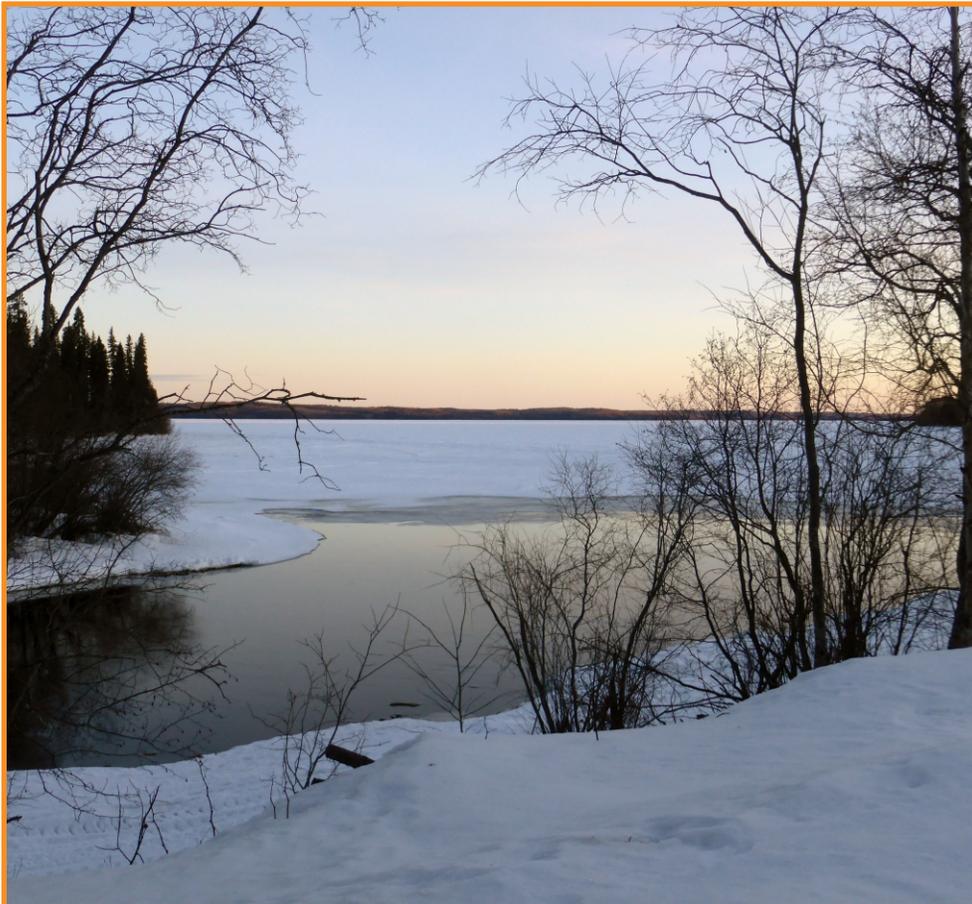
### 7.2.3 APPLICATION

- Convient pour l'estimation de l'abondance à l'échelle des sous-populations (via CR/SCR), et est également applicable aux études au niveau du paysage de la connectivité ou du flux génétique.
- Convient pour l'estimation de la distribution/occupation (par exemple Steenweg *et al.* 2018), a fourni des échantillons de conception de relevé à l'échelle du paysage et couvre une partie importante de la zone d'utilisation principale en hiver.
- Applicable aux estimations de la taille de la population si les événements de capture et de recapture sont effectués au cours du même hiver pour permettre l'utilisation d'estimateurs de population fermés (par exemple Hettinga *et al.* 2012, McFarlane *et al.* 2020a)
- Permet l'estimation de la tendance de la population avec un minimum de trois enquêtes primaires effectuées à des intervalles d'un ou de deux ans, les enquêtes secondaires ayant lieu trois à quatre semaines plus tard (Hettinga *et al.* 2012)
- La conception de l'échantillonnage par transect pour détecter les groupes et l'activité permet de collecter des mesures d'évaluation démographique de la population (taureaux/vache, veaux/vache, veaux/adulte, %veaux) pour déduire les rapports de masculinité et le recrutement (Moeller *et al.* 2021)
- Utile pour les études de dispersion et de mouvement, car elle permet la détection des changements dans les zones d'activité hivernale au fil des ans, ainsi que l'identification de l'ampleur et de la direction du flux de gènes grâce à l'identification des migrants et des réseaux de mouvements saisonniers relatifs. De nombreuses études illustrent maintenant ses applications aux études de dispersion (flux de gènes) et de schémas de migration à l'intérieur et entre les aires de répartition (Berry *et al.* 2004,



## 7. Échantillonnage fécal

McLoughlin *et al.* 2004, Paetkau *et al.* 2004, Galpern *et al.* 2012b, 2014, Drake *et al.* 2018, Priadka *et al.* 2018, Thompson *et al.* 2019, McFarlane *et al.* 2020a). L'échantillonnage fécal peut également être utilisé pour surveiller la dynamique source-puits grâce à l'identification des migrants parmi les populations (c'est-à-dire les grappes génétiques) (Ball *et al.* 2010, Priadka *et al.* 2018, Thompson *et al.* 2019, McFarlane *et al.* 2021)



Crédit Photo : Lorne Gould

- Actuellement, la seule méthode de surveillance qui permet d'estimer la taille effective de la population (c'est-à-dire une estimation génétique de la taille d'une population idéale qui aurait le même degré de consanguinité que la population considérée ; voir Frankham *et al.* 1995, Luikart *et al.* 2010, Garner *et al.* 2020).
- Les méthodes CR/SCR ne sont pas destinées aux études d'abondance à petite échelle sur de petites zones d'échantillonnage car l'échantillonnage d'une seule étude est souvent suffisant pour l'estimation démographique (M. Manseau, *comm. pers.*). Notez cependant que les enquêtes génétiques à l'échelle des sous-populations peuvent être utiles pour estimer d'autres paramètres tels que la condition physique individuelle, les relations familiales ou le flux génétique.
- Moins adapté à l'échantillonnage pendant les saisons sans neige car il est beaucoup plus difficile de trouver des échantillons fécaux sans couverture de neige, et l'ADN dans les fèces se dégrade plus facilement lorsqu'il n'est pas congelé.

