

# Revue de littérature sur les méthodes d'inventaire applicables au loup gris (*Canis lupus*)

Revue de littérature – 2024



**Coordination et rédaction**

Cette publication a été réalisée par la Direction de la gestion de la faune de la Capitale-Nationale - Chaudière-Appalaches (DGFa-03-12) ainsi que par la Direction de la gestion des espèces et des habitats terrestres (DGEHT) du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Elle a été produite par la Direction des communications du MELCCFP.

Auteurs : Sophie Massé (DGFa-03-12), Michaël Bonin (DGEHT) et Sabrina Nadeau (contractuelle).

Les auteurs remercient Jérôme Plourde (DGFa-02), Christian Dussault (DGEHT) et Vincent Rainville (DGFa-04) pour leurs commentaires sur des versions préliminaires de ce document.

**Photo couverture** : Christian Langlois

**Renseignements**

Téléphone : 418 521-3830  
1 800 561-1616 (sans frais)

Formulaire : [www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/reenseignements.asp](http://www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/reenseignements.asp)

Internet : [www.environnement.gouv.qc.ca](http://www.environnement.gouv.qc.ca)

Dépôt légal – 2024  
Bibliothèque et Archives nationales du Québec  
ISBN 978-2-550-97073-6 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.  
© Gouvernement du Québec – 2024



## Table des matières

Table des matières	iv
Liste des tableaux	vi
Avant-propos	vii
Introduction	1
Estimation de l'abondance et de la densité du loup	2
Suivi télémétrique	3
Description de l'approche	3
Études de cas et exemples d'application	4
Avantages	5
Limites d'application et recommandations	5
L'approche capture-marquage-recapture par caméra de détection automatique	7
Description de l'approche capture-marquage-recapture	7
Études de cas et exemples d'application	9
Avantages	9
Limites d'application et recommandations	9
Identification génétique	11
Description de l'approche	11
Études de cas et exemples d'application	12
Avantages	12
Limites d'application et recommandations	12
Données de récolte	14
Description de l'approche	14
Études de cas et exemples d'application	15
Avantages	15
Limites d'application et recommandations	16
Suivi de pistes	18
Description de l'approche	18
Études de cas et exemples d'application	19
Avantages	20
Limites d'application et recommandations	21
Dénombrement auditif	22
Description de l'approche	22
Études de cas et exemples d'application	22
Avantages	24
Limites d'application et recommandations	24
Observations du public	26
Description de l'approche	26
Études de cas et exemples d'application	27
Avantages	28
Limites d'application et recommandations	28

Biomasse des ongulés _____	30
Description de l'approche _____	30
Études de cas et exemples d'application _____	31
Avantages _____	32
Limites d'application et recommandations _____	32
Conclusion _____	39
Bibliographie _____	40

## Liste des tableaux

Tableau 1. Sommaire des principales méthodes d'estimation de l'abondance et de la densité applicables pour le loup ( <i>Canis lupus</i> )	34
---	----

---

## Avant-propos

Toute action sur la faune doit être faite conformément aux principes de la *Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune* (L.R.Q. c. C-61.1, ci-après LCMVF) et ne doit pas « se faire au détriment des caractéristiques génétiques des espèces visées, ni aux dépens de l'ensemble de la faune présente ou du milieu dans lesquels elles se produisent » (MLCP, 1985). La LCMVF et les règlements qui en découlent assurent une protection des espèces animales en limitant dans le temps et l'espace le prélèvement pouvant être effectué et en encadrant les interventions dans l'habitat. Le prélèvement de loups (*Canis lupus*) est encadré légalement et ne peut être réalisé qu'à une période définie, en dehors de la période de mise bas et d'élevage des jeunes. De plus, les tanières de loups ne peuvent être dérangées ou détruites.

Dans l'optique d'accroître nos connaissances sur les populations de loups et afin de s'assurer d'une gestion durable de l'espèce, axée sur les principes de mise en valeur et en respect de la dynamique des populations, il est nécessaire d'approfondir nos connaissances sur l'état actuel de la population de loups en déterminant notamment le nombre de loups présents. L'objectif de la présente revue de littérature scientifique est ainsi de brosser un portrait des méthodes disponibles permettant d'évaluer l'abondance et la densité de loups. Ces informations permettront de guider le MELCCFP et ses partenaires dans le choix d'une ou plusieurs méthodes d'évaluation des effectifs de loups.

## Introduction

Les grands carnivores sont fréquemment la cible d'efforts de suivi et de gestion des populations. Cette attention particulière s'explique, entre autres, par leur vaste distribution, l'attrait qu'ils exercent sur le grand public et leurs effets directs ou indirects sur un grand nombre d'espèces. L'information sur l'abondance et la distribution des grands carnivores contribue à une prise de décisions éclairées en matière de gestion des populations animales en plus d'être utilisée pour dresser un état de situation des populations et évaluer les effets des modalités de gestion et de conservation déployées.

Bien que le loup (*Canis lupus*) figure parmi les espèces de grands carnivores les plus étudiées, cette espèce est également reconnue pour être l'une des plus difficiles à inventorier (Boitani, 2003). Les principales difficultés rapportées à ce sujet sont la nature cryptique du loup, sa méfiance envers l'homme, son utilisation d'un habitat composé de peuplements denses en forêt boréale, sa grande distribution spatiale, ses déplacements fréquents ainsi que le fait que les populations de loups sont généralement présentes à de faibles densités.

Il n'est pas réaliste d'élaborer et de déployer une méthode universelle d'estimation de la densité des grands carnivores au sein de différents habitats. Plusieurs études ont mis de l'avant la complémentarité de différentes méthodes d'évaluation de la densité ou de l'abondance des grands prédateurs, notamment le loup (Boitani, 2003). Le présent document, produit par la Direction de la gestion de la faune de la Capitale-Nationale - Chaudière-Appalaches et la Direction de la gestion des espèces et des habitats terrestres du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP), présente et détaille les principales méthodes d'évaluation de la densité ou de l'abondance du loup en mettant l'accent sur leurs prémisses, leurs avantages et leurs limites d'application. Ces informations visent à broser un portrait global des méthodes disponibles et à guider les biologistes de la faune du MELCCFP et leurs partenaires dans le choix d'une ou de plusieurs méthodes d'évaluation de la densité et de l'abondance du loup.

## Estimation de l'abondance et de la densité du loup

L'abondance est généralement exprimée par le nombre total d'individus d'une espèce composant une population; ce nombre est alors désigné comme l'abondance absolue de cette population dans un habitat. Il est toutefois plus réaliste d'évaluer le nombre d'individus présents dans un secteur défini; on désignera ce nombre comme l'abondance relative de la population dans ce secteur. L'abondance, absolue ou relative, peut également être exprimée par une mesure de la densité d'une espèce, soit par le nombre d'individus estimés par unité d'effort (p. ex. le nombre d'heures d'observation) ou par unité de surface (p. ex. km<sup>2</sup>). Selon la méthode d'évaluation retenue et les conditions rencontrées, il peut être envisageable et utile d'extrapoler une mesure de densité à un plus grand secteur que celui inventorié. Cela doit toutefois être réalisé avec précaution, car les conditions locales au-delà du secteur inventorié pourraient modifier à la hausse ou à la baisse la présence des espèces.

Les méthodes présentées dans les sections suivantes ont pour but d'évaluer la densité ou l'abondance relative de canidés, en particulier le loup. Le tableau 1 présente un récapitulatif des méthodes retenues à cette fin. Bien qu'elles aient été appliquées dans divers habitats, une emphase est mise afin à contextualiser l'applicabilité respective des méthodes dans la forêt boréale et dans la forêt tempérée. Il est entendu, dans le présent document, que l'utilisation du terme *limites d'application* réfère aux éléments de contexte, opérationnels ou biologiques pouvant restreindre le recours à une méthode d'évaluation de la densité ou de l'abondance du loup. Par exemple, le non-respect de prémisses inhérentes à une méthode donnée, des données manquantes ou les coûts élevés en équipements ou ressources peuvent constituer des limites d'application. Les limites d'application ne signifient pas une impossibilité de recourir à une méthode donnée, mais la nécessité de circonscrire l'utilisation de la méthode et sa portée.

## Suivi télémétrique

### Principaux éléments à retenir

- La télémétrie constitue la méthode la plus largement utilisée pour déterminer la densité de loups par unité de surface dans une aire donnée.
- Le recours à la télémétrie consiste à installer un émetteur sur des individus d'une population, lequel émettra un signal. Cette transmission de données permettra au receveur de localiser les animaux suivis (au moyen d'un récepteur ou d'un signal GPS) et de récolter ainsi des informations en temps réel sur leurs patrons de déplacement, l'utilisation de l'habitat, etc.
- Cette méthode permet : de suivre, de façon continue, certains individus, de dénombrer les membres d'une meute et d'évaluer différentes métriques de l'utilisation de l'espace du loup.
- L'effort d'échantillonnage et le nombre de colliers émetteurs installés sur les loups constituent les principales limites d'application.

### Description de l'approche

L'utilisation de la télémétrie dans les études fauniques a fait son apparition au début des années 1960 et demeure largement répandue à ce jour (Whitney, 2022). Elle offre une flexibilité d'utilisation permettant de suivre plusieurs espèces (Hart et Hyrenbach, 2009; Kenward, 1985; Thorstad *et al.*, 2013). Le principe de la télémétrie consiste à installer un émetteur sur certains individus d'une population. L'émetteur émet un signal qui sera capté par un récepteur. Cette opération permet de localiser l'animal et de récolter ainsi des données sur ses déplacements et ses comportements d'utilisation de l'habitat. Le type d'émetteur à employer doit s'adapter à la taille, à la morphologie et au comportement de l'animal étudié afin de réduire au minimum les impacts sur l'individu (Whitney, 2022) et de maximiser la collecte de données. Ces émetteurs peuvent être programmés pour se détacher automatiquement après une période donnée ou être récupérés directement sur l'animal.

Le loup est une espèce aux comportements discrets qui effectue de très grands déplacements et qui requiert la présence de massifs forestiers peu accessibles pour accomplir son cycle de vie sans subir le dérangement humain (à l'inverse du coyote, *Canis latrans*). Pour estimer la densité de loups par télémétrie, il est nécessaire de capturer des loups dans l'aire d'étude, puis de les

munir de colliers émetteurs afin de suivre leurs déplacements. Une deuxième étape, qui nécessite l'installation de caméras de détection automatique dans l'aire d'étude ou le recours à des survols aériens, vise à établir l'identification et la composition des meutes. Par la suite, la délimitation du territoire utilisé par chacune des meutes sera réalisée en utilisant, par exemple, la méthode du polygone convexe minimum (PCM) (Mohr 1947; Fuller, 1989).

Une fois établies les limites du territoire occupé par chacune des meutes, on déterminera le nombre de loups observés et on le divisera par la superficie de chacun des polygones de territoire, en excluant les sections d'habitats qui s'entrecroisent. Cet exercice permettra d'estimer la densité de loups dans l'aire ciblée (Burch *et al.*, 2005).

## Études de cas et exemples d'application

Dans les études réalisées au Québec, les territoires occupés par les meutes de loups suivies par télémétrie ont pu atteindre entre 250 km<sup>2</sup> et 500 km<sup>2</sup>, selon la présence ou l'absence de certaines proies (Messier, 1985 ; Crête et Messier, 1985 ; Potvin, 1986 ; Jolicoeur 1998 ; Jolicoeur et Hénault, 2002 ; Villemure, 2003). Dans la réserve faunique des Laurentides, les loups utilisaient annuellement des territoires d'une superficie moyenne de 500 km<sup>2</sup> (Jolicoeur, 1998).

Fuller (1989) a utilisé la méthode d'inventaire par télémétrie pour estimer la densité, la taille des meutes et la superficie des territoires de loups au Minnesota. Le suivi aérien s'est déroulé entre septembre 1980 et décembre 1986 sur une superficie de territoire de 839 km<sup>2</sup>. Au total, 81 loups ont été capturés et munis de colliers émetteurs, dans l'optique de les localiser par survol aérien. Afin d'estimer la densité de loups, à la suite des observations réalisées lors des survols, Fuller (1989) a évalué la taille moyenne d'une meute de loups ainsi que les fluctuations dans le nombre d'individus en fonction de la période de l'année. Fuller (1989) a par la suite déterminé la superficie moyenne du territoire utilisé par une meute en se basant sur la méthode PCM. En divisant le nombre d'individus d'une meute par la superficie de son territoire, estimée par télémétrie, Fuller (1989) a obtenu des valeurs de densité annuelle variant entre 39 et 59 loups/1 000 km<sup>2</sup> au début de l'hiver et entre 29 et 40 loups/1 000 km<sup>2</sup> vers la fin de l'hiver.

Burch *et al.* (2005) ont utilisé la télémétrie entre 1986 et 1996 pour évaluer la densité de loups utilisant le parc National Denali en Alaska. Les positions des loups ont été recueillies par télémétrie, une fois par deux semaines en moyenne, puis intégrées à une carte topographique (Burch *et al.*, 2005). Burch *et al.* (2005) ont ensuite estimé la densité de loups en se basant sur le nombre minimal de loups par meute. La superficie de territoire de chacune des meutes a été

déterminée à partir de PCM. Les densités obtenues les deux premières années de suivi avoisinaient 6,1 loups/1 000 km<sup>2</sup>.

