

Contribution du drone aux suivis de la productivité de l'aigle royal et du faucon pèlerin

Patrick Charbonneau , Jérôme Lemaître and Guillaume Tremblay

Volume 148, Number 1, Spring 2024

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1110196ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1110196ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

0028-0798 (print)

1929-3208 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Charbonneau, P., Lemaître, J. & Tremblay, G. (2024). Contribution du drone aux suivis de la productivité de l'aigle royal et du faucon pèlerin. *Le Naturaliste canadien*, 148(1), 25–41. <https://doi.org/10.7202/1110196ar>

Article abstract

The aim of the present study was to compare the use of a drone with a traditional ground observation technique for monitoring nesting pairs of golden eagles (*Aquila chrysaetos*, n=10) and peregrine falcons (*Falco peregrinus*, n=17) in southern Québec (Canada). During the third and fourth visits to the territories, nests were first inspected from the ground using a telescope and subsequently from the air using a drone. Forty-one flights were conducted. The drone offered a better view of the nest than did the ground-based technique using a telescope. This improved age determination of the nestlings at the third visit, which is important because it determines the date of the fourth visit used to assess nesting success and nest productivity. Although there was no difference for the golden eagle, peregrine falcon productivity assessed using the drone was more accurate than that obtained from the ground. To avoid disturbance during studies of these two raptor species, it is recommended that drones be kept at least 100 m from the nest.

Contribution du drone aux suivis de la productivité de l'aigle royal et du faucon pèlerin

Patrick Charbonneau, Jérôme Lemaître et Guillaume Tremblay

Résumé

Cette étude visait à comparer l'utilisation d'un drone avec les observations au sol dans le cadre des suivis de nidification de l'aigle royal (*Aquila chrysaetos*) et du faucon pèlerin (*Falco peregrinus*) dans le Québec méridional. Dix territoires d'aigles royaux et 17 de faucons pèlerins ont été suivis par la méthode d'observation classique au sol puis avec le drone, en réalisant un total de 41 vols à proximité des nids. Comparativement au télescope, le drone offrait une meilleure vision de l'intérieur du nid. Il améliorait l'estimation de l'âge des jeunes lors de la 3^e visite et cette information est déterminante, car elle sert à préciser la date de la 4^e visite, qui permet d'évaluer le succès de nidification et la productivité des nids. La productivité évaluée avec le drone était plus précise que celle évaluée à partir du sol pour le faucon pèlerin, alors qu'il n'y avait pas de différence pour l'aigle royal. Le suivi par drone était presque 3 fois plus rapide que le suivi au sol en considérant uniquement les 3^e et 4^e visites. Il est recommandé de maintenir le drone à une distance minimale de 100 m des nids pour éviter de déranger ces oiseaux de proie.

MOTS-CLÉS : aigle royal, comportement, dérangement, faucon pèlerin, suivi

Abstract

The aim of the present study was to compare the use of a drone with a traditional ground observation technique for monitoring nesting pairs of golden eagles (*Aquila chrysaetos*, n=10) and peregrine falcons (*Falco peregrinus*, n=17) in southern Québec (Canada). During the third and fourth visits to the territories, nests were first inspected from the ground using a telescope and subsequently from the air using a drone. Forty-one flights were conducted. The drone offered a better view of the nest than did the ground-based technique using a telescope. This improved age determination of the nestlings at the third visit, which is important because it determines the date of the fourth visit used to assess nesting success and nest productivity. Although there was no difference for the golden eagle, peregrine falcon productivity assessed using the drone was more accurate than that obtained from the ground. To avoid disturbance during studies of these two raptor species, it is recommended that drones be kept at least 100 m from the nest.