### 7.2.4 AVANTAGES

- Aucune capture ou manipulation directe des animaux n'est requise
- Approche efficace et riche en informations à initier à l'échelle de l'aire de répartition/de la population (par rapport aux méthodes de surveillance traditionnelles, par exemple Lamb *et al.* 2019)
- Génère des estimations précises des paramètres sous réserve d'une taille d'échantillon et de zones d'échantillonnage suffisantes (McFarlane *et al.* 2020a)

### 7.2.5 DÉSAVANTAGES

- Les contraintes météorologiques peuvent entraîner une prolongation (prolongation) significative des événements de collecte d'échantillons
- De mauvaises conditions d'éclairage peuvent réduire considérablement la détection des signes et de l'activité
- L'échantillonnage ne peut pas être effectué dans des endroits où l'hélicoptère ne peut pas atterrir en toute sécurité

# MÉTHODES INDIRECTES



## 7. Échantillonnage fécal

### 7.3 CONSIDÉRATIONS ET EXIGENCES

Par renvoi au Tableau d'Appropriation 2 : Comparaison de l'appropriation et des exigences des méthodes de suivi

Échelle spatiale	Échelle spatiale		Besoins en matière de données		Implication de la Communauté		Ressources			Considérations Éthiques				
	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	Empreinte carbone		
<p>✓ La méthode permet de collecter des informations à cette échelle spatiale</p> <p>✓✓ La méthode est appropriée pour une application à cette échelle spatiale</p> <p>✓✓✓ La méthode est la plus appropriée pour une application à cette échelle spatiale</p> <p><b>Application combinée des Connaissances Autochtones :</b></p> <p>P – Planification      D – Collecte de données A – Analyse              R – Rapport</p> <p><i>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</i></p>	Méthodes indirectes	Échantillonnage fécal	✓✓	✓✓✓	Variable (voir texte)	Élevé	Modéré	P, D, A, R	Modéré	Modéré	Modéré/Élevé	Non	Aucun	Élevé

\*\* Il ne s'agit que de lignes directrices générales; reportez-vous au texte pour plus de détails sur les exigences d'échantillonnage.

#### 7.3.1 ÉCHELLE SPATIALE

- L'analyse de capture-recapture/capture-recapture spatiale pour l'estimation de paramètres tels que la taille et la tendance de la population est la plus appropriée à l'échelle d'une aire de répartition du caribou ou d'une partie importante de l'aire de répartition d'une population locale.
- D'autres applications des données génétiques, telles que les mesures de parenté génétique, le flux génétique ou l'analyse généalogique, peuvent être évaluées à l'échelle de la sous-population ou de la population (par exemple, Priadka et al. 2018, Thompson et al. 2019, McFarlane et al. 2021).

#### 7.3.2 BESOINS EN DONNÉES ET CONFIANCE

- En règle générale, les aires de répartition sont étudiées une fois si la structure de la population ou la connectivité du paysage sont l'objectif, ou répétées 2 à 3 fois au cours d'un même hiver pour obtenir des estimations de la taille, de la tendance ou de la généalogie de la population (M. Manseau, comm. pers.).
- Une seule estimation de population statique nécessite deux événements d'échantillonnage (capture et recapture), de préférence au cours de la même saison (à un minimum de 3 semaines d'intervalle) pour permettre l'utilisation d'estimateurs de population fermés (Hettinga et al. 2012, McFarlane et al. 2018). Des approches d'estimation à échantillonnage unique sont en cours de développement (Ruzzante et al. 2019).



## 7. Échantillonnage fécal

- Les relevés aériens sont généralement espacés de 3 km pour assurer une couverture adéquate, car il est essentiel d'obtenir suffisamment de recaptures d'individus entre les relevés pour estimer l'abondance.
- Un minimum de dix granulés/échantillon doit être collecté pour collecter des échantillons de haute qualité, en sélectionnant des granulés congelés ensemble plutôt que des granulés simples (Hettinga *et al.* 2012). À chaque site de cratérisation, environ 1,4 échantillon de plus que le nombre de caribous que l'on pense être présents devrait être prélevé pour s'assurer que tous les individus seront échantillonnés (Hettinga *et al.* 2012)
- L'analyse de puissance a été effectuée à l'aide de données réelles et simulées (McFarlane *et al.* 2020a) et les premiers résultats suggèrent que la puissance d'estimation varie avec la taille et la structure de la population.



Crédit Photo : Al Arsenault

- Des informations précises sur le génotypage sont essentielles lors de la collecte de données génétiques à utiliser dans l'analyse de capture-recapture, car l'inclusion de génotypes erronés peut entraîner une surestimation de la taille de la population (Creel *et al.* 2003, Hettinga *et al.* 2012).

### 7.3.3 IMPLICATION DE LA COMMUNAUTÉ

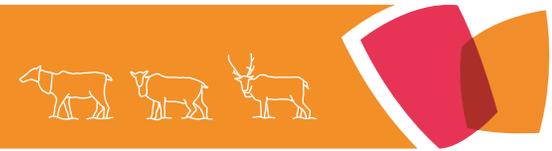
#### Possibilités d'implications des communautés Locales

- La collecte d'ADN fécal et l'analyse subséquente du matériel génétique sont des méthodes très propices à l'implication des membres de la communauté locale à toutes les étapes d'un projet (e.g. Polfus *et al.* 2016).
- Les membres de la communauté locale peuvent être facilement formés aux méthodes de collecte et de conservation des échantillons stériles et peuvent directement aider les biologistes formés. L'implication d'experts locaux est particulièrement pertinente pour éclairer les plans d'enquête et mener la collecte sur le terrain.

#### Potentiel D'applications Combinées des Connaissances Autochtones

*Veillez noter que toute application des Connaissances Autochtones 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
  - Les Connaissances Autochtones permettent de délimiter les zones d'échantillonnage 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. Des approches sensibles à la culture du partage des connaissances peuvent faciliter la communication et la participation aux études génétiques par les membres des communautés autochtones (voir Polfus *et al.* 2017).
- Collecte de données
  - La nature indirecte de cette approche de surveillance (c'est-à-dire sans contact avec les animaux) est conforme aux nombreux points de vue autochtones où les méthodes non invasives sont préférées (M. Manseau, *comm. pers.*; CNSCB 2019)



## 7. Échantillonnage fécal

- Analyse
  - Les connaissances Autochtones peuvent fournir un contexte précieux à l'interprétation des données génétiques (par exemple, par le biais d'un groupe consultatif composé d'experts et de détenteurs de connaissances autochtones ; Polfus *et al.* 2016)
- Rapports
  - Les membres des communautés autochtones peuvent et doivent participer à la diffusion et à la discussion des résultats de la recherche dans leur propre langue. Par exemple, la recherche collaborative en cours entre Environnement et Changement climatique Canada (M. Manseau) et l'Office des ressources renouvelables du Sahtu offre explicitement des possibilités de leadership, de diffusion et de validation de la recherche autochtone à toutes les étapes de leur travail sur l'ADN fécal.