Petroelje *et al.* (2021) ont étudié la compétition pour les ressources entre le coyote et le loup lorsque la disponibilité de grandes proies (c.-à-d. le cerf de Virginie, *Odocoileus virginianus*) est variable. Leur aire d'étude de 1 000 km<sup>2</sup> correspondait à la section supérieure de la région des Grands Lacs aux États-Unis (Petroelje *et al.*, 2021). Dix-neuf coyotes et douze loups ont été capturés afin de les équiper de colliers émetteurs (Petroelje *et al.*, 2021). Petroelje *et al.* (2021) ont détecté la présence de quatre meutes de loups dans l'aire d'étude, et chacune d'elles comprenait au minimum un individu équipé d'un collier émetteur. Petroelje *et al.* (2021) ont obtenu des densités semblables à celles des populations de l'écosystème de Yellowstone, c'est-à-dire 0,03 loup/km<sup>2</sup> et entre 0,19 et 0,24 coyote/km<sup>2</sup>.

## Avantages

L'utilisation de la télémétrie apparaît comme la méthode d'estimation de la densité qui fournit les résultats les plus représentatifs chez les grands canidés (Fuller et Snow, 1988; Fuller, 1989). Cette méthode permet d'obtenir une estimation du nombre de loups présents sur une aire d'étude en calculant les individus équipés d'un collier émetteur, en plus de ceux qui les accompagnent (Burch *et al.*, 2005). Grâce à la télémétrie, les espèces difficilement observables (p. ex. espèces nocturnes, discrètes, difficiles à recapter, qui se déplacent sur de longues distances) peuvent être étudiées sur une longue période (Hedgal et Colvin, 1986). De plus, cette méthode permet de couvrir de vastes superficies et de documenter les déplacements des individus suivis.

L'utilisation de la télémétrie permet un suivi continu (Whitney, 2022). Un autre avantage de la télémétrie est qu'elle peut être utilisée tout au long de l'année contrairement au suivi des pistes, qui ne peut s'effectuer généralement qu'en présence de neige au sol (Alexander *et al.*, 2005). Finalement, l'utilisation de la télémétrie permet d'obtenir les taux de survie et d'investiguer les causes de mortalité des individus suivis.

## Limites d'application et recommandations

L'une des principales limites d'application de la télémétrie est l'investissement financier considérable qui y est associé (Whitney, 2022). En effet, les coûts d'achat, d'entretien des colliers ainsi que les frais de transmission sont importants. L'effort requis pour déployer et maintenir un nombre de colliers qui assurera un nombre de loups suivis suffisant l'est d'autant plus (Burch *et*

*al.*, 2005). En effet, dans des suivis de population de loups qui font l'objet de prélèvements par la chasse ou le piégeage, plusieurs individus sont retirés de la population d'une année à l'autre. Les efforts de capture et de déploiement de colliers télémétriques doivent donc être constants et soutenus dans le temps pour pouvoir obtenir un nombre de localisations suffisant (Burch *et al.*, 2005). Les grands déplacements typiques du loup rendent les individus très sensibles au prélèvement (Jolicoeur et Hénault, 2002). Évidemment, le nombre de loups équipés d'un collier émetteur influe sur les valeurs de densité déterminées par télémétrie (Burch *et al.*, 2005). Un nombre trop faible de colliers émetteurs peut biaiser l'utilisation réelle de l'habitat des meutes suivies ou réduire les possibilités de détection d'autres meutes dans l'habitat (Burch *et al.*, 2005). Plus les densités de loups sont élevées, plus les espaces vacants sont minimales. À l'inverse, lorsque les densités de proies et de loups sont faibles, les territoires de loups établis peuvent s'étirer dans différentes directions à partir d'un point central pour exploiter les ressources adjacentes.

# L'approche capture-marquage-recapture par caméra de détection automatique

## Principaux éléments à retenir

- L'approche capture-marquage-recapture (CMR) consiste à capturer un échantillon d'individus représentatifs de la population étudiée (capture) et de les marquer individuellement (marquage) dans l'optique de les capturer de nouveau (recapture).
- Afin de s'ajuster au comportement discret du loup ainsi qu'à la faible densité de sa population qui limite les probabilités de recapture physique, l'approche CMR peut être appliquée en ayant recours aux caméras de détection automatique. Divers modèles mathématiques permettent ensuite d'estimer la densité à partir des photos prises par ces caméras.
- Cette méthode d'inventaire a été peu utilisée pour le loup et requiert un important effort d'échantillonnage. Des études suggèrent son potentiel à fournir de l'information sur la densité et l'écologie du loup.

## Description de l'approche capture-marquage-recapture

L'estimation de la densité par une approche de capture-marquage-recapture (CMR) consiste, dans une aire définie, à capturer un échantillon représentatif d'individus de la population étudiée (capture), à les marquer individuellement pour les identifier (marquage), puis à les capturer de nouveau (recapture) dans un intervalle de temps donné (Peuchmaille et Petit, 2007 ; Chandler et Royle, 2013). La proportion d'animaux marqués qui sont recapturés permet d'estimer la densité dans l'aire ciblée pour l'effort d'échantillonnage.

Le recours à l'approche CMR nécessite le respect des prémisses suivantes (Peuchmaille et Petit, 2007) :

- 1) La population visée est fermée démographiquement (absence de naissances, de mortalité, d'émigration et d'immigration) pendant la durée de l'inventaire.
- 2) La probabilité de recapture est égale à la probabilité de capture de chaque individu marqué.
- 3) La probabilité de capture est égale entre tous les individus.
- 4) Le marquage utilisé est permanent et lisible, c'est-à-dire qu'il permet une identification individuelle lors de chaque recapture.

Le recours à l'approche CMR n'est pas approprié à l'estimation de toutes les espèces. Les espèces abondantes, non migratrices et dont les individus utilisent un habitat fini de petite superficie telles que les micromammifères peuvent être facilement piégées et capturées à nouveau. Au contraire, les espèces cryptiques, telles que les canidés, qui se déplacent sur de longues distances, sont présentes en faible densité et utilisent différents habitats peuvent être difficiles à capturer et du même fait présenter une faible probabilité de recapture (Harmsen *et al.*, 2020). Pour tenir compte de ces particularités, des variantes de l'approche CMR classique qui ne requièrent pas la recapture physique des individus marqués ont été mise au point. L'une de ces variantes repose sur l'utilisation de caméras de détection automatique (Royle *et al.*, 2013 ; Long *et al.*, 2018).

Avec le recours aux caméras de détection automatique, les événements de recapture physique à la suite du marquage, voire la capture et le marquage en eux-mêmes, sont remplacés par des observations répétées dans le temps sous forme de photos. Certaines utilisations des caméras de détection automatique requièrent une reconnaissance individuelle d'individus de l'espèce ciblée dans l'aire d'étude alors que certaines ne la requièrent pas. Pour ces différentes utilisations, il existe différents modèles permettant d'estimer la densité de l'espèce ciblée.

#### **Modèles qui requièrent une reconnaissance individuelle :**

- Le modèle de capture-recapture spatialement explicite (SECR ; Mattioli *et al.*, 2018);
- Modèles de marquage-ré-observation spatialement explicites (SMR; Royle *et al.*, 2014).

Les modèles SECR et SMR se basent sur une nouvelle observation, au moyen des photos prises par les caméras de détection automatique, d'individus marqués ou présentant des phénotypes reconnaissables. L'observation d'individus marqués est combinée à celle d'individus non marqués afin de déterminer une fonction de détection qui définit la probabilité de détection dans l'aire d'étude.

#### **Modèles qui ne requièrent pas une reconnaissance individuelle :**

- Le modèle N-mixture (Royle, 2004);
- Le modèle Space-to-Event (STE ; Ausband *et al.*, 2022);
- Le modèle Random Encounter Model (REM; Rowcliffe *et al.*, 2008);
- Le modèle Random Encounter and Staying Timer Model (REST; Nakashima *et al.*, 2018).

## Études de cas et exemples d'application

L'utilisation des caméras de détection automatique pour estimer la densité d'une espèce a été fréquemment utilisée chez les ongulés (Marcon *et al.*, 2019 ; Remington *et al.*, 2022) et les félins (Trolle et Kéry, 2003 ; Wallace *et al.*, 2003 ; Jenks *et al.*, 2011). Cette approche a été moins documentée chez les canidés. Trolle *et al.* (2006) ont mis en place un réseau de caméras de détection automatique pour documenter la présence et estimer la densité du loup à crinière (*Chrysocyon brachyurus*) au Brésil au moyen d'une reconnaissance visuelle des individus présentant des phénotypes distincts (p. ex. structure du corps, patrons de coloration du pelage, blessures ou marques apparentes). Sver *et al.* (2016), quant à eux, ont utilisé des caméras de détection automatique le long de passages fauniques en Croatie pour documenter la présence de loups. Mattioli *et al.* (2018) ont estimé la densité du loup dans la province d'Arezzo en Italie (modèle SECR). Ausband *et al.* (2022) ont eu recours à des caméras de détection automatique (modèle STE) et à des prélèvements de fèces pour estimer la densité de loups en Idaho. Russo *et al.* (2022) ont pour leur part utilisé des caméras de détection automatique (modèle SMR) pour estimer la densité du loup du Mexique (*Canis lupus baileyi*).

## Avantages

Le recours aux caméras de détection automatique a pour avantages d'être non invasif et de permettre la récolte d'une grande quantité de données sur de relativement grandes aires. Ces avantages supposent toutefois que l'acquisition d'un nombre élevé de caméras ne soit pas une limite. Selon les prémisses du modèle mathématique retenu pour estimer la densité il est possible de réduire le nombre de caméras de détection automatique nécessaire pour couvrir une large aire d'étude (Ausband *et al.*, 2022). Les diverses prémisses de base des modèles mathématiques disponibles permettent également de tenir compte de divers paramètres tels que l'absence de reconnaissance individuelle, la répartition non homogène de l'aire d'étude et le taux de détection. Le développement croissant de l'intelligence artificielle permet également d'envisager que le classement et l'analyse des photos soit grandement facilité.

## Limites d'application et recommandations

Comme les loups ne présentent généralement pas de phénotypes individuels suffisamment marqués pour permettre de distinguer les individus, le recours aux caméras de détection automatique pour estimer la densité du loup demeure limité et fournit des estimés relatifs (Sver *et al.*, 2016 ; Mattioli *et al.*, 2018). Mattioli *et al.* (2018) ont mis au point une technique d'identification basée sur l'étude des différences phénotypiques des membres alpha composant

chacune des meutes (p. ex. postures lors du marquage du territoire, forme de la queue, présence de motifs particuliers dans le pelage ou de blessures apparentes). Avec cette technique, lorsqu'un loup alpha en particulier est observé par la caméra une deuxième fois, tous les membres de sa meute incluant lui-même sont comptés comme recapture (Mattioli *et al.*, 2018).

Les conditions environnementales aux sites d'installation des caméras de détection automatique peuvent modifier la précision des images obtenues et, par la même occasion, la précision des estimations de la densité. Sver *et al.* (2016) ont constaté que les conditions environnementales (p. ex. l'absence de clarté, le brouillard et les fortes pluies) pouvaient réduire la précision des images obtenues. L'obstruction de la caméra par la neige ou la végétation peut aussi nuire à la qualité de l'image (Pfeffer, 2016). Cette limite d'application peut toutefois être prise en compte lors du choix des sites et des ajustements des caméras (p. ex. hauteur d'installation, réactivité du détecteur, angle de vue, portée maximale).

L'analyse des photos constitue la principale limite d'application de cette approche. Dépendamment du nombre de caméras et de la durée de l'étude, le temps consacré à l'analyse des images peut rapidement devenir important et engendrer des coûts significatifs (Rovero et Marshall, 2009). Diverses approches mathématiques de même que le recours à l'intelligence artificielle permettent de réduire le temps associé à l'analyse des photos.

## Identification génétique

### Principaux éléments à retenir

- L'estimation de la densité par identification génétique se base sur la distinction individuelle des individus selon leur génotype.
- Les principaux échantillons récoltés pour extraire l'ADN des loups sont les fèces et les poils.
- L'estimation de la densité par identification génétique est une approche non invasive qui fournit une identification individuelle très précise. Cependant, la fragilité du matériel génétique, tant sur le plan de la conservation que de l'extraction, peut contraindre l'utilisation des échantillons récoltés et de ce fait limiter l'estimation de la densité par identification génétique.
- L'identification génétique peut être utilisée dans le cadre d'une approche par capture-marquage-recapture.