KEYWORDS: behaviour, disturbance, golden eagle, peregrine falcon, monitoring

Introduction

L'avènement des drones révolutionne les méthodes d'inventaire de la faune (Lahoz-Monfort et Magrath, 2021). Leurs applications sont diverses et touchent la plupart des taxons fauniques (Charbonneau et Lemaître, 2021). Ce domaine de recherche est en pleine effervescence, et déjà quelques études révèlent que l'utilisation de drones procure des avantages par rapport aux méthodes classiques (Costagliola-Ray et collab., 2022; Dundas et collab., 2021). Toutefois, le type de drone et de caméra (capteur) influence beaucoup les résultats. Plus d'études sont donc nécessaires pour bien comprendre les avantages que procurent les drones (p. ex. : identification, dénombrement, détection) (Raoult et collab., 2020). En effet, Chabot et collab. (2015) rapportent qu'un décompte d'une colonie de sternes pierregarins (*Sterna hirundo*) avec un drone était moins précis que par la méthode courante d'observation au sol.

De plus, les drones peuvent déranger la faune (Charbonneau et Lemaître, 2021). Ainsi, Vas et collab. (2015) ont révélé qu'avec des angles d'approche verticaux, les drones pouvaient faire fuir la sauvagine. Barnas et collab. (2018) ont observé des modifications du comportement de nidification des oies des neiges adultes (*Chen caerulescens*) dès que le drone se

trouvait au-dessus des nids. L'utilisation de drones et de caméras appropriées avec zoom permettrait d'étudier les animaux à plus grande distance sans modifier leur comportement (Raoult et collab., 2020), mais les critères d'utilisation qui respectent le bien-être animal doivent encore être définis (p. ex. : les distances à respecter entre les drones et les animaux et les durées de survol des nids). Même si certaines autorités ont déjà mis en place des mesures pour encadrer ce dérangement (MFFP, 2021; Shaw, 2022), peu de mesures sont issues de données probantes (Charbonneau et Lemaître, 2021). Par exemple, il n'y a guère d'information sur les distances à respecter pour ne pas déranger

Patrick Charbonneau (M. Sc.) est biologiste-chercheur et pilote de drone certifié au ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). (ORCID : 0000-0002-0402-3408)

patrick.charbonneau@mffp.gouv.qc.ca

Jérôme Lemaître (Ph. D.) est biologiste-chercheur au MELCCFP et président de l'Équipe de rétablissement des oiseaux de proie du Québec (ÉROP).

Guillaume Tremblay est technicien de la faune et pilote de drone certifié au MELCCFP.

les oiseaux de proie, que ce soit avec un hélicoptère ou un drone (Holldorf, 2018; Zink et collab., 2023).

Chez les oiseaux de proie, les suivis de la nidification permettent de déterminer les tendances et l'état de santé des populations (Pagel et collab., 2010; Rowell et collab., 2003). À titre d'exemple, ces suivis consistent à recenser annuellement, dans un espace donné, le nombre de territoires occupés par des couples territoriaux, le nombre d'œufs pondus et le nombre de jeunes encore vivants au moment de l'envol. Deux méthodes sont généralement employées afin d'estimer ces variables démographiques pour les espèces nichant sur des falaises, à savoir des observations réalisées à partir du sol, à l'aide d'un télescope (MELCCFP, 2022; 2024) ou d'un hélicoptère (Bird et Bildstein, 2007; MELCCFP, 2024). Il peut être difficile de voir le contenu d'un nid à partir du sol. Par conséquent, les données récoltées sont généralement imprécises, ce qui limite la capacité à bien évaluer les variables démographiques des populations. Le suivi par hélicoptère est plus pertinent dans les régions inaccessibles ou éloignées (USFWS, 2020), mais il peut être coûteux et risqué pour l'équipage (Weissensteiner et collab., 2015). Ainsi, les suivis par drone pourraient suppléer aux inconvénients des méthodes classiques. En observant du haut des airs, on s'attend à mieux voir dans le nid qu'à partir du sol, tout en proposant des coûts de fonctionnement moindres pour le drone que pour l'hélicoptère.