**Coût : \$-\$\$\$**

### 7.3.4 RESSOURCES

#### Frais d'équipement

- Kits d'échantillonnage, bâtonnets stériles pour la manipulation des échantillons, refroidisseurs pour conserver les échantillons congelés jusqu'à leur analyse
- Achat d'équipement d'analyse de laboratoire ou coût d'envoi d'échantillons pour analyse ; notez que de nouvelles méthodes sont en développement pour réduire les coûts d'analyse et maximiser la qualité des données (M. Manseau, communication personnelle/Projet Génome Canada).
- Temps d'hélicoptère ; un 600 km<sup>2</sup> les zones d'échantillonnage prendra environ 3,5 jours par événement d'échantillonnage (en fonction du temps de trajet jusqu'à la zone d'étude) si échantillonnage sur 12 à 14 sites d'alimentation/cratérisation par événement

#### Frais de personnel

- Deux observateurs entraînés à bord de l'hélicoptère
- Personnel pour effectuer l'analyse de génotypage en laboratoire (inclus 60 \$/estimation de l'échantillon, tout en notant que le prix variera dans le temps et selon les installations de laboratoire ; M. Manseau, *comm. pers.* /Projet Génome Canada; <http://www.ecogenomicscanada.ca/>)

### Complexité Logistique : SIMPLE-COMPLEXE\*

\* La complexité logistique est considérée comme simple pour la collecte d'échantillons, mais complexe pour l'analyse des données

#### Compétences requises

- Le travail sur le terrain nécessite du temps à bord de l'hélicoptère ainsi que sur le terrain pour collecter physiquement des échantillons
- Une expertise dans les techniques de laboratoire génétique et l'analyse des données est nécessaire pour traiter les échantillons d'ADN et interpréter les résultats.



# MÉTHODES INDIRECTES



## 7. Échantillonnage fécal

### Capture/Manipulation : NON

#### 7.3.5 PRÉOCCUPATIONS ÉTHIQUES

##### Capture/manipulation

- Aucune capture ou manipulation requise

##### Stress potentiel lié au suivi

- Il n'y a pas de poursuite d'animaux pour cette méthode de surveillance. Bien que la collecte d'ADN fécal puisse dans certains cas être menée en combinaison avec des enquêtes de classification, aucune poursuite d'animaux n'est nécessaire pour mener des études d'ADN fécal.

##### Empreinte carbone/environnementale

- Élevée, étant donné le temps d'hélicoptère important requis pour effectuer des levés



Crédit Photo : Bridget Redquest et Team Wilson Research (Université Trent)

## 7.4 EXEMPLES

### **ALBERTA (COLD LAKE, RIVIÈRE ATHABASCA DU CÔTÉ EST, RIVIÈRE ATHABASCA DU CÔTÉ OUEST, TERRE ROUGE, LAC DES ESCLAVES, NIPISI ET RÉPARTITIONS DE LITTLE SMOKY)**

Entre 2014 et 2018, des relevés génétiques non invasifs ont été utilisés pour estimer avec précision l'abondance de sept populations de caribou boréal de l'Alberta. L'estimation précise de l'abondance est un élément essentiel de la surveillance et du rétablissement des espèces rares et insaisissables. Les approches d'échantillonnage génétique non invasives peuvent atténuer les défis associés à l'étude d'espèces rares et insaisissables telles que le caribou, en construisant des historiques de capture à partir d'ADN prélevé sur des matières fécales, des poils ou d'autres échantillons prélevés de manière non invasive. McFarlane *et al.* (2020a) ont fourni un cadre analytique pour évaluer les résultats d'études SCR empiriques non invasives et pour informer sur la conception de l'échantillonnage SCR. Les chercheurs ont utilisé des données provenant de sept aires de répartition du caribou boréal (avec des populations variant en abondance et en taille géographique) pour explorer l'influence d'une intensité d'échantillonnage variée sur le biais relatif et la précision des estimations de densité SCR. Les résultats montrent qu'une intensité d'échantillonnage réduite a eu un impact plus important sur les estimations de densité dans des répartitions plus petites, et les meilleurs plans d'échantillonnage ne différaient pas avec la densité de population estimée, différaient entre les grandes et les petites répartitions. Les chercheurs ont fourni un cadre Efficient R pouvant être utilisé lors de la conception d'un programme de surveillance afin de minimiser les efforts et les coûts tout en maximisant l'efficacité, ce qui est essentiel pour informer la gestion et la conservation de la faune. La combinaison de l'échantillonnage génétique non invasif et de la modélisation SCR est une approche efficace, exacte et précise pour surveiller le caribou.



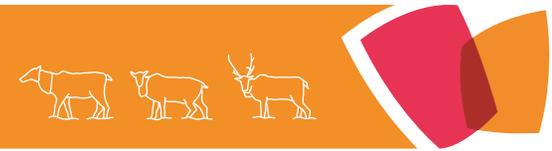
## 7. Échantillonnage fécal

### 7.4 EXEMPLES

**TERRITOIRES DU NORD-OUEST** L'échantillonnage fécal pour les analyses d'ADN a été effectué entre 2012-14 dans le cadre d'un projet de collaboration entre des chercheurs, le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, l'industrie et cinq Dene locaux et communauté de Métis, afin de comprendre la différenciation des caribous et la structure de la population. Les membres de la communauté ont été encouragés par des efforts de sensibilisation du public à aider à la collecte d'échantillons, et les chasseurs et les trappeurs ont collecté des échantillons lors de leurs déplacements lors d'activités terrestres normales. Des fèces de caribou ont été recueillies sur la neige, placés dans des sacs en plastique et conservés congelés à -20 °C jusqu'à l'analyse en laboratoire. Tout d'abord, la couche muqueuse externe des fèces a été tamponnée avec un applicateur à pointe de coton stérile pour obtenir des cellules épithéliales pour l'extraction d'ADN. Par la suite, des écouvillons ont été placés dans un tampon de lyse, digérés pendant une période d'incubation de 12 h, et l'ADN a été extrait; les loci microsatellites ont été amplifiés pour l'analyse au niveau de la population, et l'ADN mitochondrial a été séquencé pour l'analyse des lignées ancestrales. Cette analyse génétique des microsatellites et de l'ADN mitochondrial des fèces de caribou, recueillies en collaboration avec des membres de la communauté pendant l'hiver, a soutenu la différenciation des populations qui correspondait aux types de caribous reconnus par les Dénés. Voir Polfus *et al.* 2016 pour plus de détails.