### Description de l'approche

Cette technique consiste à échantillonner du matériel génétique provenant des individus d'une population pour en estimer l'abondance et la densité sur une aire donnée. Concernant le loup, les principaux échantillons récoltés pour en extraire l'ADN sont les fèces (l'ADN provient de l'épithélium intestinal) et les poils (l'ADN provient des cellules épithéliales à la racine du poil) (Thompson, 2004). L'ADN mitochondrial est généralement utilisé pour identifier l'espèce à partir d'un échantillon biologique, tandis que l'ADN nucléaire est utilisé pour une identification individuelle à la suite d'une extraction du génotype (Campbell et Reece, 2007). Il existe différentes méthodes de récolte de poils adaptées aux canidés (Long *et al.*, 2018). Les stations de récolte pourvues de fils barbelés ou de papier adhésif, avec ou sans appâts, sont les plus fréquemment utilisées (Long *et al.*, 2008). Quant à la récolte de fèces, diverses approches sont possibles (p. ex. le long de transects ou de chemins, à des sites de rendez-vous, à des tanières, à l'aide de chiens pisteurs ; Long *et al.*, 2008).

L'estimation de la densité d'une espèce au moyen de l'identification génétique nécessite de respecter les prémisses de base suivantes (Long *et al.*, 2008) :

- 1) La population visée est fermée démographiquement (absence de naissances, de mortalité, d'émigration et d'immigration) pendant la durée de l'inventaire.
- 2) La probabilité de détection est égale entre tous les individus.
- 3) Tous les individus sont correctement identifiés.

Une fois l'individu identifié par son génotype et à la suite d'un échantillonnage représentatif réalisé à l'échelle de la population ou de l'aire d'étude, il devient possible d'estimer l'abondance et la densité de la population. L'approche CMR permet une telle estimation (Lopez-Bao *et al.*, 2018).

## Études de cas et exemples d'application

Lopez-Bao *et al.* (2018) ont utilisé l'identification génétique au moyen d'une récolte de fèces le long de transects (750 km de transects au total) selon une approche CMR pour estimer la densité et l'abondance du loup dans une aire d'étude en Espagne. Roffler *et al.* (2019) ont estimé l'abondance du loup en Alaska entre 2012 et 2015 en faisant la récolte automnale de poils à l'aide de pièges équipés de leurres olfactifs et recouverts de barbelés.

## Avantages

Le biais d'identification est quasiment nul avec une identification basée sur le génotype des individus, ce qui fait de la méthode d'estimation de la densité par identification génétique une des méthodes non invasives les plus fiables à l'échelle individuelle et taxonomique. La récolte des tissus visés (poils ou fèces) permet de couvrir une grande superficie, l'équipement nécessaire étant facile à transporter et relativement peu coûteux (Lopez-Bao *et al.*, 2018). La collecte de poils et de fèces peut également se dérouler au même moment que d'autres techniques s'effectuant au sol comme la capture de loups pour le suivi télémétrique ou le dénombrement auditif des hurlements et le suivi de pistes.

## Limites d'application et recommandations

La méthode de préservation des échantillons récoltés ainsi que la durée de l'entreposage avant l'extraction peuvent influencer sur le succès de l'amplification de l'ADN (Murphy *et al.*, 2018). Il existe différentes recommandations pour préserver les poils (Thompson, 2004), mais la majorité rapportent que la durée d'entreposage ne devrait pas excéder six mois à un an afin de conserver la qualité de l'échantillon. Roffler *et al.* (2019) ont remarqué que la pluie pouvait endommager le matériel génétique des prélèvements et ainsi diminuer les probabilités de succès du génotypage. Un protocole de laboratoire strict et un suivi rigoureux peuvent réduire les risques de

contamination ou d'erreurs dans l'amplification. Il peut aussi y avoir des risques de sous-estimation de l'abondance lorsque le génotype associé à un individu n'est pas assez spécifique, car il pourrait y avoir deux animaux de même génotype, ce qui biaiserait l'estimation (Thompson, 2004). Certains animaux peuvent éviter les stations de prélèvement de poils après avoir détecté une odeur humaine (Long *et al.*, 2008). La prémisse selon laquelle tous les individus ont la même probabilité d'être capturés ne peut donc pas être assurément respectée. L'extraction de l'ADN demande du personnel qualifié, du temps et des équipements spécifiques qui occasionnent des coûts élevés (Long *et al.*, 2008; Murphy *et al.*, 2018). Comme les loups se déplacent sur de grandes superficies, il y a des risques qu'un individu ne soit pas capturé de nouveau à la suite de son identification. Il est important de tenir compte de cette réalité dans l'estimation de la densité, car elle peut diminuer le nombre d'animaux recapturés, marqués ou non, et peut entraîner une surestimation de la taille de la population (Stenglein *et al.*, 2010).

## Données de récolte

### Principaux éléments à retenir

- L'estimation de l'abondance ou de la densité d'une espèce chassée ou piégée à partir des données de récolte se base sur la prémisse qu'il y a une corrélation positive entre les statistiques de récolte et l'abondance ou la densité de l'espèce.
- Au Québec, les données de récolte telles que le nombre d'animaux piégés et le nombre de fourrures vendues sont compilées par le MELCCFP à l'aide des formulaires ML-414 que les commerçants sont tenus de remplir dans leur registre annuel.
- Les piégeurs sont quant à eux incités à remplir un carnet du piégeur fourni par le gouvernement du Québec afin de réunir les indicateurs d'abondance et de tendance de certaines populations piégées, dont le loup.
- Cette méthode peut être utilisée pour inférer des changements démographiques dans une population ou un secteur, mais ne devrait pas remplacer les méthodes qui permettent d'obtenir des valeurs directes d'abondance ou de densité (p. ex. télémétrie, CMR).
- Cette technique s'est révélée pertinente pour suivre la dynamique des populations d'animaux à fourrure pourvu que des données de récolte soient disponibles sur une longue série temporelle dans la même aire d'étude.

### Description de l'approche

L'estimation de l'abondance ou de la densité d'une espèce piégée ou chassée à partir des données de récolte se base sur la prémisse qu'il y a une corrélation positive entre les données de récolte et l'abondance et la densité (Kahlert *et al.*, 2015). En ce sens, une variation dans le taux de récolte d'une espèce donnée dans un secteur défini refléterait un changement d'abondance (Kahlert *et al.*, 2015). Cette méthode permet de suivre à long terme la variation de l'abondance d'une espèce en se basant sur le prélèvement par la chasse ou le piégeage, pourvu que les données soient disponibles dans une série temporelle suffisamment longue et un secteur relativement stable (Pettorelli *et al.*, 2007). Cette méthode permet également de suivre la dynamique des populations d'animaux à fourrure en réponse aux modifications de l'habitat ou des réglementations en cours pour le piégeage (Kawaguchi *et al.*, 2015; MELCCFP, données non publiées). Au Québec, la principale technique utilisée pour récolter des canidés est le piégeage, qui constitue 97 % de la récolte (MELCCFP, données non publiées). Les taux de

récolte annuels sont basés sur les ventes de fourrures par les piégeurs et les carnets du piégeur fournis par le gouvernement du Québec. Ces données sont compilées par le MELCCFP en fonction de l'unité de gestion des animaux à fourrure (UGAF) de la région où l'animal a été prélevé. Des échantillons biologiques prélevés par les chasseurs et piégeurs peuvent fournir des informations complémentaires sur l'état des populations. Il n'existe pas de méthodologie universelle pour l'utilisation des données de récolte, principalement parce que les différentes autorités ne compilent pas les statistiques de récolte de la même manière, ce qui complexifie leur utilisation.

## Études de cas et exemples d'application

Robichaud et Boyce (2010) ont documenté la variation dans le temps, entre 1985 et 2006, de l'abondance de loups en Alberta en utilisant des données de récolte provenant du piégeage. Les données de récolte du loup antérieures ont été obtenues par l'entremise du ministère du Développement durable des Ressources de l'Alberta. Les chercheurs ont examiné les paramètres suivants : le nombre total de loups piégés, le nombre de pièges avec récolte ainsi que le nombre moyen de loups récoltés par piège (Robichaud et Boyce, 2010). Le nombre de loups récoltés annuellement a aussi été mis en relation avec le prix de vente des fourrures pour vérifier la corrélation entre ces deux paramètres. La densité de récolte du loup (loups/1 000 km<sup>2</sup>) entre 1985 et 2006 en Alberta a été répartie en six classes (très élevée; élevée; moyenne; faible; très faible et nulle) sur une carte de la province afin d'en illustrer la distribution (Robichaud et Boyce, 2010). Robichaud et Boyce (2010) ont rapporté que le nombre de loups piégés, le nombre de pièges installés ainsi que le nombre moyen de loups récoltés par piège ont augmenté entre 1985 et 2006. Durant cette période, l'effort de piégeage aurait diminué de 10 % (Robichaud et Boyce, 2010). Les données de récolte suggéraient une augmentation de la population du loup en Alberta possiblement expliquée en partie par une augmentation de la densité d'ongulés et les efforts de conservation gouvernementaux (Robichaud et Boyce, 2010).

## Avantages

Le recours aux données de récolte représente une méthode accessible, peu coûteuse et relativement rapide pour les gestionnaires de ressources fauniques qui veulent suivre la variation de l'abondance et la tendance démographique des populations de loups lorsqu'ils disposent de peu de sources de données complémentaires ou de remplacement (Robichaud et Boyce, 2010 ; Kahlert *et al.*, 2015). Cette méthode a également pour avantage de ne pas demander d'effort additionnel à l'enregistrement des données (Hénault et Jolicoeur, 2003; Robichaud et Boyce,

2010). Le recours aux données de piégeage représente également une méthode intéressante pour obtenir facilement des échantillons d'animaux à fourrure en parallèle des données de récolte. De tels échantillons peuvent être utilisés dans le cadre de projets d'acquisition de connaissances et d'études sur la dynamique des populations.

## **Limites d'application et recommandations**

Le recours aux données de récolte fournit des valeurs à l'échelle populationnelle dans le temps se rapportant à l'effort de récolte, mais renseigne peu quant à l'abondance absolue (Kawaguchi *et al.*, 2015). Kawaguchi *et al.* (2015) suggèrent d'utiliser cette méthode pour inférer des changements démographiques dans une population d'animaux à fourrure, mais précisent que cette utilisation ne devrait pas remplacer celles des méthodes menant à des estimations directes de l'abondance ou de la densité (p. ex. suivi télémétrique, caméras de détection automatique). Les individus récoltés pourraient ne pas être représentatifs de la population, car l'âge et l'état de santé des animaux peuvent influencer sur la probabilité d'être piégés (Kahlert *et al.*, 2015). Pour ces raisons, les individus plus expérimentés et en meilleure condition physique présentent moins de risque d'être inclus dans les données de récolte. La disponibilité des données de récolte dans de longues séries temporelles peut également constituer une limite à l'utilisation de cette méthode si trop de pas de temps présentent des données manquantes dans un secteur ou une série temporelle donnée. L'effort de chasse ou de piégeage est un facteur qui fluctue d'année en année (Imperio *et al.*, 2010; MELCCFP, données non publiées). Comme l'estimation de l'abondance se base sur le nombre d'individus récoltés, une variation de l'effort de prélèvement peut influencer sur les estimations obtenues (Robichaud et Boyce, 2010). Une diminution de la récolte ne doit pas être interprétée directement comme une diminution de l'abondance de loups. Il peut se révéler difficile de discerner si les changements dans la récolte sont le reflet d'un changement dans l'abondance ou plutôt dans les comportements des piégeurs, par exemple en réponse à une baisse du prix des fourrures, à une hausse du coût des équipements ou à la mise en œuvre de différentes modalités de récolte (Gese, 2004; Imperio *et al.*, 2010 ; Kahlert *et al.*, 2015). Chez certaines espèces, notamment les canidés, les différents phénotypes observables peuvent également complexifier l'identification taxonomique à l'espèce des individus récoltés, ce qui peut introduire des valeurs erronées dans les bases de données de récolte (p. ex. loup versus coyote). Dans de tels cas, le recours à des clés d'identification morphologique ou à des outils d'analyse génétique est nécessaire. Outre le prix des fourrures, il importe de considérer que de plus en plus de tanneries privées ou autochtones transforment elles-mêmes les fourrures, lesquelles sont alors non calculés dans les enregistrements obligatoires. Finalement, de moins en moins de

piégeurs remplissent et retournent les carnets de suivi de piégeurs, rendant les données de récolte de plus en plus complexes à interpréter.

## Suivi de pistes

### Principaux éléments à retenir

- Cette approche, qui cible particulièrement les espèces aux comportements discrets et réparties en faible densité sur de grandes superficies, consiste à repérer et à identifier les pistes laissées par l'espèce ciblée. Par la suite, le nombre de pistes est calculé sur une superficie donnée afin d'estimer le nombre d'individus fréquentant l'aire d'étude dans le secteur. On peut ensuite procéder à une estimation de l'abondance et de la densité.
- Le suivi de pistes pour estimer la densité de loups représente une méthode facile à déployer et à répéter. Il permet d'obtenir une estimation de la densité et de l'abondance relativement précise.
- Le respect des prémisses de base de cette méthode peut toutefois se révéler difficile sur le terrain.