Jusqu'à maintenant, les études impliquant des drones ont majoritairement porté sur des espèces nichant dans les arbres en milieux forestiers comme le pygargue empereur (*Haliaeetus pelagicus*) (Potapov et collab., 2013), le pygargue à tête blanche (*Haliaeetus leucocephalus*), le balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*), la buse à queue rousse (*Buteo jamaicensis*), la buse rouilleuse (*Buteo regalis*) (Junda et collab., 2015; 2016) et la buse couronnée (*Buteogallus coronatus*) (Gallego et Sarasola, 2021). Bien qu'intéressantes, les conclusions de ces études sont peu applicables aux oiseaux de proie qui nichent en falaise, car les conditions environnementales y sont très différentes de celles des milieux forestiers. En falaise, les nids sont éloignés des postes d'observation et les vents sont parfois très forts, créant pour des drones des problèmes de pilotage, d'autonomie de vol, de visibilité pour le vol à vue (obligatoire au Canada), et de visibilité à l'intérieur du nid en fonction de l'angle et de la distance du drone par rapport au nid. Les nids de vautours moines (*Aegypius monachus*) (Hausheer, 2016) et de faucons d'Éléonore (*Falco eleonora*) (Hadjikyriakou et collab., 2020) ont été inventoriés avec des drones sur des falaises et il appert que les appareils utilisés et leur proximité avec les nids engendraient un dérangement.

L'aigle royal (*Aquila chrysaetos*) et le faucon pèlerin (*Falco peregrinus*) font l'objet d'un suivi rigoureux au Québec, car ils sont désignés vulnérables selon la *Loi sur les espèces menacées ou vulnérables* (RLRQ, c. E-12.01) du Québec (Gouvernement du Québec, 2024). Les suivis de la nidification de ces 2 espèces d'oiseaux de proie, réalisés à partir d'observations au sol, sont encadrés par des protocoles standardisés (MELCCFP, 2022; 2024) et requièrent de 3 à 4 visites. Ainsi, les 2 premières

visites permettent d'évaluer l'occupation du territoire par un couple, alors que les 2 dernières visent à déterminer les succès de nidification et la productivité des nids. Si, à la 1^{re} visite, aucun signe de présence d'un individu n'est détecté après 4 h d'observation, l'espèce est considérée comme absente; une seconde visite est alors planifiée pour vérifier le statut d'occupation du territoire pour l'année. Lorsque les individus sont absents lors de ces 2 visites, le territoire est considéré comme inoccupé pour l'année et aucune visite supplémentaire n'est planifiée (MELCCFP, 2022; 2024). Aux 3^e et 4^e visites, l'âge des jeunes est estimé à partir de guides photographiques, et la productivité est ainsi déterminée.

La présente étude vise à vérifier si l'apport du drone lors des suivis de la nidification de l'aigle royal et du faucon pèlerin mène à l'amélioration de la précision des variables suivies (âge des jeunes, succès de nidification et productivité). Les hypothèses sont qu'avec le drone la visibilité à l'intérieur des nids est meilleure, que les informations obtenues sont plus précises que celles des observations au sol, et que le temps requis pour faire les suivis est plus court. Ultimement, les résultats devraient contribuer à encadrer l'utilisation des drones afin de minimiser le dérangement de ces 2 espèces d'oiseaux de proie.

Méthodologie

Définitions

La terminologie décrivant l'usage d'un drone est tirée du *Règlement de l'aviation canadien* (DORS/96-433). Ainsi, l'équipe de la présente étude est composée d'un « pilote de drone » certifié par Transports Canada pour les opérations avancées et d'un « observateur attitré », qui est formé pour aider le pilote à assurer la sécurité du pilotage en visibilité directe. Le pilote contrôlait le drone avec une télécommande de pilotage, et l'observateur attitré contrôlait la caméra à l'aide d'une 2^e télécommande, pour la prise de photographies et de vidéos. On entend par « poste de contrôle » l'endroit à partir duquel le drone est piloté.