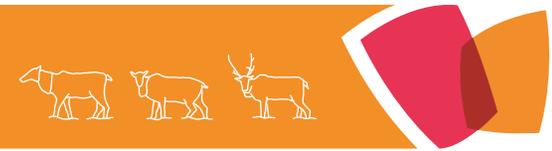
# MÉTHODES INDIRECTES



## BIBLIOGRAPHIE

- Arsenault, A.A. & Manseau, M. (2011). Stratégies de gestion des terres pour la persistance à long terme du caribou des bois boréal dans le centre de la Saskatchewan 2011. Numéro spécial 19, 23-40 de Rangifer.
- Ball, M.C, Pither, R., Manseau, M., Clark, J., Petersen, S.D, Kingston, S., Morrill, N. et Wilson, P. (2007). La caractérisation de l'ADN nucléaire cible des matières fécales réduit les problèmes techniques associés aux hypothèses de modèle de faible qualité et quantité. *Conservation Genetics* 8, 577-586.
- Ball, M.C, Finnegan, L., Manseau, M. et Wilson, P. (2010). Intégrer de multiples approches analytiques pour délimiter spatialement et caractériser la structure génétique des populations : une application au caribou boréal (*Caribou Rangifer tarandus* dans le centre du Canada. *Conservation Genetics* 11, 2131-2143.
- Barrueto, M., Ford, A.T., et Clevenger, A.P. (2014). Effets anthropiques sur les schémas d'activité de la faune aux ouvrages de franchissement. *Écosphère* 5, 27. <https://doi.org/10.1890/ES13-00382.1>
- Berry, O., Toche, M.D, & Sarre, S.D (2004). Les tests d'affectation peuvent-ils mesurer la dispersion ? *Molecular Ecology* 13, 551-561.
- Blagdon, D., & Johnson, C.J. (2021). Court terme, mais risque élevé de prédation pour le caribou des montagnes en voie de disparition pendant la migration saisonnière. *Biodiversité et Conservation*, 1-21.
- Borchers, D. L., & Efford, M.G. (2008). Méthodes du maximum de vraisemblance pour les études de capture-recapture spatialement explicites. *Biometrics*, 64, 377-385.
- Broadley, K., Burton, AC, Avgar, T. et Boutin, S. (2019). L'utilisation de l'espace en fonction de la densité affecte l'interprétation des taux de détection des caméras pièges. *Écologie et Evolution* 9, 14031-14041. <https://doi.org/10.1002/ece3.5840>
- Brodie J.F, Giordano A.J., Zipkin E.F, Bernard, H., Modh-Azlan, J., & Abu, L. (2015a). Corrélation et persistance des impacts de la chasse et de l'exploitation forestière sur les mammifères de la forêt tropicale humide. *Conservation Biologie* 29, 110-21.
- Brodie, J.F, Giordano, A.J., Dickson, B., Hebblewhite, M., Bernard, H., Mohd-Azlan, J., Anderson, J. et Ambu, L. (2015b). Évaluation de la connectivité du paysage multi-espèces dans une communauté de mammifères tropicaux menacées. *Conservation Biology* 29, 122-132.
- Bruggeman, D.J, Wiegand, T., & Fernandez, N. (2010). Les effets relatifs de la perte et de la fragmentation de l'habitat sur la variation génétique des populations de pics à face blanche (*Picoïdes boréaux*). *Molecular Ecology* 19, 3679-3691.
- Burgar JM, Stewart FEC, Volpe J.P, Fisher J.T., Burton A.C. (2018). Estimation de la densité pour la conservation des espèces : Comparaison des modèles de comptage spatial des caméras pièges aux modèles génétiques spatiaux de capture-recapture. *Écologie Mondiale et Conservation* 15, e00411.
- Burgar, J.M., Burton, A.C., et Fisher, J.T. (2019). L'importance de considérer plusieurs espèces en interaction pour la conservation des espèces en péril. *Biologie de la Conservation* 33, 709-715
- Burton C.A., Neilson E., Moreira D., Ladle A., Steenweg R., Fisher J.T., Bayne E. et Boutin S. (2015). Piégeage photographique de la faune : un examen et des recommandations pour relier les relevés aux processus écologiques. *Journal of Applied Ecology* 52, 675- 685.
- Caravaggi, A., Banks, P.B., Burton, A.C., Finlay, C.M.V., Haswell, P.M., Hayward, M.W., Rowcliffe, M.J., et Wood, M.D. (2017). Un examen du piégeage photographique pour la recherche sur le comportement de conservation. *Téledétection en Écologie et Conservation* 3, 109-122
- Caravaggi, A., Burton, A.C., Clark, D.A., Fisher, J.T., Grass, A., Green, S., & Rivet, D. (2020). Un examen des facteurs à prendre en compte lors de l'utilisation de caméras automatiques pour étudier le comportement des animaux afin d'informer l'écologie et la conservation de la faune. *Science et Pratique de la Conservation* 2, e239.
- Carr, N.L., Rodgers, A.R., Kingston, S.R., Hettinga, P., Thompson, L.M., Renton, J.L. et Wilson, P. (2010). Relevés comparatifs des populations de caribous des bois dans le parc provincial de Slate Islands, Ontario. Numéro Spécial Rangifer N° 20, 205-217.
- Carroll, E.L., Bruford, M.W., DeWoody, J.A., Leroy, G., Strand, A. Wais, L. et Wang, L.J. (2018). Surveillance génétique et génomique avec des méthodes d'échantillonnage peu invasives. 1-26.
- Chandler, R.B., et Clark, J.D. (2014). Modèles de population intégrés spatialement explicites. *Methods in Ecology and Evolution* 5, 1351-1360.
- Creel, S., Spong, G., Sands, J.L., Rotella, J., Zeigle, J., Joe, L. et Smith, D. (2003). Estimation de la taille de la population de loups de Yellowstone avec des génotypes microsatellites non invasifs sujets aux erreurs. *Molecular Ecology* 12, 2003-2009.
- Cromsigt, J.P, van Rensburg, S.J., Etienne, R.S., et Oloff, H. (2009). Suivi de la diversité des grands herbivores à différentes échelles : comparaison des méthodes directes et indirectes. *Biodiversité et Conservation* 18, 1219-1231.
- DeMars, C., Boulanger, J., & Serrouya, R. (2015) Une revue de la littérature pour les espèces rares et élusives, et recommandations pour la création d'enquête pour le suivi du caribou boréal. Rapport présenté au Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest.
- Drake, C.C., Manseau, M., Klütsch, C.F.C., Priadka, P., Wilson, P.J., Kingston, S. et Carr, N. (2018). Existe-t-il une connectivité pour le reste du caribou boréal (*Caribou Rangifer tarandus*) le long de la répartition Côtière du Lac Supérieur? Options pour la restauration du paysage. *Rangifer*, 38, 13-26.
- Efford, M. (2004). Estimation de la densité dans les études de piégeage vivant. *Oikos* 106, 598-610. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.13043.x>