### Description de l'approche

L'estimation de la densité basée sur le pistage est une méthode largement utilisée depuis plusieurs décennies en Amérique du Nord (Long *et al.*, 2008). Cette approche demeure d'actualité et cible particulièrement les espèces aux comportements discrets et répartis en faible densité sur une grande superficie d'habitat (Becker *et al.*, 1998). Parmi les espèces avec lesquelles cette méthode a été utilisée se trouvent le lynx boréal (*Lynx lynx*; Linnell *et al.*, 2007), le pékan (*Gulo gulo*; Golden *et al.*, 2007), le cougar (*Puma concolor*; Alibhai *et al.*, 2020) ainsi que le loup (Becker *et al.*, 1998; Patterson *et al.*, 2004). La méthode consiste à repérer et à identifier les traces laissées par l'espèce ciblée en se basant sur la forme des empreintes au sol et la forme du patron de pistes dans le substrat. Par la suite, on compte le nombre de pistes pour une superficie donnée afin de déterminer le nombre d'individus qui fréquentent l'aire d'étude. On peut ensuite réaliser un calcul pour estimer la densité (Becker *et al.*, 1998). Halfpenny *et al.* (1997) indiquent que des stations avec appât peuvent être utilisées pour attirer certaines espèces telles que des mustélidés. Il est recommandé de pister les animaux sur la neige, car il s'agit d'un substrat continu qui, contrairement à la boue, facilite la détection des empreintes (Long *et al.*, 2008). Le pistage se déroule habituellement entre 24 et 36 heures suivant une chute de neige afin de mieux discerner les traces sur le substrat vierge (Beck *et al.*, 2008). Le suivi et le calcul des pistes peuvent se faire à pied, en raquettes, en motoneige, mais aussi en aéronef, selon la

couverture forestière et la superficie de l'aire à échantillonner. Les prémisses de base pour le recours à cette méthode sont les suivantes :

1. Tous les animaux ciblés sont en mouvement durant l'étude.
2. Les traces laissées dans la neige sont reconnaissables.
3. Les traces sont continues, sans interruption du patron de piste.
4. La méthode ne modifie pas le mouvement des animaux.
5. Il est possible de distinguer les empreintes laissées avant et après la chute de neige.
6. Aucune piste fraîche n'a été manquée.
7. Les traces peuvent être suivies dans les deux sens.
8. Aucun animal n'a été compté deux fois le même jour (Becker *et al.*, 1998).

La superficie échantillonnée est divisée en unités d'échantillonnage dont la taille varie en fonction des informations biologiques connues sur l'espèce ciblée dans le secteur (Becker *et al.*, 1998). On trouvera plus de détails sur l'approche de calcul utilisée pour cette technique d'estimation de la densité du loup dans Becker *et al.* (1998), Patterson *et al.* (2004) et Kojola *et al.* (2014).

## Études de cas et exemples d'application

Becker *et al.* (1998) ont utilisé cette méthode pour estimer la densité de loups dans une unité de gestion de chasse (GMU) d'une superficie de plus de 30 000 km<sup>2</sup> en Alaska. L'aire d'étude a été divisée en 760 unités d'échantillonnage mesurant un peu de plus 40 km<sup>2</sup> chacune. Celles-ci ont ensuite été catégorisées selon la probabilité d'y rencontrer de nouvelles pistes de loups (faible, moyenne ou forte). L'observation des pistes de loups s'est déroulée sur une période de 10 jours, de façon quotidienne, et ce, par avion, pour couvrir rapidement l'ensemble des unités d'échantillonnage. Becker *et al.* (1998) ont commencé le dénombrement des pistes 24 heures après une chute de neige minimale de plus de 4 cm. Le temps passé à observer un secteur a varié de 0,3 à 0,8 minute par km<sup>2</sup> de surface survolée afin de maximiser l'efficacité de la recherche avant que les pistes soient effacées. Parallèlement, afin d'orienter les secteurs de recherche, la localisation de 9 meutes suivies par télémétrie, composées au total de 14 loups, a été évaluée à la fin de chacune des journées d'observation. Au total, 37 meutes comprenant 173 loups ont été comptabilisées (Becker *et al.*, 1998). La densité de loups moyenne a été estimée à 8,2 ± 0,9 loups/1 000 km<sup>2</sup>.

Patterson *et al.* (2004) ont adapté la méthode de Becker *et al.* (1998) pour évaluer la densité de loups utilisant le parc provincial Algonquin en Ontario. L'étude s'est déroulée dans la partie ouest du parc (3 425 km<sup>2</sup>), et l'aire d'étude a été divisée en 137 unités d'échantillonnage de 25 km<sup>2</sup> chacune. L'observation des pistes de loups par hélicoptère s'est prolongée sur une période de 11 jours au cours de l'hiver (mars 2002). Lorsque les pistes de loups étaient difficilement identifiables par hélicoptère ou que le couvert forestier des secteurs était trop dense, l'identification et le dénombrement ont été faits par une équipe au sol (Patterson *et al.*, 2004). Le dénombrement des pistes de loups a demandé environ 23 à 60 minutes par unité d'échantillonnage. Afin de comparer l'estimation de densité suggérée par le dénombrement des pistes avec celle révélée par la télémétrie, on a analysé des localisations télémétriques de 46 loups durant une période concomitante (août 2002 à janvier 2003). La densité obtenue par télémétrie était de 2,3 loups/100 km<sup>2</sup>, tandis que la densité estimée à l'aide du suivi des pistes était de 2,5 loups  $\pm$  0,5/100 km<sup>2</sup> (Patterson *et al.*, 2004).

Le dénombrement hivernal ne sert pas uniquement à estimer l'abondance ou la densité d'une espèce, mais peut aussi être utilisé comme indice de suivi des tendances démographiques des populations de loups comme l'ont démontré Kojola *et al.* (2014) en Finlande. Pour déterminer l'abondance, le nombre de pistes de loups a été calculé sur l'aire d'étude, divisée en sections triangulaires de 16 km<sup>2</sup> (Kojola *et al.*, 2014). En se basant sur le décompte de pistes effectué en ski par le réseau de bénévoles de l'Institut finlandais de recherche sur la chasse et la pêche, Kojola *et al.* (2014) ont calculé la fréquence d'observation de pistes de loups dans l'aire d'étude. En analysant les valeurs obtenues entre 1996 et 2009, Kojola *et al.* (2014) ont remarqué une augmentation de 11 % du nombre de pistes de loups observées entre 1996 et 2006, suivie d'une diminution de 6 % entre 2007 et 2009. Cette fluctuation du nombre d'individus s'expliquerait par des variations du prélèvement par piégeage (Kojola *et al.*, 2014).

## Avantages

Becker *et al.* (1998) et Patterson *et al.* (2004) recommandent tous le suivi des pistes pour estimer la densité de loups, car il s'agit d'une méthode facile à répéter et qui permet d'obtenir une estimation de densité relativement précise. Cette méthode est particulièrement recommandée en présence de populations de loups dont aucun individu n'est suivi par télémétrie ainsi que dans les aires d'étude de grande superficie ou présentant des secteurs difficilement accessibles (Patterson *et al.*, 2004). Un autre avantage de cette méthode est qu'il est possible de jumeler l'observation des pistes sur le terrain à la récolte d'échantillons (p. ex. des fèces) pour appuyer

l'identification des individus au moyen d'autres approches telles que l'identification génétique (Long *et al.*, 2008).

## **Limites d'application et recommandations**

Les principales limites d'application de la méthode d'estimation de la densité reposant sur le suivi des pistes sont associées au respect de ces prémisses (Becker *et al.*, 1998). Durant leurs survols, Patterson *et al.* (2004) ont indiqué avoir été confrontés à des pistes de loups segmentées alors que l'une des prémisses exige que toutes les pistes soient complètes. Patterson *et al.* (2004) indiquent aussi qu'ils n'ont pas pu respecter la prémisse qui exige qu'aucune piste ne soit mise de côté. Becker *et al.* (1998) indiquent que la prémisse demandant que tous les loups soient mobiles durant l'étude peut être difficilement respectée, car la dynamique de déplacement des loups inclut fréquemment des périodes de repos lorsqu'une nouvelle source de nourriture est disponible. Le niveau d'expérience en identification de pistes des membres de l'équipe représente aussi une limitation dans l'application de cette méthode, mais qui peut être corrigée par une formation adéquate. Il est obligatoire que les traqueurs possèdent une expérience significative en identification de pistes, autant au sol qu'en vol, pour s'assurer de la précision du dénombrement (Long *et al.*, 2008). Bien que les coûts du suivi de pistes puissent être négligeables, l'utilisation d'un hélicoptère ou d'un aéronef pour survoler l'aire d'étude à plusieurs reprises peut représenter un coût élevé (Becker *et al.*, 2008). Finalement, comme il est recommandé que le suivi des pistes ne s'effectue qu'en hiver, le recours à cette méthode est directement lié à des chutes de neige minimales pour assurer la détection des réseaux de pistes. En fonction des limites énoncées, il est recommandé de combiner cette méthode avec d'autres approches telles que le suivi télémétrique (Alexander *et al.*, 2005).

## Dénombrement auditif

### Principaux éléments à retenir

- Cette méthode consiste à calculer le nombre d'individus dans une meute en simulant des hurlements et en dénombrant les loups qui y répondent.
- Le dénombrement auditif devrait être réservé à l'estimation de la taille minimale des meutes. L'extrapolation du dénombrement auditif comme méthode d'estimation de l'abondance à l'échelle populationnelle risque de sous-estimer la taille de la population, seuls les loups qui répondent étant calculés.
- Il est recommandé d'avoir recours au dénombrement auditif en combinaison avec d'autres méthodes d'estimation de l'abondance ou de la densité.

### Description de l'approche

Chez les loups, la communication sonore permet aux membres d'un même groupe de se reconnaître entre eux et aussi d'établir et de maintenir la position hiérarchique des individus dominants d'un groupe (Papin, 2018). Ces signaux sonores de longue portée permettent aux loups de communiquer entre eux et peuvent être entendus individuellement ou sous forme de chorale (Harrington et Mech, 1982). Ces signaux sonores chez le loup ont été utilisés pour estimer, en moyenne, le nombre d'individus composant une meute (Harrington et Mech, 1982; Fuller et Sampson, 1988; Papin *et al.*, 2019). Les inventaires auditifs se déroulent normalement durant la période de transition entre la vie en tanière et celle hors de la tanière pour les louveteaux, car les adultes de la meute sont limités dans leurs déplacements et utilisent les vocalisations plus souvent à cette période, facilitant ainsi leur détection (Gable *et al.*, 2018). Durant cette période, qui se déroule de juin à août (Gable *et al.*, 2018), les jeunes loups et les adultes sont plus susceptibles de répondre aux hurlements artificiels. L'estimation de l'abondance par le dénombrement auditif est une technique qui a évolué depuis les années 1980 grâce au développement technologique, passant ainsi du dénombrement de meutes (Harrington et Mech, 1982) à l'identification individuelle des loups basée sur leur signature vocale (Passilongo *et al.*, 2015; Papin *et al.*, 2019). Ce principe se nomme l'individualisation acoustique (Papin, 2018).

### Études de cas et exemples d'application

Le dénombrement auditif du loup a été utilisé dans les années 1980 au Minnesota, aux États-Unis (Harrington et Mech, 1982). Ces travaux avaient pour objectif, entre autres, de déterminer

les facteurs pouvant influencer sur les résultats obtenus en appliquant cette technique. Afin de déterminer l'emplacement des loups ainsi que la taille des meutes, Harrington et Mech (1982) ont capturé des loups de la population et les ont munis d'un collier émetteur. La localisation des loups était évaluée de façon quotidienne ou deux fois par semaine, par la télémétrie, sur une période s'écoulant entre décembre et mars. Une fois les loups localisés, deux observateurs imitaient les hurlements de loups, de manière simultanée ou non, pour stimuler une réponse de la part de la meute ciblée (Harrington et Mech, 1982). Le temps de réponse entre la génération des hurlements artificiels et la réponse des loups était calculé pour chacun des essais (Harrington et Mech, 1982). Cette mesure permettait d'établir s'il y avait une quelconque différence dans la réaction selon l'imitateur 1 et l'imitateur 2 (Harrington et Mech, 1982). La séance se terminait lorsqu'il n'y avait aucune réaction de la part des loups après trois à cinq essais (Harrington et Mech, 1982). Les localisations télémétriques durant toutes les séances de hurlements simulés (avec ou sans réponse) ont été géolocalisées sur une carte topographique pour établir la distribution des loups. Les travaux d'Harrington et Mech (1982) montrent que les meutes de loups ne réagissent pas de manière uniforme aux hurlements artificiels selon certains facteurs : les conditions météorologiques, la période de l'année et la taille des meutes. Concernant les conditions météorologiques, le degré d'ennuage et les précipitations n'avaient pas d'effet sur le taux de réponse, mais Harrington et Mech (1982) ont remarqué une diminution lors des journées venteuses (>12 km/h). Concernant la période de l'année, les loups répondaient plus fréquemment durant la période d'accouplement hivernale, en été et en automne (Harrington et Mech, 1982). De la même manière, le taux de réponse était plus grand le soir que le jour (Harrington et Mech, 1982). Concernant la taille de la meute, les meutes nombreuses avaient tendance à répondre plus fréquemment que les meutes plus petites, ce qui réduit la probabilité de détection des loups solitaires par cette méthode (Harrington et Mech, 1982).