On nomme « territoire de nidification » une zone qui contient un ou plusieurs nids, y compris les nids secondaires (Steenhof et Newton, 2007). On entend par « couple territorial », un couple d'oiseaux nicheurs ou non, ou des preuves de la présence d'un couple territorial, c'est-à-dire un oiseau en incubation, un ou plusieurs jeunes dans un nid, au moins un nid occupé ou l'entretien d'un nid avec des branches vertes (Morneau et collab., 2012). Le « taux d'occupation des territoires » est le nombre de territoires ayant des signes d'occupation d'un couple territorial (c'est-à-dire 2 adultes présents dans le territoire, parades nuptiales, transport de matériel de nidification, et pour l'aigle royal, présence de branches vertes dans le nid) divisé par le nombre de territoires; le « succès de nidification » est le nombre de nids ayant mené au moins un jeune à l'envol divisé par le nombre de territoires occupés; et la « productivité des nids » est le nombre moyen de jeunes que les territoires occupés ont mené à l'envol (Steenhof et Newton, 2007).

Aire d'étude

L'étude s'est déroulée dans le sud et l'est de la province de Québec (figure 1) où l'aigle royal niche principalement sur des falaises de la péninsule gaspésienne. Cette région montagneuse est composée de forêts mixtes dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc (ÉROP, 2020). Dans l'aire d'étude, le faucon pèlerin niche dans les basses-terres du Saint-Laurent sur des falaises, des parois de carrières ou des structures anthropiques (ÉROP, 2018).

Variables considérées pour les suivis

Lors d'un suivi de la nidification et de la productivité, 3 variables sont évaluées, soit le taux d'occupation des territoires, le succès de nidification et la productivité des nids (MELCCFP, 2022 ; 2024). Dans le cadre de la présente étude, seules les 2 dernières ont été retenues.

Il est difficile de documenter la date exacte de l'envol de chaque jeune. On suppose donc qu'un aiglon a survécu jusqu'à l'envol lorsqu'il a atteint l'âge de 51 jours (Pagel et collab., 2010). En d'autres mots, un couple d'aigles royaux est considéré avoir eu un succès de nidification s'il produit au moins un jeune âgé de 51 jours ou plus. Dans le cas du faucon pèlerin, le fauconneau doit avoir au moins 28 jours (USFWS, 2003).

Périodes de suivi des territoires

Les suivis ont été réalisés du 1^{er} mars au 30 mai 2021 pour la 1^{re} et la 2^e visite, et du 15 mai au 30 juillet 2021 pour les 3^e et 4^e visites (MELCCFP, 2022 ; 2024).

Observations au sol

Lors de chaque visite, un télescope était utilisé pour observer le contenu du nid (Swarovski Optik, modèle ATS et grossissement de 20-60×). Lorsque l'observateur détectait une occupation dès la 1^{re} visite, la 2^e visite n'avait pas lieu. Il procédait directement à la « 3^e visite » visant à estimer l'âge des aiglons à partir du motif de couleur du plumage et du guide photographique de Driscoll (2010) pour l'aigle royal, ou celui des fauconneaux avec le guide de The Canadian Peregrine Foundation (2020) pour le faucon pèlerin. Lors des visites subséquentes (3^e et 4^e), seuls les nids occupés ont été suivis au sol et avec le drone (figure 1). La 3^e visite permettait également de planifier la date optimale de la 4^e visite, laquelle servait à quantifier le nombre de jeunes à l'envol en déterminant l'âge de chacun selon le motif de couleur du plumage.

Dans la mesure du possible, les postes d'observation se trouvaient à plus de 800 m des nids d'aigle royaux (MELCCFP,