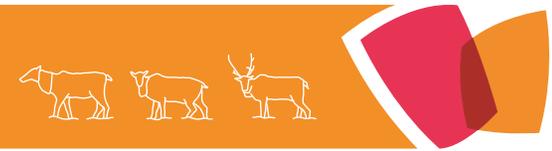
# INDIRECT METHODS



## REFERENCES

- eMammal. (2017). Observez la faune, faites de la science. Consulté en ligne à partir de <https://emammal.si.edu/> le 17 février 2020.
- Fisher, J.T., et A.C. Burton. (2018). Gagnants et perdants de la faune dans un paysage de sables bitumineux. *Frontiers in Ecology and the Environment* 16, 323-328.
- Fisher, J.T., Wheatley, M. et Mackenzie, D. (2014). Schémas spatiaux du succès de reproduction des grizzlis dérivés de modèles multi-états hiérarchiques. *Conservation Biology* 28, 1249–59.
- Flanagan, S.P., Forester, B.R., Latch, E.K., Aitken, S.N. et Hoban, S. (2018). Lignes directrices pour la planification de l'évaluation génomique et la surveillance de la variation adaptative locale pour éclairer la conservation des espèces. *Evolutionary Applications* 11, 1035-1052.
- Flasko, A., Manseau, M., Mastromonaco, G., Bradley, M., Neufeld, L. et Wilson, P. (2017). Analyse des hormones fécales comme outil non invasif pour estimer la classe d'âge du caribou des bois (*Caribou Rangifer tarandus*). *Revue Canadienne de Zoologie* 95, 311–321.
- Forrester T., O'Brien T., Fegraus E., Jansen P., Palmer J., Kays R., Ahumada J., Stern B. et McShea W. (2016) An Open Standard for Camera Trap Data. *Biodiversity Data Journal* 4, e10197. <https://doi.org/10.3897/BDJ.4.e10197>
- Frankham, R. (1995). Rapports effectifs de la taille de la population/taille de la population adulte chez les animaux sauvages : un examen. *Recherche Génétique* 66, 95-107.
- Frey, S., Fisher, J.T., Burton, A.C., et Volpe, J.P. (2017). Étudier les modèles d'activité animale et la répartition temporelle des niches à l'aide de données de camera automatiques : défis et opportunités. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 3, 123-132.
- Galpern P., Peres-Neto, P., Polfus, J., & Manseau, M. (2014). MEMGENE : Détection de modèles spatiaux dans les données génétiques de distance. *Methods in Ecology and Evolution* 5, 1116-1120.
- Galpern, P., Manseau, M., Hettinga, P., Wilson, P. et Smith, K. (2012a). ALLELEMATCH : un package R pour identifier les génotypes multilocus uniques où une erreur de génotypage et des données manquantes peuvent être présentes. *Molecular Ecology Resources* 12, 771-778.
- Galpern, P., Manseau, M., & Wilson, P. (2012b). Grains de connectivité : analyse à plusieurs échelles spatiales en génétique du paysage. *Écologie Moléculaire* 21, 3996-4009.
- Garner, B.A., Hoban, S. et Luikart, G. (2020). Liste rouge de l'IUCN et la valeur de l'intégration de la génétique. *Conservation Genetics* 21, 795-801.
- Goode, M.J., Beaver, J.T., Muller, L.I., Clark, J.D., Van Manen, F.T., Harper, C.A., et Basinger, P.S. (2014). Capture - recapture de cerfs de Virginie à l'aide d'ADN de groupes de fèces. *Wildlife Biology* 20, 270-278.
- Harris, R.B., Winnie, J.J., Amish, S.J., Beja-Pereira, A., Godhino, R., Costa, V. & Luikart, G. (2010). Abondance d'Argali dans le Pamir afghan utilisant une modélisation de capture-recapture à partir d'ADN fécal. *Journal of Wildlife Management* 74,668-677.
- Hettinga, P.N., Arnason, A.N., Manseau, M., Cross, D., Whaley, K. & Wilson, P.J. (2012). Estimation de la taille et de la tendance de la population de caribous des bois de North Interlake à l'aide de modèles d'ADN fécal et de capture-recapture. *Journal of Wildlife Management* 76, 1153-1164. DOI: [10,1002/jwmg.380](https://doi.org/10.1002/jwmg.380).
- Hofmeester T.R., Croomsigt J.P.G.M., Odden J., Andrén H., Kindberg J., Linnell J.D.C. (2019a). Images d'encadrement : Un cadre conceptuel pour identifier et corriger les biais dans la probabilité de détection des caméras automatiques permettant une comparaison multi-espèces. *Ecology and Evolution* 9, 2320–2336.
- Hofmeester T.R., Young, S., Juthberg, S., Singh, N.J., Widemo, F., Andrén, H., Linnell, J.D.C. et Croomsigt, J.P.G.M. (2019b). Utilisation de données sur les prises accessoires provenant d'enquêtes sur la faune pour quantifier les paramètres climatiques et le moment de la phénologie des plantes et des animaux à l'aide de caméras automatiques. *Téledétection en Écologie et Conservation* DOI: [10,1002/rse2.136](https://doi.org/10.1002/rse2.136).
- Holinda, D., Burgar, J.M., et Burton, A.C. (2020). Les effets du leurre olfactif sur les détections de caméras automatiques varient selon les mammifères prédateurs et les espèces de proies. *PLoS ONE* 15: e0229055.
- Horn R., Marques, A.J.D., Manseau, M., Golding, B., Klütsch, C.F.C., Abraham, K., & Wilson, P.J. 2018. Évolution parallèle des changements propres à un site dans des lignées divergentes de caribous. *Ecology and Evolution* DOI : [10,1002/ece3.4154](https://doi.org/10.1002/ece3.4154).
- Joly, K., Wasser, S.K., et Booth, R. (2015). Évaluation non invasive des interrelations entre le régime alimentaire, le taux de gestation, la composition du groupe et le stress physiologique et nutritionnel du caribou de la toundra à la fin de l'hiver. *PLoS ONE* 10(6).
- Kalinowski, S.T., Taper, M.L., et Marshall, T.C. (2007). La révision de la façon dont le programme informatique CERVUS gère les erreurs de génotypage augmente le succès de l'attribution de paternité. *Molecular Ecology* 16, 1099-1106.
- Karanth K.U., et Nichols, J.D. (1998). Estimation des densités de tigres en Inde à l'aide de captures et recaptures photographiques. *Ecology* 79, 2852-2862.
- Kays, R., Arbogast, B.S., Baker-Whitton, M., Beirne, C., Boone, H.M., Bowler, M., Burneo, S.F., Cove, M.V., Ding, P., Espinosa, S. et Gonçalves., A. L. S. (2020). Une évaluation empirique de la conception de l'étude des caméras automatiques : Combien, combien de temps et quand ?. *Méthodes in Ecology and Evolution* DOI : [10.1111/2041-210X.13370](https://doi.org/10.1111/2041-210X.13370).
- Keim J.L., Lele S.R., DeWitt P.D., Fitzpatrick J.J., et Jenni N.S. (2019). Estimation de l'intensité d'utilisation par les prédateurs et les proies en interaction à l'aide de caméras automatiques. *Journal of Animal Ecology* 88, 690- 701.