Passilongo *et al.* (2015) ont déterminé la taille de meutes en utilisant une analyse bioacoustique permettant une identification visuelle des sons sous forme de spectrogramme. Un spectrogramme, ou sonogramme, consiste en la représentation visuelle du spectre de variation d'un signal sonore en fonction du temps, de la fréquence et de la puissance (Papin, 2018). Dans l'étude de Passilongo *et al.* (2015), les chorales de hurlements ont été produites par des groupes de deux à huit bénévoles formés pour bien imiter les vocalisations du loup. L'échantillon de hurlements artificiels comprenait aussi des vocalisations de loups extraites de vidéos enregistrées en captivité (Passilongo *et al.*, 2015). Ces stimuli ont par la suite été utilisés sur le terrain pour engendrer des réponses de la part de loups présents dans la province d'Arezzo (3 230 km<sup>2</sup>), en

Italie. L'échantillonnage a été effectué entre juillet et octobre, car il s'agit de la période de l'année où les meutes de loups demeurent relativement peu mobiles, favorisant un taux de réponse plus élevé dans une même aire d'étude (Passilongo *et al.*, 2015). Les séances se sont déroulées en l'absence de pluie et de vent et durant la nuit pour limiter la pollution sonore d'origine anthropique (p. ex. voix humaines, présence de véhicules tout-terrain, Passilongo *et al.* 2015). Chacune des réponses aux hurlements a été enregistrée pour ensuite être analysée (Passilongo *et al.*, 2015). Une fois les hurlements extraits sous forme de spectrogramme, il a été possible de voir la fréquence de chacun des membres des meutes et ainsi de dénombrer les individus. L'estimation visuelle par spectrogramme a permis de calculer correctement le nombre de loups parmi les échantillons de hurlements recréés artificiellement par les groupes de bénévoles ainsi que ceux extraits de vidéos de loups enregistrées en captivité (Passilongo *et al.*, 2015). L'utilisation des méthodes bioacoustiques a permis d'obtenir 37 signatures acoustiques spécifiques pour les hurlements de loups en liberté à la suite de l'inspection visuelle des spectrogrammes obtenus (Passilongo *et al.*, 2015).

## **Avantages**

Le dénombrement auditif est une méthode peu coûteuse et relativement facile à déployer en plus d'être répétable dans le temps. Harrington et Mech (1982) suggèrent d'utiliser cette méthode d'estimation de l'abondance pour évaluer le nombre de meutes s'étant reproduites annuellement, afin de comparer le taux de reproduction entre les années. Passilongo *et al.* (2015) recommandent l'inspection visuelle spectrographique des hurlements enregistrés, car cette technique permet d'estimer efficacement le nombre de loups d'une même chorale. Elle permet de reconnaître de six à huit loups différents par chorale comparativement à trois avec la méthode d'Harrington et Mech (1982). De plus, une fois les hurlements enregistrés, il est possible de les analyser en laboratoire pour éclaircir la bande sonore afin de mieux discerner les sons (Passilongo *et al.*, 2015).

## **Limites d'application et recommandations**

Harrington et Mech (1982) ont relevé plusieurs limitations associées à l'utilisation du dénombrement auditif. Les conditions météorologiques peuvent influencer la transmission des ondes sonores ainsi que la présence de pollution sonore d'origine anthropique. La taille des meutes influe également sur la probabilité de détection. De plus, les loups de faible rang de dominance et les loups solitaires ont tendance à ne pas répondre aux stimuli artificiels, entraînant ainsi un biais de détection. Comme Harrington et Mech (1982) dénombraient les individus d'une

meute à l'oreille, ils ne recommandaient d'utiliser cette technique qu'en dernier recours. Ils expliquent leur décision par le fait qu'il est impossible, pour l'oreille humaine, de discerner les hurlements lorsque plus de trois loups vocalisent simultanément. Le recours au dénombrement auditif par une inspection visuelle spectrographique requiert une importante standardisation dans l'interprétation des résultats obtenus sous forme de spectrogrammes (Passilongo *et al.* (2015). Une formation adéquate est nécessaire pour employer cette méthode. Passilongo *et al.* (2015) suggèrent de ne pas utiliser uniquement cette méthode pour estimer l'abondance de loups dans un secteur donné en raison des biais associés à la variation des réponses des loups aux stimuli. Passilongo *et al.* (2015) recommandent de joindre ces données à d'autres informations biologiques résultant d'analyses génétiques, de suivis de pistes dans la neige ou d'images de caméras de détection automatique pour estimer l'abondance du loup dans une aire d'étude.

## Observations du public

### Principaux éléments à retenir

- La collecte d'information liée aux observations réalisées par le public, en particulier les chasseurs, est une approche peu coûteuse et facile à déployer pour colliger de l'information qualitative sur la présence du loup dans un secteur donné.
- La collecte d'information peut être pratiquée à différentes fréquences et peut prendre diverses formes. L'approche la plus commune est celle d'un sondage dirigé.
- Compte tenu des biais associés à la représentativité des observations, cette méthode n'est pas appropriée pour extrapoler la densité de loups dans de grands secteurs.
- Il faut envisager l'utilisation de techniques d'inventaire complémentaires pour valider ou extrapoler les estimations de densité obtenues à la suite d'observations faites par les chasseurs.

### Description de l'approche

Dans certaines circonstances, les utilisateurs du territoire peuvent être mis à contribution pour recueillir de l'information sur la présence et la distribution d'espèces animales sauvages. Les chasseurs sportifs constituent un groupe cible intéressant puisqu'ils utilisent et parcourent une partie de l'habitat durant la pratique de leurs activités de loisir. Leurs observations sont largement utilisées et permettent de recueillir de l'information sur certaines espèces qui font l'objet d'un prélèvement (p. ex. l'orignal, *Alces alces*, Ronnegard *et al.*, 2008; Crum *et al.*, 2017). Cette méthode peut également être utilisée pour des espèces qui ne sont pas ciblées par les chasseurs, mais dont les signes de présence peuvent tout de même être colligés. C'est notamment le cas des canidés comme le loup (Rich *et al.*, 2013). La collecte d'information peut prendre différentes formes, couvrir différents niveaux de précision et s'effectuer à des fréquences variables. Plus spécifiquement, l'information est colligée à la suite de sondages en ligne ou d'appels téléphoniques (Larivière *et al.*, 1999 ; Rich *et al.*, 2013 ; Ausband *et al.*, 2014), auxquels les chasseurs sont invités à répondre en indiquant leurs observations (qu'ils y en aient ou non) pour un intervalle de temps donné. Le niveau de précision et le type d'information demandés sont variables et adaptés aux conditions locales (Crête et Messier, 1987 ; Jolicoeur *et al.*, 2000). Par exemple, Husek *et al.* (2021) ont compilé des observations directes et indirectes des signes de présence de loups (p. ex. pistes, fèces, tanières) durant leur étude. L'estimation de la densité à partir d'observations faites par les chasseurs consistait à compiler les informations recueillies

(p. ex. pistes, fèces, hurlements, observations directes) et à les traduire en un indice relatif de présence ou en une mesure de densité pour une superficie ou un secteur donné (Crête et Messier, 1987). Crête et Messier (1987) ont basé l'estimation de la densité du loup au sud-ouest du Québec en s'appuyant uniquement sur les observations directes et les signes de présence du loup (hurlements, fèces, pistes) rapportés par les chasseurs d'originaux. L'approche de calcul d'estimation de densité élaborée par Crête et Messier (1987) a été utilisée comme référence dans la majorité des études de population basées sur des sondages d'observation et demeure largement utilisée (Larivière *et al.*, 1999 ; Rich *et al.*, 2013 ; Ausband *et al.*, 2014 ; Husek *et al.*, 2021).

## Études de cas et exemples d'application

Des sondages auprès de chasseurs fréquentant des terres publiques au Montana (Rich *et al.*, 2013), dans l'Idaho (Ausband *et al.*, 2014) ainsi que dans les réserves fauniques du sud du Québec (Larivière *et al.*, 1999) ont permis d'obtenir des témoignages d'observation directe de loups ou de signes de leur présence. Ces informations ont été utilisées pour confirmer la présence du loup et documenter sa distribution dans ces régions (Larivière *et al.*, 1999 ; Rich *et al.*, 2013 ; Ausband *et al.*, 2014).

Au Montana, la récolte d'information auprès des chasseurs s'est principalement effectuée par sondage téléphonique (entre 50 000 et 80 000 appels, Rich *et al.*, 2013) et à partir de l'application mobile gouvernementale « Report a Wolf » (Bradley *et al.*, 2015). Plusieurs centaines de signalements de loups ont été rapportés aussi sur le site Internet United States Fish and Wildlife Services (USFWS), par la poste, par téléphone et lors de campagnes d'information et de sensibilisation effectuées dans les stations d'enregistrement de gibier (Bradley *et al.*, 2015). Les questions posées aux chasseurs visaient à obtenir les géolocalisations des loups observés sur le territoire (Rich *et al.*, 2013). En utilisant les géolocalisations obtenues, Rich *et al.* (2013) ont calculé la probabilité d'une présence de loups sur le territoire en le découpant en cellules de 600 km<sup>2</sup>.

Dans l'Idaho, Ausband *et al.* (2014) ont envoyé des formulaires dans chacune des 75 unités de gestion de chasse (GMU) pour sonder les chasseurs afin d'obtenir les informations suivantes : les GMU fréquentées, les périodes de fréquentation, les observations de loups (nombre de loups observés, localisation, dates d'observation). Une fois les données obtenues, ils ont calculé la densité en se basant sur le modèle de Crête et Messier (1987) (Ausband *et al.*, 2014). Pour compenser un faible taux de réponse (32 %), Ausband *et al.* (2014) ont eu recours à un

dénombrement de loups à des sites de rendez-vous et à des données récoltées précédemment par télémétrie.

Au Québec, les chasseurs d'originaux sont sondés lorsqu'ils pratiquent une activité de chasse à l'original dans certaines réserves fauniques, par exemple la réserve faunique des Laurentides et la réserve faunique de Portneuf (S. Massé, communication personnelle). Les groupes de chasseurs sont questionnés sur les signes de présence de loups (p. ex. hurlements, fèces et pistes) observés. Par la suite, les données d'observation et d'indices de présence sont géolocalisées. On peut estimer la densité de loups en se basant sur l'approche de Crête et Messier (1987). Laliberté *et al.* (1999) ont appliqué cette méthode, mais soulignent que le fait que certains secteurs soient les plus fréquentés par les chasseurs pourrait conduire à une surestimation du nombre de loups observés localement. Ce biais aurait pour conséquence de mener à une surestimation de la densité moyenne à l'échelle d'une plus grande aire d'étude.

## Avantages

L'estimation de la densité de loups obtenue par sondage auprès du public est une méthode peu coûteuse, répliquable et participative qui peut s'avérer efficace pour recueillir de l'information au sujet de grandes aires étude. Les estimations basées sur cette méthode se comparent généralement assez bien à celles obtenues par suivi télémétrique (Laliberté *et al.*, 1999 ; Rich *et al.*, 2013 ; Ausband *et al.*, 2014). L'utilisation des sondages d'observation réalisés auprès des chasseurs représente une méthode efficace et non invasive pour pallier les contraintes de temps et d'accessibilité aux sites d'étude.

## Limites d'application et recommandations

L'utilisation d'observations réalisées par le public pour estimer la densité du loup comporte de possibles biais (Rich *et al.*, 2013). Une mauvaise identification de l'espèce par l'observateur peut entraîner un faux positif, tandis que l'absence d'observations lorsque l'animal est présent peut causer un faux négatif (Miller *et al.*, 2011). Afin de diminuer ce biais d'observation et d'identification, Rich *et al.* (2013) ont qualifié une observation de loup comme fondée lorsque 3 chasseurs différents ont rapporté la présence d'un nombre de loups variant entre 2 et 25 dans le même secteur. Dans l'Idaho, Ausband *et al.* (2014) ont utilisé le même type de confirmation d'observations par 3 chasseurs différents, mais en utilisant seulement un compte minimal de 2 individus dans un même secteur. Les travaux de Larivière *et al.* (1999) ne mentionnent pas de mesure particulière pour tenir compte de ces biais, mais ont avancé qu'un nombre élevé de

chasseurs dans un même secteur pourrait résulter en une surestimation de l'abondance de loups. Le niveau de précision des informations rapportées par les chasseurs peut se révéler variable, car ce ne sont pas tous les chasseurs qui fournissent la même quantité et qualité d'informations lorsqu'ils répondent aux sondages (Ausband *et al.*, 2014). De plus, les observations rapportées risquent de devenir moins représentatives à la suite d'une baisse d'engagement ou de motivation des chasseurs (Rich *et al.*, 2013). L'utilisation de cette méthode est recommandée en parallèle avec d'autres méthodes (p. ex. suivi télémétrique ou suivi des pistes).