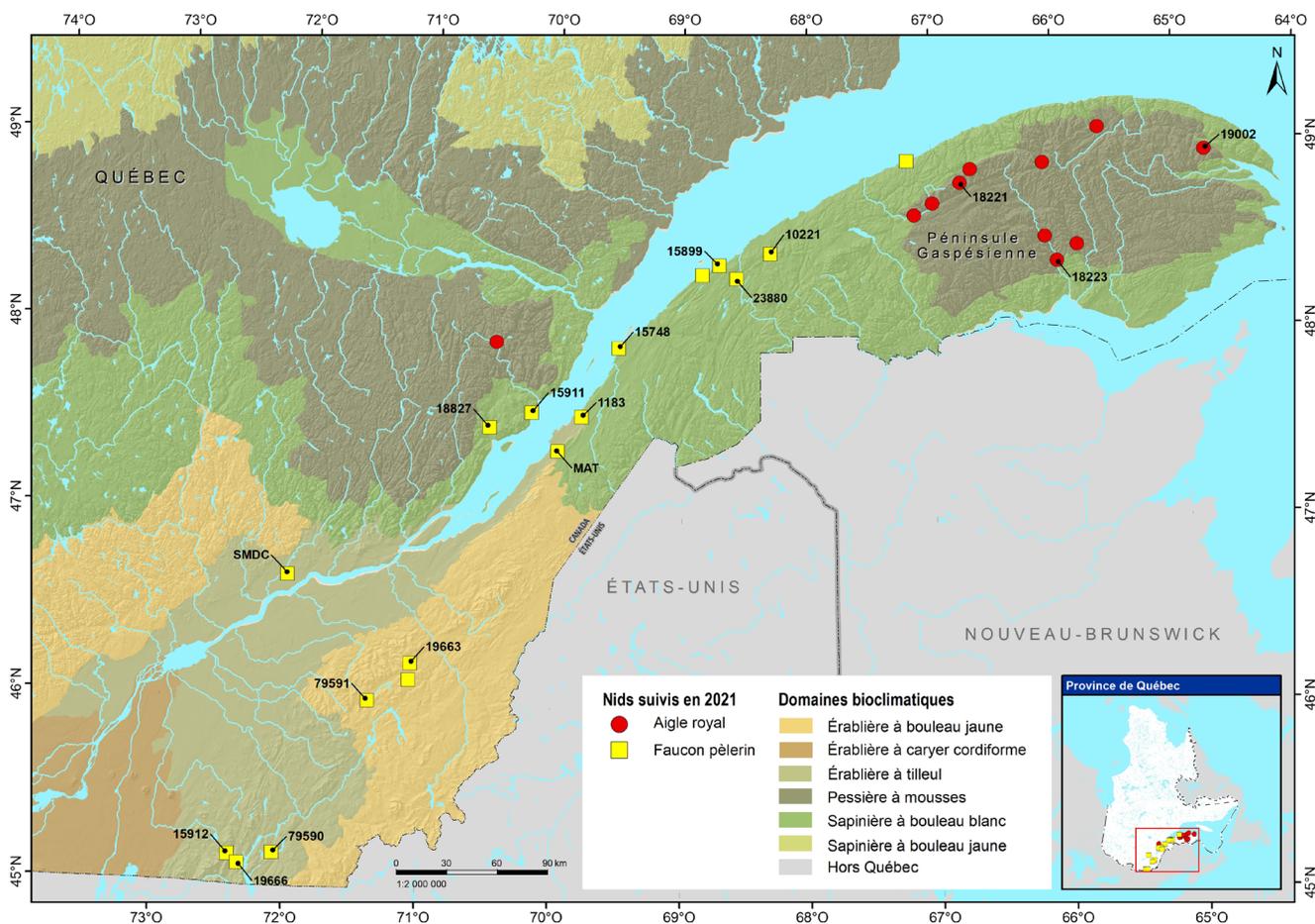


Figure 1. Carte de l'emplacement des territoires d'aigles royaux et de faucons pèlerins suivis en 2021 (les territoires identifiés par un numéro ou des lettres ont été suivis à partir du sol et avec le drone; 3^e et 4^e visites).

2024) et à plus de 250 m des nids de faucons pèlerins (MELCCFP, 2022). Cette distance était mesurée à l'aide d'un télémètre Bushnell (modèle Scout 1000). Ainsi, la distance moyenne entre les postes d'observation et les nids d'aigles était de 846 ± 351 m (moyenne \pm écart-type), variant de 160 à 1 135 m. En comparaison, la distance moyenne entre les postes d'observation et les nids de faucons était de 364 ± 302 m, variant de 60 à 1 090 m.