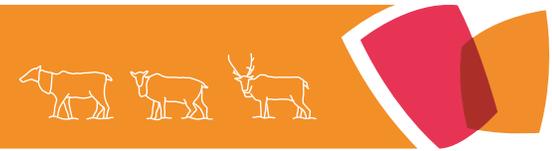
# INDIRECT METHODS



## REFERENCES

- Kühl, H., Maisels, F., Ancrenaz, M., & Williamson, E.A. (2008). Guide de bonnes pratiques pour les enquêtes et le suivi des populations de grands singes (N° 36). UICN. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/ssc-op-036.pdf>
- Lamb, C.T., Ford, A.T., Proctor, M.F., Royle, J.A., Mowat, G., & Boutin, S. (2019). Étiquetage génétique dans l'Anthropocène : mise à l'échelle de l'écologie des allèles aux écosystèmes. *Ecological Applications* 00(00):e01876. 10,1002/ecap.1876
- Luikart, G., Ryman, N., Tallmon, D.A., Schwartz, M.K., et Allendorf, F.W. (2010). Estimation du recensement et des tailles effectives de population : l'utilité croissante des approches basées sur l'ADN. *Conservation Génétiques* 11, 355-373.
- McFarlane, S., Manseau, M., Horn, R., Andersen, N., Neufeld, L., Bradley, M. et Wilson, P. (2018). Influences génétiques sur la variance des mâles et des femelles dans le succès reproducteur et implications sur le rétablissement du caribou des montagnes gravement menacés. *Global Ecology and Conservation* 16, e00451.
- McFarlane, S., Manseau, M., Steenweg, R., Hervieux, D., Hegel, T.M., Slater, S. et Wilson, P. (2020). Un cadre pour valider les études de capture-recapture par échantillonnage génétique non invasif pour les espèces rares et insaisissables. *Ecology and Evolution* : <https://doi.org/10.22541/au.158955361.18319486>
- McFarlane, S., M. Manseau, P. Wilson. 2021. Réseaux familiaux spatiaux pour déduire la structure démographique des populations sauvages. *Ecology and Evolution* : <https://doi.org/10.22541/au.159908956.65473121>
- McLoughlin, PD, Paetkau, D., Duda, M. et Boutin, S. (2004). Diversité génétique et parenté des populations de caribou boréal dans l'ouest du Canada. *Biological Conservation* 118, 593-598.
- McShea, W.J., Forrester, T., Costello, R., He, Z. et Kays, R. (2015). Caméras gérées par des bénévoles comme capteurs distribués pour la recherche sur les macro-systèmes des mammifères. *Landscape Ecology* 31, 55-66.
- Meek P., Ballard G., Claridge A., Kays, R., Moseby, K., O'Brien, T., O'Connell, A., Sanderson, J., Swann, D.E., Tobler, M., & Townsend, S. (2014a). Principes directeurs recommandés pour les rapports de recherche sur le caméra pièges. *Biodiversity and Conservation* 23, 2321-43.
- Meek, P.D., Ballard, G.-A., Fleming, P.J.S., Schaefer, M., Williams, W. et Falzon, G. (2014b). Les caméras automatiques peuvent être entendues et vues par les animaux. *PLoS ONE* 9, e110832.
- Meek, P.D., Ballard, G.A., Sparkes, J., Robinson, M., Nesbitt, B. et Fleming, P.J. (2019). Vol et vandalisme de caméras automatiques : occurrence, coût, prévention et implications pour la recherche et la gestion de la faune. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 5, 160-168
- Messier, F., Desaulniers, D.M., Goff, A.K., Nault, R., Patenaude, R., & Crête, M. (1990). Diagnostic de grossesse chez le caribou à partir de progestatifs et d'œstrogènes immunoréactifs excrétés dans les matières fécales. *Journal of Wildlife Management* 54, 279-283.
- Moeller, A.K. Nowak, J.J., Neufeld, L., Bradley, M., Bisailon, J.-F., McFarlane, S., Manseau, M., Wilson, P.J., Lukacs, P.M., et Hebblewhite, M. (2021). Intégrer les comptages, la télémétrie et les données ADN non invasives pour améliorer le suivi démographique d'une espèce en voie de disparition. *Ecosphere*. 12(5):e03443. 10,1002/ecs2.3443
- Morden, C.J.C., Weladji, R.B., Ropstad, E., Dahl, E., Holand, Ø., Mastromonaco, G., & Nieminen, M. (2011). Les hormones fécales comme méthode non invasive de surveillance de la population de rennes. *Journal of Wildlife Management* 75, 1426-1435.
- Morissette, J.T., Richardson, A.D., Knapp, A.K., Fisher, J.I., Graham, E.A., Abatzoglou, J., Wilson, B.E., Breshears, D.D., Henebry, H., Hanes, J.M., et Liang, L. (2008). Suivre le rythme des saisons face au changement global : la recherche phénologique au XXIe siècle. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7, 253-60.
- CNSCB. (2019). Surveillance du Caribou Boréal au Canada - Partie I : Perspectives du Groupe de Travail sur le Suivi des Populations du CNSBC. Consortium National du Savoir sur le Caribou Boréal, Ottawa, Canada. 43 pages.
- Neilson, E.W., Avgar, T., Burton, A.C., Broadley, K. et Boutin, S. (2018). Le mouvement des animaux affecte l'interprétation des modèles d'occupation des relevés de caméras pièges d'animaux non marqués. *Ecosphere* 9:e02092.
- Département Néo-Zélandais de la Conservation (2012). Guide de suivi des populations. <https://www.doc.govt.nz/globalassets/documents/science-and-technique/suivi-des-inventaires/directives-pour-le-suivi-des-populations.pdf>
- Newey, S., Davidson, P., Nazir, S., Fairhurst, G., Verdicchio, F., Irvine, R.J., et van der Wal, R. (2015). Limites des caméras automatiques récréatives pour la recherche sur la gestion et la conservation de la faune : Le point de vue d'un praticien. *Ambio* 44, 624-635
- Newmaster, S. G., Thompson, I. D., Steeves, R. A. D, Rodgers, A. R., Fazekas, A. J., Maloles, J. R., ... & Fryxell, JM (2013). L'Examen de deux nouvelles technologies pour évaluer le régime alimentaire du caribou des bois : enregistreurs vidéos attachés aux colliers et aux barres à code de l'ADN. *Canadian Journal of Forest Research* 43, 897-900.
- Niedballa, J., Courtoil, A., Sollmann R., Mathai, J., Timothy Wong, S., The Truong Nguyen, A., bin Mohamed, A., Tilker, A., & Wilting, A., ( 2020). Consulté en ligne à partir de <https://cran.r-project.org/web/packages/camtrapR/index.html> le 17 février 2020.
- O'Brien, D., Manseau, M., Fall, A., & Fortin, M.-J. (2006). Tester l'importance de la configuration spatiale de l'habitat d'hiver du caribou des bois : Une application de la théorie des graphes. *Biological Conservation* 130, 70-83.