## Biomasse des ongulés

### Principaux éléments à retenir

- Cette technique se base sur la relation entre la densité de loups et la biomasse de proies présentes dans l'habitat, soit principalement celles des ongulés, considérés comme les proies principales du loup.
- Différents modèles mathématiques ont été élaborés pour permettre de calculer la densité de loups en fonction de la biomasse d'ongulés en se basant sur une population d'ongulés dont la densité est connue dans l'aire d'étude. Ces modèles ont été adaptés dans divers contextes et types d'habitats pour estimer la densité de loups.
- L'utilisation de cette méthode exige de respecter de nombreuses prémisses, notamment en termes de disponibilité de valeurs fiables quant à la biomasse des proies présentes. Le recours à la méthode d'estimation de la densité de loups basée sur la biomasse d'ongulés devrait être réservé à des secteurs d'étude où les paramètres du modèle sont disponibles et devrait faire l'objet d'une validation par une méthode directe d'évaluation de la densité de loups (p. ex. télémétrie, suivi de pistes, etc.).

### Description de l'approche

Il est possible d'obtenir indirectement une estimation de la densité de loups présente dans un secteur donné en se basant sur la biomasse de proies disponibles, soit principalement celles des ongulés, considérés comme les proies principales du loup (Keith, 1983). Cette approche se base sur une corrélation entre le nombre de loups, principalement rapporté en termes de densité de loups, et la disponibilité des proies dans un habitat donné afin de fournir une estimation de la densité de loups. Différents modèles découlent de cette approche :

- **Le modèle de Keith (1983)** :  $W = (UB (\lambda_P - 1) - S) / K \times 1000$

Où W réfère à la densité de loups par 1 000 km<sup>2</sup>, UB réfère à la biomasse d'ongulés par km<sup>2</sup>,  $\lambda_P$  correspond au taux de croissance d'une population d'ongulés lorsque la quantité de nourriture est suffisante et sans mortalité, S réfère au nombre d'ongulés abattus par la chasse par km<sup>2</sup> annuellement et K réfère au taux de prédation annuel par loup sur les ongulés.

- **Le modèle de Fuller *et al.* (2003)** :  $W = 3,5 + (UB \times 3,3)$

Où W réfère à la densité de loups par 1 000 km<sup>2</sup> et UB réfère à la biomasse d'ongulés par km<sup>2</sup>.

- **Le modèle de Kuzyk et Hatter (2014)** :  $W = (UB \times 5,4) - (UB^2 \times 0,166)$

Où W réfère à la densité de loups par 1 000 km<sup>2</sup> et UB réfère à la biomasse d'ongulés par km<sup>2</sup>.

**Le modèle de Messier (1994)** :  $W = (58,7 \times (M - 0,03)) / (M + 0,76)$

Où W réfère à la densité de loups par 1 000 km<sup>2</sup> et M réfère à la densité d'orignaux par km<sup>2</sup>.

- **Le modèle de Klaczek et Heard (2016)** :  $W = (26,15 \times M) / (M + 0,341)$

Où W réfère à la densité de loups par 1 000 km<sup>2</sup> et M réfère à la densité d'orignaux par km<sup>2</sup>.

Ces différents modèles utilisent des valeurs fixes pour estimer la densité de loups. Ces valeurs peuvent être acquises dans le cadre de programmes de suivi ou d'acquisition de connaissances pour les secteurs d'étude visés ou estimées à partir de travaux réalisés dans des conditions et milieux similaires. Les modèles de Messier (1994) et Klaczek et Heard (2016) sont propres à des secteurs où uniquement l'original est considéré comme proie du loup. Le modèle de Messier (1994) a comme prémisse spécifique la nécessité d'une densité minimale de 0,03 orignal/km<sup>2</sup> dans un secteur pour estimer la densité du loup. Les modèles de Keith (1983), Fuller *et al.* (2003) et Kuzyk et Hatter (2014) sont plus appropriés dans des secteurs où plusieurs espèces d'ongulés sont susceptibles d'être consommées par le loup. Le recours aux modèles basés sur la biomasse d'ongulés peut être une approche intéressante pour obtenir une estimation de la densité de loups dans un secteur donné. Le niveau de précision obtenu peut s'avérer suffisant dans une optique de gestion des populations pourvu que l'information sur la biomasse d'ongulés soit disponible (Kuzyk et Hatter, 2014). L'acquisition ou la disponibilité de telles valeurs peut toutefois constituer une limite d'application majeure à l'utilisation de cette méthode.

## Études de cas et exemples d'application

Au Québec, Jolicoeur et Hénault (2002) ont estimé la densité de population de loups en se basant sur trois méthodes : les observations des chasseurs, la télémétrie (avec une délimitation des domaines vitaux) et la biomasse d'ongulés adaptée du modèle de Keith (1983). Les densités de cerfs de Virginie, d'orignaux et de caribous forestiers du Québec utilisées par Jolicoeur et Hénault (2002) pour estimer la densité de loups sont issues d'études réalisées dans les années 1990. Considérant le dimorphisme de masse corporelle élevé entre ces trois espèces, les densités

d'originaux et de caribous ont été transformées en équivalents-cerfs pour faciliter le calcul de la biomasse d'ongulés. Selon cette conversion, la biomasse d'un orignal représente l'équivalent de celle de 6 cerfs et celle d'un caribou, l'équivalent de la biomasse de 2 cerfs. Les densités de loups obtenues en fonction des trois méthodes utilisées par Jolicoeur et Hénault (2002) sont similaires pour des secteurs d'étude de faible superficie, mais présentent de grandes disparités pour des secteurs de plus grande superficie. Ce constat souligne l'importance d'établir l'aire d'étude lors du choix de la ou des méthodes d'évaluation de la densité de loups.

En Colombie-Britannique, Kuzyk et Hatter (2014) ont utilisé le rapport entre la biomasse d'ongulés et la densité de loups. Kuzyk et Hatter (2014) ont extrait les estimations de densité d'ongulés (10 espèces dont l'orignal, le cerf-mulet [*Odocoileus hemionus*] et la chèvre de montagne [*Oreamnos americanus*]) à partir d'inventaires réalisés de 2000 à 2011. Les coefficients de conversion de biomasse d'ongulés utilisés correspondent à ceux calculés par Keith (1983). Kuzyk et Hatter (2014) ont obtenu des valeurs de densité de loups variant entre 4 et 15 loups/1 000 km<sup>2</sup>. Ces valeurs de densité sont similaires à celles rapportées lors des suivis par télémétrie du loup dans certaines régions de la Colombie-Britannique (Hatter *et al.*, 2008).

## Avantages

L'évaluation de la densité de loups au moyen d'une approche mathématique basée sur la biomasse d'ongulés a pour avantage d'être une approche rapide et répétable, pourvu que les valeurs nécessaires pour paramétrer le modèle soient disponibles dans le secteur d'étude. Les valeurs obtenues par cette méthode s'apparentent à celles obtenues par d'autres approches (suivi télémétrique, Jolicoeur et Hénault, 2002; Kuzyk et Hatter, 2014 ; observations des chasseurs, Jolicoeur et Hénault, 2002).

## Limites d'application et recommandations

Jolicoeur et Hénault (2002) ont rapporté que les valeurs de densité de loups obtenues par l'estimation basée sur la biomasse d'ongulés étaient supérieures dans les régions nordiques du Québec que ce qui était observé dans la littérature. Cette influence de l'emplacement géographique du site d'étude s'expliquerait par la variation de la disponibilité des proies migratrices au cours de l'année dans les régions nordiques, dans ce cas-ci le caribou migrateur (MELCCFP et Caribou Ungava, données non publiées). Comme le caribou migrateur effectue des migrations saisonnières nord-sud au nord du Québec-Labrador, la densité de loups pourrait varier spatialement de manière proportionnelle à la disponibilité de caribous. Comme la biomasse

d'ongulés correspond à une valeur annuelle fixe dans le modèle de Keith (1983), le recours à la méthode d'évaluation basée sur la biomasse d'ongulés s'applique mieux aux écosystèmes du sud du Québec où l'abondance et la diversité de proies sont relativement stables qu'à des régions dominées par des proies migratrices (Messier, 1995; Kusyk et Hatter, 2014). Une deuxième source d'imprécision de cette méthode réside dans la précision des facteurs de conversion utilisés. En transformant le poids des caribous en équivalents-cerfs tel que le suggère Keith (1983), Jolicoeur et Hénault (2002) ont rapporté que le poids des caribous était surestimé par rapport au poids moyen décrit dans d'autres travaux. Cette différence dans le poids des proies utilisé peut avoir pour effet de biaiser les calculs et mener à une surestimation ou sous-estimation de la densité de loups. La principale limite d'application de cette approche demeure la représentativité et la disponibilité des valeurs nécessaires pour paramétrer les modèles (p. ex. estimations de densité ou de biomasse d'ongulés, taux de prédation, taux de prélèvement par la chasse). Également, Kusyk et Hatter (2014) soulignent que l'estimation de la densité de loups à partir de la biomasse d'ongulés risque d'être biaisée, à la baisse ou à la hausse, si :

- la population de loups n'a pas eu le temps de s'ajuster démographiquement à la disponibilité locale d'ongulés à la suite d'un retrait significatif par la chasse;
- d'autres proies que les ongulés sont consommées par les loups (p. ex. du bétail);
- il y a présence d'autres espèces de prédateurs dans l'habitat (p. ex. l'ours noir, *Ursus americanus*) susceptibles de consommer les mêmes proies que le loup.

Considérant que de nombreuses prémisses doivent être satisfaites et que certains paramètres nécessaires à la modélisation peuvent être difficiles à obtenir, voire indisponibles, pour certains secteurs (p. ex. taux de prélèvement par la chasse [sportive et autochtone] des ongulés), le recours à l'estimation de la densité de loups basée sur la biomasse d'ongulés devrait être réservée à des études exploratoires ou à des secteurs d'étude circonscrits où l'ensemble des valeurs requises peuvent être obtenues pour la période ciblée.

**Tableau 1. Sommaire des principales méthodes d'estimation de l'abondance et de la densité applicables pour le loup (*Canis lupus*)**

Méthodes	Descriptif, principaux avantages et limites d'application
Suivi télémétrique	<p>Consiste en l'installation d'un collier émetteur sur certains loups. Les données télémétriques sont par la suite utilisées pour délimiter les territoires des meutes. Un dénombrement, généralement par l'utilisation d'un aéronef, est par la suite réalisé pour estimer l'abondance et la densité de loups dans l'aire d'étude. Le suivi télémétrique de loups peut contribuer à déployer efficacement d'autres méthodes d'estimation de l'abondance et de la densité de loups dans une aire d'étude, par exemple en circonscrivant des secteurs d'étude en fonction des limites des territoires des loups suivis par télémétrie.</p> <p>Applicabilité en forêt boréale et tempérée au Québec : élevée</p> <p>Principaux avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut être pratiqué toute l'année, en toutes conditions et sur de grandes superficies.</li> <li>• Permet de documenter l'utilisation de l'espace et les taux de survie des loups.</li> <li>• Mène à l'obtention d'estimés d'abondance et de densité fiables et représentatifs.</li> </ul> <p>Limites d'application</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coûts de déploiement et de suivi élevés.</li> <li>• Logistique complexe pour la pose de colliers émetteurs sur les loups.</li> </ul>
Capture-marquage-recapture (CMR) au moyen de caméras de détection automatique	<p>L'estimation de la densité par une approche de capture-marquage-recapture (CMR) consiste à utiliser la proportion d'animaux marqués qui sont recapturés afin d'estimer la densité de la population dans l'aire d'échantillonnage. Différents modèles mathématiques permettent de produire des estimés de densité. Dans le cas d'espèces cryptiques ou difficiles à observer, le recours à des caméras de détection automatique est un outil disponible et de plus en plus largement utilisé.</p> <p>Applicabilité en forêt boréale et tempérée au Québec : modérée à élevée.</p> <p>Principaux avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet un effort d'échantillonnage sur de relativement grandes superficies.</li> <li>• Méthode non invasive.</li> <li>• Modèles mathématiques permettant de corriger et de tenir compte de divers facteurs.</li> </ul>

Méthodes	Descriptif, principaux avantages et limites d'application
	<p>Limites d'application</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût d'achat du matériel (caméras de détection automatique, cartes mémoire, batteries).</li> <li>• Effort d'installation et de déploiement des caméras important.</li> <li>• Respect des prémisses des différents modèles mathématiques.</li> <li>• Temps et personnel requis pour l'analyse des photos.</li> </ul>
<p>Identification génétique</p>	<p>Échantillonnage de matériel génétique provenant des individus d'une population pour estimer l'abondance et la densité d'une espèce sur une aire donnée. On peut utiliser des tissus matières tels que du poil ou des fèces. L'estimation de l'abondance ou de la densité peut prendre différentes approches, notamment le recours à une approche CMR.</p> <p>Applicabilité en forêt boréale et tempérée au Québec : modérée à élevée.</p> <p>Principaux avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Récolte de tissus non invasive si des dispositifs tels que des poteaux à poils sont utilisés ou dans le cas d'une récolte de fèces le long de transects.</li> <li>• Fort degré d'attribution individuelle.</li> <li>• Échantillonnage possible sur de relativement grandes superficies.</li> </ul> <p>Limites d'application</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Effort de récolte important.</li> <li>• Coûts d'analyse élevés.</li> <li>• Représentativité de l'échantillonnage dans les populations dont les individus se déplacent sur de grandes distances.</li> </ul>
<p>Données de récolte</p>	<p>Reposent sur la prémisses d'une corrélation positive entre les statistiques de récolte et l'abondance ou la densité d'une espèce dans un secteur donné. Au Québec, les données concernant le nombre d'animaux piégés et le nombre de fourrures vendues sont compilées par le MELCCFP et peuvent être utilisées au profit de cette méthode.</p>