Suivi par drone

Un drone quadricoptère DJI Matrice 300 RTK muni d'une caméra DJI Zenmuse H20T (zoom 23 \times optique et 200 \times numérique) (Dajiang Innovations Technology Co., Ltd. [DJI], Shenzhen, Guangdong, Chine) a été utilisé pour réaliser le suivi. Les spécifications de ce matériel sont présentées à l'annexe 1. Une distance de 100 m entre le drone et les nids a été respectée, conformément à la recommandation de Charbonneau et Lemaître (2021).

Les nids de faucons pèlerins situés sur des structures anthropiques ont été exclus puisque la réglementation canadienne sur les drones est plus restrictive à cet égard et il est nécessaire d'obtenir des autorisations. De plus, plusieurs nids situés sur ces structures bénéficient d'un suivi plus approfondi grâce à l'installation de caméras (pièges photographiques), ce qui limite la pertinence d'utiliser le drone à ces endroits.

Un projet pilote effectué en 2019 a démontré qu'il y avait peu de gain à utiliser le drone lors des 1^{re} et 2^e visites. Lors de celles-ci, les signes d'occupation ne se situaient pas nécessairement dans le nid, et l'observateur au sol devait chercher activement des signes de la présence des adultes sur un vaste territoire pour en confirmer l'occupation (p. ex. : adultes en vol, parade nuptiale, adultes perchés sur la falaise, cris) (voir l'annexe 1). Ainsi, il a été convenu d'utiliser le drone uniquement pour les 3^e et 4^e visites pour les suivis de 2021 afin de mieux documenter le succès de nidification et la productivité.

Les suivis par drone étaient effectués à la suite des séances d'observation au sol, par la même équipe de 2 personnes. Les postes de contrôle du drone et d'observation au sol étaient situés au même endroit. Même si la visibilité dans le nid était bonne à partir du sol et que tous les jeunes présents étaient dénombrés, l'équipe suivait les procédures normales liées au drone de manière à obtenir toutes les images nécessaires pour effectuer la comparaison des méthodes. La procédure était appliquée, même si le nid semblait vide.

D'abord, le drone effectuait 2 vols stationnaires, à une altitude de 5 et 100 m, pour évaluer les conditions de vent, mesurer le bruit et s'assurer du bon fonctionnement du drone. La vitesse du vent était établie à l'aide de l'application pour téléphone cellulaire UAV Forecast (pour iOS, Matthew Lloyd, concepteur) et le bruit ambiant et celui du drone étaient mesurés à l'aide d'un sonomètre VLIKE (modèle VL6708 ; précision de $\pm 1,5$ dB). Ces 2 mesures étaient prises à 1,5 m du sol (voir l'annexe 1 pour les résultats sur le bruit). Ensuite, le pilote approchait le nid horizontalement selon les recommandations de Vas et collab. (2015) et plaçait le drone à 100 m du nid, à une altitude supérieure à ce dernier, pour bien voir à l'intérieur.

La distance entre le drone et le nid était mesurée à l'aide du télémètre intégré à la caméra Zenmuse H20T. Puis, l'observateur attiré prenait des vidéos et des photos.

Le logiciel de vol utilisé était le DJI Pilot (DJI, Shenzhen, Guangdong, Chine). Les photos étaient géoréférencées à partir du système global de navigation par satellites (Global Navigation Satellite System ; GNSS) du drone. Le détail du matériel utilisé et des autorisations obtenues est disponible à l'annexe 1.

Le comportement des adultes et des jeunes a été noté lors du décollage du drone et lorsqu'il était à 100 m du nid, et ce, selon 5 classes : indifférence, vigilance, cris d'alarme, envol et attaque (Gallego et Sarasola, 2021). Les comportements d'indifférence comprenaient tous les types de mouvements de confort ou de repos, comme dormir, s'étirer, se lisser les plumes ou manipuler un œuf ou un poussin. Un comportement de vigilance signifiait que l'adulte, lorsqu'il était au nid, regardait droit vers le drone et que les mouvements de sa tête indiquaient qu'il était attentif aux événements environnants. Les cris d'alarme étaient notés si les adultes émettaient des vocalisations ou des appels en présence du drone. L'envol était noté si des adultes s'envolaient du nid, le laissant sans protection à l'approche du drone. Finalement, le comportement d'attaque a été pris en compte si un adulte s'approchait ou plongeait vers le drone (Gallego et Salasola, 2021). Pour les jeunes, l'envol et l'attaque ont été respectivement remplacés par le saut du nid, qui mène souvent à l'affolement ou à la mort (Junda et collab., 2015 ; 2016). L'affolement était toute manifestation d'excitation du jeune face au drone : piétinement ou sauts sur place, battement d'ailes en direction du drone, course dans le nid et cris.