# INDIRECT METHODS



## REFERENCES

- O'Brien, T.G., Kinnaird M.F. et Wibisono H.T. (2003). Tigres accroupis, proie cachée : Tigres de Sumatra et populations de proies dans un paysage de forêt tropicale. *Animal Conservation* 6, 131-139.
- O'Connell, A.F., Nichols, J.D., & Karanth, K.U. (Éditeurs) (2011). *caméras automatiques en écologie animale : méthodes et analyses*. Première édition, Springer Science & Business Media.
- Paetkau, D., Slade, R., Burdens, M. & Estoup, A. (2004). Méthodes d'affectation génétique pour l'estimation directe en temps réel du taux de migration : une exploration basée sur la simulation de la précision et de la puissance. *Molecular Ecology* 13, 55-65.
- Palme R. (2005). Mesure des stéroïdes fécaux : Lignes directrices pour l'application pratique. *Annales de l'Académie des sciences de New York*. 1046-75-80
- Petersen, S.D., Manseau, M. & Wilson, P.J. (2010). Goulots d'étranglement, isolement et vie à la limite nord de l'aire de répartition : Caribou de Peary sur l'île d'Ellesmere, Canada. *Journal of Mammalogy* 91, 698-711.
- Polfus, J.L., Manseau, M., Simmons, D., Neyelle, M., Bayha, W., Andrew, F., Andrew, L., Klütsch, C.F.C., Rice, K., & Wilson, P.J. (2016) . łęhągots'enetę (apprendre ensemble) : l'importance des perspectives autochtones dans l'identification de la variation biologique. *Ecology and Society* 21, 18. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-08284-210218>.
- Polfus, J.L., Simmons, D., Neyelle, M., Bayha, W., Andrew, F., Andrew, L., Merkle, B.G., Rice, K. et Manseau, M. (2017). Convergence créative : explorer la diversité bioculturelle à travers l'art. *Ecology and Society* 22, 4. <https://www.ecologyandsociety.org/vol22/iss2/art4/>
- Priadka, P., Manseau, M., Galpern, P., Trottier, T., McLoughlin, P. et Wilson, P. (2018). Séparer les facteurs de variation génétique dans une population continue. Facteurs de répartition de la variation génétique spatiale pour une population de caribou boréal répartie de façon continue : Implications pour la délimitation des unités de gestion. *Ecology and Evolution* DOI : [10,1002/ece3.4682](https://doi.org/10.1002/ece3.4682).
- Comité des normes d'information sur les ressources (RISC). (2019). *Protocole de Métadonnées des Caméras de Faune : Standards for Components of British Columbia's Biodiversity* No. 44. Direction de la gestion des connaissances, C.B. Ministère de l'Environnement et de la Stratégie sur les changements climatiques et C.B. Ministère des Forêts, des Terres, de l'Exploitation des Ressources Naturelles et du Développement Rural. Victoria, C.B. [www2.gov.bc.ca/assets/download/DABCE3A5C7934410A8307285070C24EA](http://www2.gov.bc.ca/assets/download/DABCE3A5C7934410A8307285070C24EA)
- Rowcliffe, J.M., Field, J., Turvey, S.T. et Carbone, C. (2008). Estimation de la densité animale à l'aide de caméras automatiques sans avoir besoin de reconnaissance individuelle. *Journal of Applied Ecology* 45, 1228- 1236.
- Royle, J.A., Chandler, R.B., Sollmann, R. et Gardner, B. (2014). *Capture-recapture spatiale*. Academic Press, Waltham, MA, États-Unis.
- Ruzzante, D.E., McCracken, G.R., Førland, B., MacMillan, J., Notte, D., Buhariwalla, C., Mills Flemming, J. & Skaug, H. (2019). Validation des méthodes de marquage-recapture des parents proches (CKMR) pour estimer l'abondance de la population. *Ecology and Evolution* 10, 1445-1453.
- Schneider, S., Greenberg, S., Taylor, G.W., et Kremer, S.C. (2020). Trois facteurs critiques affectant les performances de reconnaissance automatisée des espèces d'images pour les caméras automatiques. *Ecology and Evolution* 10, 3503-3517.
- Schwartz, C.C., Haroldson, M.A., White, G.C., Harris, R.B., Cherry, S., Keating, K.A., Moody, D. & Servheen, C. (2006). Influences temporelles, spatiales et environnementales sur la démographie des grizzlis dans l'écosystème du Grand Yellowstone. *Wildlife Monographs* 161, 29941-30008.
- Schwartz, M.K., Luikart, G. & Waples, R.S. (2007). Le suivi génétique comme outil prometteur de conservation et de gestion. *Tendances en Écologie et Évolution* 22, 25-33.
- Scotson, L., Johnston, L.R., Iannarilli, F., Wearn, O.R., Mohd-Azlan, J., Wong, WM, Gray, T.N., Dinata, Y., Suzuki, A., Willard, C.E. et Frechette, J., (2017). Meilleures pratiques et logiciels pour la gestion et le partage des données de caméras pièges pour les études à petite et grande échelle. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 3, pp.158-172.
- Silveria L., Jacomo A.T.A., et Dniiz-Filho J.A.F. (2003). Caméra automatiques, recensement de transects linéaires et relevés de pistes : une évaluation comparative. *Biological Conservation* 114, 351-355.
- Sollmann, R., Gardner, B., Chandler, R.B., Shindle, D.B., Onorato, D.P., Royle, J.A. et O'Connell, A.F. (2013). L'utilisation de plusieurs sources de données fournit des estimations de densité pour la panthère de Floride en voie de disparition. *Journal of Applied Ecology* 50, 961-968
- Stanley, T.R., et Royle, J.A. (2005). Estimation de l'occupation et de l'abondance des sites à l'aide d'indices de détection indirecte. *Journal of Wildlife Management* 69, 874-883.
- Steenweg, R., Hebblewhite, M., Kays, R., Ahumada, J., Fisher, J.T., Burton, C., Townsend, S.E., Carbone, C., Rowcliffe, J.M., Whittington, J., Brodie, J., Royle, J.A., Switalski, A., Clevenger, A.P., Heim, N., & Rich, L.N. (2017). Mise à l'échelle des caméras automatiques : surveiller la biodiversité de la planète avec des réseaux de télécapteurs. *Frontiers in Ecology and the Environment* 15, 26-34.
- Steenweg, R., Hebblewhite, M., Whittington, J., Lukacs, P. et McKelvey, K. (2018). Les échelles d'échantillonnage définissent l'occupation et les relations occupation-abondance sous-jacentes chez les animaux. *Ecology* 99, 172-183.
- Taberlet, P., Waits, L.P., et Luikart, G. (1999). Échantillonnage génétique non invasif : regardez avant de vous lancer. *Ecology and Evolution* 14, 323-327
- Tattersall, E.R., Burgar, J.M., Fisher, J.T., & Burton, A.C. (2020a). L'utilisation des lignes sismiques par les mammifères varie selon la restauration : Application de la restauration de l'habitat à la conservation des espèces en péril dans un paysage fonctionnel. *Biological Conservation* 241, 108295.