Méthodes	Descriptif, principaux avantages et limites d'application
	<p>Applicabilité en forêt boréale et tempérée au Québec : selon la disponibilité de données de récolte pour l'aire d'étude.</p> <p>Principaux avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation rapide et peu coûteuse, utilisation rapide lorsque les données de récolte sont disponibles.</li> <li>• Permet de suivre temporellement l'évolution de l'état des populations lorsque les données sont recueillies sur de longues séries temporelles.</li> </ul> <p>Limites d'application</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilité et représentativité des données.</li> </ul>
Suivi de pistes	<p>Consiste à repérer, à identifier, puis à calculer, pour une superficie donnée, les pistes de l'espèce ciblée. Le suivi peut s'effectuer à partir du sol ou des airs, selon la couverture forestière et la superficie à couvrir.</p> <p>Applicabilité en forêt boréale et tempérée au Québec : modérée.</p> <p>Principaux avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Approprié à la couverture de grandes superficies de territoires.</li> <li>• Facile à déployer et répliquable.</li> <li>• Relativement précis.</li> </ul> <p>Limites d'application</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Personnel qualifié dans l'identification et la reconnaissance de pistes.</li> <li>• Difficulté à respecter les prémisses de base.</li> <li>• Difficulté à cerner le nombre d'individus.</li> </ul>
Dénombrement auditif	<p>Utilisation de signaux sonores (hurlements artificiels) pour obtenir une estimation du nombre d'individus dans une meute selon le taux et le nombre de réponses entendues.</p> <p>Applicabilité en forêt boréale et tempérée au Québec : faible.</p>

Méthodes	Descriptif, principaux avantages et limites d'application
	<p>Principaux avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Non invasif.</li> <li>• Relativement simple à réaliser.</li> <li>• Peu coûteux.</li> </ul> <p>Limites d'application</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande variabilité dans le taux de réponse aux hurlements artificiels selon la composition des meutes et le rang social.</li> <li>• Pertinence de jumeler son utilisation avec le pistage ou le recours à la télémétrie.</li> <li>• Sensibilité aux conditions météorologiques, qui influencent le taux de réponse aux hurlements artificiels.</li> </ul>
Observation du public	<p>Consiste à colliger les informations liées aux signes de présence (pistes, fèces, tanières, hurlements, observations directes, etc.) enregistrés par les observateurs présents sur le territoire. Ces signes de présence peuvent ensuite être traduits en un indice relatif.</p> <p>Applicabilité en forêt boréale et tempérée au Québec : selon la disponibilité de données d'observation pour l'aire d'étude.</p> <p>Principaux avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Non invasive.</li> <li>• Peu coûteuse.</li> <li>• Capable de couvrir de grandes superficies de territoires et très adaptable au contexte.</li> </ul> <p>Limites d'application</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveau et qualité de l'information recueillie variable entre les observateurs.</li> <li>• Résultats influencés par l'effort d'observation.</li> </ul>

Méthodes	Descriptif, principaux avantages et limites d'application
Modèles basés sur la biomasse d'ongulés	<p data-bbox="508 263 1894 360">Approche mathématique basée sur la relation entre la densité estimée de loups et la biomasse de proies (principalement les ongulés) présente dans l'habitat. Plusieurs modèles mathématiques ont été élaborés et adaptés à divers contextes et types d'habitats pour estimer la densité de loups.</p> <p data-bbox="508 393 1297 425">Applicabilité en forêt boréale et tempérée au Québec : faible.</p> <p data-bbox="508 457 793 490">Principaux avantages</p> <ul data-bbox="558 522 1860 555" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="558 522 1860 555">• Utilisation rapide, peu coûteuse et ne nécessitant pas de personnel ni de ressources spécialisés.</li> </ul> <p data-bbox="508 581 777 613">Limites d'application</p> <ul data-bbox="558 646 1751 750" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="558 646 1192 678">• Sujets au respect de nombreuses prémisses.</li> <li data-bbox="558 685 1516 717">• Faible adaptation aux systèmes où se trouvent des proies migratrices.</li> <li data-bbox="558 724 1751 750">• Disponibilité de données concernant la biomasse d'ongulés présente dans l'aire d'étude.</li> </ul>

## Conclusion

La présente revue de littérature scientifique brosse un portrait des diverses méthodes d'inventaire disponibles et applicables chez les canidés, en mettant l'accent sur le loup en forêt boréale. Bien qu'elle soit exhaustive, l'information rapportée ne vise pas à fournir une description détaillée des approches d'analyse des données, mais bien à doter le MELCCFP d'une synthèse rassemblant les principales méthodes documentées dans la littérature. Les méthodes présentées comportent toutes des avantages et limites d'application qu'il importe d'analyser en fonction des budgets disponibles, de la disponibilité des équipements et des ressources humaines, des informations recherchées et des connaissances nécessaires quant à l'état de la ou des populations de loups dans l'aire d'étude. Le recours à une ou plusieurs méthodes d'évaluation de l'abondance ou de la densité de loups dans une aire donnée doit reposer sur une analyse au cas par cas afin de bien adapter la méthodologie aux conditions établies et aux objectifs visés.

## Bibliographie

- ALEXANDER, S. R., P. C. PAQUET, T. B. LOGAN et D. J. SAHER, 2005. "Snow-tracking versus radio-telemetry for predicting wolf-environment relationships in the Rocky Mountains of Canada", *Wildlife Society Bulletin*, 33(4): 1216-1224.
- ALIBHAI, S., Z. JEWELL et J. EVANS, 2020. "The challenge of monitoring elusive large carnivores: An accurate and cost-effective tool to identify and sex pumas (*Puma concolor*) from footprints", *PLOS ONE*, 15(11): e0242584.
- AUSBAND, D. E., L. N. RICH, E. M. GLENN, M. S. MITCHELL, P. ZAGER, D. A. W. MILLER, L. P. WAITS, B. B. ACKERMAN et C. M. MACK, 2014. "Monitoring gray wolf population using multiple survey method", *The Journal of Wildlife Management*, 78(2): 345-346.
- AUSBAND, D. E., P. M. LUKACS, M. HURLEY, S. ROBERTS, K. STRICKFADEN et A. K. MOELLER, 2022. "Estimating wolf abundance from cameras" *Ecosphere*, 13(2): 1-8.
- BECK, A., R. BECK, J. KUSAK, A. GUDAN, F. MARTINKOVIC, B. ARTUKOVIC, M. HOHSTETER, D. HUBER, A. MARINCULIC et Z. GRABAREVIC, 2008. "A case of visceral leishmaniosis in a Gray Wolf (*Canis lupus*) from Croatia", *Journal of Wildlife Diseases*, 44(2): 451-456.
- BECKER, E. F., M. A. SPINDLER et T. O. OSBORNE, 1998. "A population estimator based on network sampling of tracks in the snow", *The Journal of Wildlife Management*, 62(3): 968-977.
- BOITANI, L. 2003. *Wolves, Behavior, Ecology and Conservation* (eds L. D. Mech and L. Boitani), pp. 317-340. The University of Chicago Press, Chicago.
- BRADLEY, L., J. GUDE, N. LANCE, K. LAUDON, A. MESSER, A. NELSON, G. PAULEY, M. ROSS, T. SMUCKER, J. STEUBER et J. VORE, 2015. "Montana gray wolf conservation and management", *2014 Annual Report*, Montana Fish, Wildlife and Parks, Helena Montana, 60 p.
- BURCH, J. W., L. G. ADAMS, E. H. FOLLMANN et E. A. REXSTAD, 2005. "Evaluation of wolf density from radiotelemetry data", *Wildlife Society Bulletin*, 33(4): 1225-1236.
- CAMPBELL, N. A. et J. B. REECE, 2007. *Biologie*, 2<sup>e</sup> édition, Édition du Renouveau Pédagogique, 1334 p.
- CHANDLER, R. B. et J. A. ROYLE, 2013. "Spatially explicit models for inference about density in unmarked or partially marked populations", *The Annals of Applied Statistics*, 7(2): 936-954.
- CLENDENIN, H. R., J. R. ADAMS, D. E. AUSBAND, J. A. HAYDEN, P. A. HOHENLOHE et L. P. WAITS, 2020. "Combining harvest and genetics to estimate reproduction in wolves", *The Journal of Wildlife Management*, 84(3): 492-504.
- CRÊTE, M., et F. MESSIER, 1987. "Evaluation of indices of gray wolf, *Canis lupus*, density in hardwood-conifer forests of southwestern Québec", *The Canadian Field-Naturalist*, 101: 147-152.
- CRÊTE, M., et F. MESSIER, 1985. "Moose-wolf dynamics and the natural regulation of moose populations", *Oecologia*, 65: 503-512.

- CRUM, N. J., A. K. FULLER, C. S. SUTHERLAND, E. G. COOCH et J. HURST, 2017. "Estimating occupancy probability of moose using hunter survey data", *Journal of Wildlife Management*, 81(3): 521-534.
- FULLER, T. K., et B. A. SAMPSON, 1988. "Evaluation of simulated howling survey for wolves", *The Journal of Wildlife Management*, 52(1): 60-63.
- FULLER, T. K., 1989. "Population dynamics of wolves in North-Central Minnesota", *Wildlife Monographs*, 105: 3-41.
- FULLER, T. K., L. D. MECH et J. F. COCHRANE, 2003. *Wolf population dynamics*, USGS Northern Prairie Wildlife Research Centre. 161-191 p.
- FULLER, T. K., et W. J. SNOW, 1988. "Estimating winter wolf densities using radiotelemetry data", *Wildlife Society Bulletin*, 16(4): 367-370.
- GABLE, T. D., S. K. WINDELS et J. K. BUMP, 2018. "Finding wolf homesites: Improving the efficacy of howl surveys to study wolves", *PeerJ*, 6: e5629.
- GESE, E. M., 2004. "Survey and census techniques for canids", USDA National Wildlife Research Center – Staff Publications, 9 p.
- GOLDEN, H. N., J. D. HENRY, E. F. BECKER, M. I. GOLDSTEIN, J. M. MORTON, D. F. SR et A. J. POE, 2007. "Estimating wolverine *Gulo gulo* population size using quadrat sampling of tracks in snow", *Wildlife Biology*, 13(2): 52-61.
- HALFPENNY, J. C., R. W. THOMPSON, S. C. MORSE, T. HOLDEN et P. REZENDES, 1997. "Snow tracking", in *Mesocarnivores of northern California – Biology, Management and Survey Techniques*, Humboldt State University, Arcata, CA., 137 p.
- HARMSSEN, B. J., R. J. FOSTER et H. QUIGLEY, 2020. "Spatially explicit capture recapture density estimates: Robustness, accuracy and precision in a long-term study of jaguars (*Panthera onca*)", *PLOS ONE*, 15(6): e0227468.
- HARRINGTON, F. H., et L. D. MECH, 1982. "An analysing of howling response parameters useful for wolf pack censuring", *The Journal of Wildlife Management*, 46(3): 686-693.
- HART, K. M., et K. D. HYRENBACH, 2009. "Satellite telemetry of marine megavertebrates: The coming of age of an experimental science", *Endangered Species Research*, 10: 9-20.
- HATLER, D. F., D. W. NAGORSEN et A. M. BEAL, 2008. *Carnivores of British Columbia*. Royal BC Museum, Victoria, BC.
- HEDGAL, P. L., et B. A. COLVIN, 1986. "Telemetry", dans COOPERRIDER, A., R. J. BOYD, H. R. STUART, *Inventory and monitoring of wildlife habitat*, U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, 858 p.
- HÉNAULT, M., et H. JOLICOEUR, 2003. *Les loups au Québec : meutes et mystères*, Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de l'aménagement de la faune des Laurentides et Direction du développement de la faune, 129 p.