# INDIRECT METHODS



## REFERENCES

- Tattersall, E.R., Burgar, J.M., Fisher, J.T., et Burton, A.C. (2020b). Les cooccurrences de prédateurs boréaux révèlent une utilisation partagée des lignes sismiques dans un paysage fonctionnel. *Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1002/ece3.6028>.
- Taylor, R., Horn, R., Zhang, X., Golding, G., Manseau, M. et Wilson, P. (2019). Le Caribou (*Rangifer tarandus*) Génome. *Genes* 10, 540.
- Taylor, R., Manseau, M., Horn, R., Keobouasone, S., Golding, B. et Wilson, P. (2020). Le rôle de l'introggression et du parallélisme écotypique dans la délimitation des unités de conservation intra-spécifiques. *Écologie Moléculaire* <http://dx.doi.org/10.1111/mec.15522>
- Taylor, R., M. Manseau, B. Redquest, S. Keobouasone, P. Gagné, C. Martineau, P. Wilson. (2021a) Séquences du génome entier à partir d'échantillons collectés de manière non invasive. *Conservation des Ressources Génétiques* <https://doi.org/10.22541/au.158809437.78730399>
- Taylor, R., M. Manseau, C.F.C. Klütsch, J. Polfus, A. Steedman, D. Hervieux, A. Kelly, N. Larter, M. Gamberg, H. Schwantje, P.J. Wilson. (2021b). Dynamique des populations de caribous façonnée par les cycles glaciaires avant le dernier maximum glaciaire. *Écologie Moléculaire* <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/mec.16166>
- Thompson, L., Klütsch, C.F.C., Manseau, M., Wilson, P.J. (2019). Les différences spatiales dans la diversité génétique et la migration vers le nord suggèrent une érosion génétique le long de la limite sud de l'aire de répartition du caribou boréal et un recul continu de l'aire de répartition. *Ecology and Evolution* DOI : [10,1002/ece3.5269](https://doi.org/10.1002/ece3.5269)
- Trailcampro. (2020). Caméras de Piste Infrarouges Sans Lueur. Consulté en ligne à partir de <https://www.trailcampro.com/collections/no-glow-infrared-trail-cameras> le 17 février 2020.
- Turgeon, G., Kutz, S. J., Lejeune, M., St-Laurent, M.-H., et Pelletier, F. (2018). Prévalence parasitaire, intensité et richesse de l'infection chez une population menacée, le caribou de l'Atlantique-Gaspésie. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 7, 90-94.
- Valdez, R. (2018). L'art et la Science du piégeage par Caméra . Association de conservation des Parcs Nationaux.
- Villette, P., Krebs, C.J., Jung, T.S., et Boonstra, R. (2016). Le piégeage photographique peut-il fournir des estimations précises des petits mammifères (*Myodes rutilus* et *Peromyscus maniculatus*) densité dans la forêt boréale? *Journal of Mammalogy* 97, 32-40.
- Villette, P., Krebs, C.J. et Jung, T.S. (2017). Évaluer les caméras automatiques comme alternative au piégeage vivant pour estimer la densité des lièvres d'Amérique (*Lepus americanus*) et les écureuils roux (*Tamiasciurus hudsonicus*). *European Journal of Wildlife Research* 63, 7.
- Wearn, O.R, et Glover-Kapfer, P. (2017). Le piégeage photographique pour la conservation : un guide des meilleures pratiques. *WWF Conservation Technology Series* 1, 181.
- Wearn, O.R, et Glover-Kapfer, P. (2019). Snap happy : caméras automatiques sont un outil d'échantillonnage efficace par rapport aux méthodes alternatives. *Royal Society Open Science* 6, 181748.
- Weir, B.S. et Cockerham, C.C (1984). Estimation des statistiques F pour l'analyse de la structure de la population. *Evolution*, 38, 1358-1370.
- White, G.C., Anderson, D.R., Burnham, K.P. & Otis, D.L. (1982). Méthodes de capture-recapture et d'enlèvement pour l'échantillonnage des populations fermées, Los Alamos Natl. Lab., LA-8787-NERP. 235 p.
- White, P.J., Garrott, R.A., Hamlin, K.L., Cook, R.C., Cook, J.G., et Cunningham, J.A. (2011). État corporel et grossesse chez le wapiti du nord de Yellowstone : Preuve des effets du risque de prédation ? *Ecological Applications* 21, 3-8.
- Caméras de Chasse (2020). Caméras De Chasse Consulté en ligne à partir de <https://wildcams.ca/> le 26 octobre 2020.
- Aperçus de la Faune. (2020). Centre d'apprentissage d'Aperçu de la Faune. Consulté en ligne à partir de <https://www.wildlifeinsights.org/> le 17 février 2020.
- Wittische, J., Heckbert, S., James, P.M., Burton, A.C. et Fisher, J.T. (2020). Modélisation communautaire de la distribution des mammifères de la forêt boréale dans un paysage de sables bitumineux. *Science of The Total Environment*, 142500.
- Zooniverse. (2020). Bienvenue dans le zooniverse, la recherche axée sur l'humain. Consulté en ligne à partir de <https://www.zooniverse.org/> le 17 février 2020