- HUSEK, J., M. R. BOUDREAU et M. PANEK, 2021. "Hunter estimates of game density as a simple and efficient source of information for population monitoring: A comparison to targeted survey methods", *PLOS ONE* 16(8): e0256580.
- IMPERIO, S., M. FERRANTE, A. GRIGNETTI, G. SANTINI et S. FOCARDI, 2010. "Investigating population dynamics in ungulates: Do hunting statistics make up a good index of population abundance?", *Wildlife Biology*, 16: 205-214.
- JENKS, K. E., P. CHANTEAP, K. DAMRONGCHAINARONG, P. CUTTER, T. REDFORD, A. J. LYNAM, J. HOWARD et P. LEIMGRUBER, 2011. "Using relative abundance indices from camera-trapping to test wildlife conservation hypotheses – an example from Khao Yai National Park, Thailand", *Tropical Conservation Science*, 4(2): 113-131.
- JOLICOEUR, H., 1998. « Le loup du massif du lac Jacques-Cartier », Québec, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction générale de la gestion de la faune et des habitats, Direction de la conservation et du patrimoine écologique, 132 p.
- JOLICOEUR, H., et M. HÉNAULT, 2002. « Répartition géographique du loup et du coyote au sud du 52<sup>e</sup> parallèle et estimation de la population de loups au Québec », Société de la faune et des parcs du Québec, 56 p.
- JOLICOEUR, H., R. LAFOND, N. SCARINGELLA, W. GRENIER et R. MORIN, 2000. « Résultats d'une enquête postale maison effectuée en 1997 auprès des trappeurs et des chasseurs de loups et de coyotes du sud du Québec », Société de la faune et des parcs du Québec, 68 p.
- KAHLERT, J., A. D. FOX, H. HELDBJERG, T. ASFERG et P. SUNDE, 2015. "Functional responses of human hunters to their prey – why harvest statistics may not always reflect changes in prey population abundance", *Wildlife Biology*, 21: 294-302.
- KAWAGUCHI, T., A. DESROCHERS et H. BASTIEN, 2015. "Snow tracking and trapping harvest as reliable sources for inferring abundance", *Northeastern Naturalist*, 22(4): 798-811.
- KEITH, L. B., 1983. "Population dynamics of wolves", dans L. N. Carbyn (dir.), *Wolves of Canada and Alaska: Their status, biology and management*, *Canadian Wildlife Report Series*, 66-77.
- KENWARD, R. E., 1985. *Raptor radio-tracking and telemetry*, ICBP Technical Publication, 5:409-420.
- KLACZEK, M., et D. HEARD, 2016. "Population assessment of Southern Mountain Caribou (*Rangifer tarandus*) in the Prince George Forest District", Ministry of Forests Region and District Contacts, 23 p.
- KOJOLA, I., P. HELLE, S. HEIKKINEN, H. LINDEN, A. PAASIVAARA et M. WIKMAN, 2014. "Tracks in snow and population size estimation: The wolf *Canis lupus* in Finland", *Wildlife Biology*, 20: 279-284.
- KUZYK, G. W., et I. W. HATTER, 2014. "Using ungulate biomass to estimate abundance of wolves in British Columbia", *Wildlife Society Bulletin*, 38(4): 878-883.
- LALIBERTÉ, S. A., et W. J. RIPPLE, 1999. "Wildlife Encounters by Lewis and Clark: A Spatial Analysis of Interactions between Native Americans and Wildlife", *BioScience*, 53(10): 994-1003.

- LARIVIÈRE, S., H. JOLICOEUR et M. CRÊTE, 1999. "Status and conservation of the gray wolf (*Canis lupus*) in wildlife reserve of Québec", *Biological Conservation*, 94: 143-151.
- LINNELL, D. C., J. ODDEN, R. ANDERSEN, H. BROSETH, H. ANDRÉN, O. LIBERG, P. AHLQVIST, P. MOA, T. KVAM, P. SERGERSTROM, K. SCHMIDT, W. JEDRZEJEWSKI et H. OKARMA, 2007. "Distance rules for minimum counts of Eurasian lynx (*Lynx lynx*) family groups under different ecological conditions", *Wildlife Biology*, 13(4): 447-455.
- LONG, R. A., P. MCKAY, W. J. ZELINSKI et J. C. RAY, 2008. *Non-invasive survey method for carnivores*, Island Press, 484 p.
- LONG, W., J. JIAO, X. LIANG et M. TANG, 2018. "An exploration-enhanced grey wolf optimizer to solve high-dimensional numerical optimization", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 68: 63-80.
- LOPEZ-BAO, J. V., R. GODINHO, C. PACHECO, F. J. LEMA, E. GARCIA, L. LLANEZA, V. PALACIOS et J. JIMENEZ, 2018. "Toward reliable population estimates of wolves by combining spatial capture-recapture models and non-invasive DNA monitoring", *Scientific Reports*, 8: 1-8.
- MARCON A., D. BATTOCCHIO, M. APOLLONIO et S. GRIGNOLIO, 2019. "Assessing precision and requirements of three methods to estimate roe deer density", *PLoS ONE* 14(10): e0222349.
- MATTIOLI, L., A. CANU, D. PASSILONGO, M. SCANDURA et M. APOLLONIO, 2018. "Estimation of pack density in grey wolf (*Canis lupus*) by applying spatially explicit capture-recapture models to camera trap data supported by genetic monitoring", *Frontiers in Zoology*, 15(38): 1-15.
- MESSIER, F., 1985. "Social organization, spatial distribution, and population density of wolves in relation to moose density", *Canadian Journal of Zoology*, 63: 1068-1077.
- MESSIER, F., 1994. "Ungulate population models with predation: A case study with the North American moose", *Ecology*, 75(2): 478-488.
- MESSIER, F., 1995. "On the functional and numerical responses of wolves to changing prey density", pages 187-197, dans CARBYN, L. N., S. H. FRITTS et D. R. SEIP (dir.), *Ecology and conservation of wolves in a changing world*, Canadian Circumpolar Institute, publication occasionnelle, n° 35, 642 p.
- MILLER, D. A., J. D. NICHOLS, B. T. MCCLINTOCK, E. H. CAMPBELL, L. L. BAILEY et L. A. WEIR, 2011. "Improving occupancy estimation when two types of observational error occur: non-detection and species misidentification", *Ecology*. 92(7): 1422-1428.
- MOHR, C. O., 1947. "Table of Equivalent Population of North America Small Mammals", *The American Midland Naturalist*, 37(1): 223-249.
- MURPHY, S. M., B. C. AUGUSTINE, J. R. ADAMS, L. P. WAITS et J. J. COX, 2018. "Integrating multiple genetic detection methods to estimate population density of social and territorial carnivores", *Ecosphere*. 9(10): 1-15.
- NAKASHIMA, Y., 2018. "Estimating animal density without individual recognition using information derivable exclusively from camera traps", *Journal of Applied Ecology*, 55(2): 735-744.

- PAPIN, M., 2018. "Apport de la bioacoustique pour le suivi d'une espèce discrète : le Loup gris (*Canis lupus*)", *Ecologie, Environnement*, Université de Lorraine, 200 p.
- PAPIN, M., M. AZNAR, E. GERMAIN, F. GUÉROLD et J. PICHENOT, 2019. "Using acoustic indices to estimate wolf pack size", *Ecological Indicators*, 103: 202-211.
- PASSILONGO, D., L. MATTIOLI, E. BASSI, L. SZABO et M. APOLLONIO, 2015. "Visualizing sound: counting wolves by using spectral view of the chorus howling", *Frontiers in Zoology*, 12:22: 1-9.
- PATTERSON B. R., N. W. S. QUINN, E. F. BECKER, D. B. MEIER, 2004. "Estimating wolf densities in forested areas using network sampling of tracks in snow", *Wildlife Society Bulletin*, 32(3): 938-947.
- PETROELJE, T. R., T. M. KAUTZ, D. E. BEYER JR et J. L. BELNT, 2021. "Interference competition between wolves and coyotes during variable prey abundance", *Ecology and Evolution*, 11: 1413-1431.
- PETTORELLI, N., S. D. CÔTÉ, A. GINGRAS, F. POTVIN et J. HUOT, 2007. "Aerial surveys vs hunting statistics to monitor deer density: The example of Anticosti Island, Québec, Canada", *Wildlife Biology*, 13(3): 321-327.
- PEUCHMAILLE S. J., et E. PETIT, 2007. "Empirical evaluation of non-invasive capture-mark-recapture estimation of population size based on a single sampling session", *Journal of Applied Ecology*, 44: 843-852.
- PFEFFER, S., 2016. "Comparison of three different indirect methods to evaluate ungulate population densities", mémoire de maîtrise en biologie, Department of Wildlife, Fish and Environmental Studies, Faculty of Forest Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, 46 p.
- POTVIN, F., 1986. "Écologie du loup dans la réserve de Papineau-Labelle", Direction de la faune terrestre, Ministère du loisir, de la chasse et de la pêche, 103 p.
- PRESCOTT, J., 2004. *Mammifères du Québec et de l'Est du Canada*, 2<sup>e</sup> édition, Éditions Michel Quintin, 399 p.
- REMINGTON, J. M., M. K. P. POISSON, D. R. HEIT, H. JONES, P. J. PEKINS et L. KANTAR, 2022. "A review of methods to estimate and monitor moose density and abundance", *Alces*, 58: 31-49.
- RICH, L. N., R. E. RUSSELL, E. M. GLENN, M. S. MITCHELL, J. A. GUDE, K. M. PODRUZNY, C. A. SIME, K. LAUDON, D. E. AUSBAND et J. D. NICHOLS, 2013. "Estimating occupancy and predicting numbers of gray wolf packs in Montana using hunter surveys", *The Journal of Wildlife Management*, 77(6): 1280-1289.
- ROBICHAUD, C. B., et M. S. BOYCE, 2010. "Spatial and temporal patterns of wolf harvest on registered traplines in Alberta, Canada", *The Journal of Wildlife Management*, 74(4): 635-643.
- ROFFLER, G. H., J. N. WAITE, K. L., PILGRIM, K. E., ZARN et M. K. SCHWARTZ, 2019. "Estimating abundance of a cryptic social carnivore using spatially explicit capture-recapture", *Wildlife Society Bulletin*, 43(1): 31-41.

- RONNEGARD, L., H. SAND, H. ANDREN, J. MANSOO et A. PEHRSON, 2008. "Evaluation of four methods used to estimate population density of moose *Alces alces*", *Wildlife Biology*, 14(3): 358-371.
- ROVERO, F., et A. R. MARSHALL, 2009. "Camera trapping photographic rate as an index of density in forest ungulates", *Journal of Applied Ecology*, 46(5): 1011-1017.
- ROWCLIFFE, J. M., J. FIELD, S. T. TURVEY et C. CARBONE. 2008. "Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition", *Journal of Applied Ecology*, 45(4): 1228-1236.
- ROYLE, J. A., 2004. "N-Mixture models for estimating population size from spatially replicated counts", *Biometrics*, 60(1): 108-115.
- ROYLE, J. A., R. B. CHANDLER, R. SOLLMANN et B. GARDNER, 2013. "Spatial Capture-Recapture", London Academic Press, 612 p.
- ROYLE, J. A. et S. J. CONVERSE, 2014. "Hierarchical spatial capture-recapture models: Modelling population density in stratified populations" *Methods in Ecology and Evolution*, 5(1): 37-43.
- RUSSO, B. M., A. S. JONES, M. J. CLEMENT, N. FYFFE, J. I. MESLER et E. S. RUBIN, 2023. "Camera trapping as a method for estimating abundance of Mexican wolves", *Wildlife Society Bulletin*, 47(2): e1416.
- STENGLEIN, J. L., L. P. WAITS, D. E. AUSBAND, P. ZAGER et C. M. MACK, 2010. "Efficient, non-invasive genetic sampling for monitoring reintroduced wolves", *Journal of Wildlife Management*, 74(5): 1050-1058.
- SVER, L., A. BIELEN, J. KRIZAN et G. GUZVICA, 2016. "Camera traps on wildlife crossing structures as a tool in gray wolf (*Canis lupus*) management. – Five years monitoring of wolf abundance trends in Croatia", *PLOS ONE*, 11(6):0156748.
- THOMPSON, W., 2004. "Sampling rare and elusive species: Concept, designs and techniques for estimating population parameters", Island Press, 429 p.
- THORSTAD, E. B., A. H. RIKARSEN, A. ALP et F. OKLAND, 2013. "The use of electronic tags in fish research – An overview of fish telemetry methods", *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13: 881-896.
- TROLLE, M., et M. KÉRY, 2003. "Estimation of ocelot density in the Pantanal using capture-recapture analysis of camera-trapping data", *Journal of Mammalogy*, 84(2): 607-614.
- TROLLE, M., A. J. NOSS, E. S. DE LIMA et J. C. DALPONTE, 2006. "Camera-trap of maned wolf density in the Cerrado and the Pantanal of Brazil", *Vertebrate Conservation and Biodiversity*, 16: 371-378.
- VILLEMURE, M., 2003. "Écologie et conservation du loup dans la région du Parc national de la Mauricie" mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke 104 p.
- WALLACE, R. B., H. GOMEZ, G. AYALA et F. ESPINOZA, 2003. "Camera trapping for jaguar (*Panthera onca*) in the Tuichi Valley", Bolivia, *Mastozoología neotropical*, 10(1): 133-139.

WHITNEY, K., 2022. "History of wildlife tracking technologies", *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*, 1-23.

**Environnement,  
Lutte contre  
les changements  
climatiques,  
Faune et Parcs**

**Québec** 