Un événement correspondait à l'observation d'un individu lors d'un vol. Ainsi, si 2 oiseaux étaient observés durant le même vol, il s'agissait de 2 événements. De la même manière, si le même individu était observé durant 2 vols différents pendant les 3^e et 4^e visites, il s'agissait également de 2 événements.

L'ensemble des données a été noté sur des formulaires électroniques ArcGIS Survey 123 (Esri Canada, Toronto, Canada) pour téléphone cellulaire (iOS et Android).

Analyses statistiques

La plupart des données présentées n'ont pas fait l'objet d'analyses statistiques étant donné la petite taille des échantillons. Lorsque la taille d'échantillon le permettait ($n > 3$), des tests de t appariés ont été réalisés pour comparer la différence entre les données récoltées à partir du sol et celles par drone.

Résultats

Un total de 41 vols de drone a été réalisé dans les 27 territoires suivis en 2021, pour documenter 10 nids d'aigles royaux et 17 nids de faucons pèlerins.

La hauteur des nids au-dessus du sol variait de 150 à 455 m pour les aigles royaux et de 50 à 135 m pour les faucons pèlerins.

Lors de la 3^e visite, les 27 nids ont été survolés par le drone. À la 4^e visite, seulement 14 nids (52 %) l'ont été, soit 3 nids d'aigles et 11 de faucons. Les 13 autres nids n'ont pas été survolés

parce qu'ils étaient vides à la 3^e visite (7 nids d'aigles et 3 nids de faucons) ou parce que les jeunes se trouvaient en vol ou étaient facilement visibles, perchés sur la falaise (3 nids de faucons) (voir l'annexe 2).

Détection des œufs et des jeunes

Aigle royal

Pour l'aigle royal, aucune des 2 méthodes n'a permis de détecter des œufs. À la 3^e visite, l'observateur au sol a détecté des aiglons dans 2 des 3 nids occupés (moyenne de jeunes détectés, \pm écart-type: $1,5 \pm 0,7$; $n = 2$) alors que le drone a détecté des aiglons dans les 3 nids occupés ($1,3 \pm 0,6$ jeune détecté par nid; $n = 3$; tableau A1 ; annexe 2).

Faucon pèlerin

Pour le faucon pèlerin, l'observateur au sol a détecté des œufs dans un seul nid (n° 19663). Il était situé dans une carrière et le poste d'observation était en surplomb, ce qui facilitait l'observation à l'intérieur de celui-ci à partir du sol. Les 2 méthodes ont d'ailleurs détecté le même nombre d'œufs dans ce nid, soit 3. La méthode avec le drone a permis de détecter des œufs dans 4 nids (moyenne: $2 \pm 1,5$ œuf par nid; $n = 4$ nids; tableau A1 ; annexe 2).

Lors de la 3^e visite, les observateurs au sol ont détecté des fauconneaux dans 4 des 14 nids occupés. Ainsi, la moyenne du nombre de jeunes détectés par nid occupé était de $0,57 \pm 0,94$ au sol ($n = 14$). Le drone a détecté significativement plus de fauconneaux que les observations au sol lors de la 3^e visite (moyenne = $1,93 \pm 1,49$ jeune détecté par nid occupé; $n = 14$; $t = 2,1$; $p = 0,006$; tableau A1 ; annexe 2). Le drone permettait également de vérifier si un fauconneau resté au nid était mort ou vivant (figure 2), alors que l'observateur au sol ne pouvait le détecter.

Un nid de faucon pèlerin (n° 15912) était particulier puisqu'aucune des 2 méthodes n'a pu identifier le contenu du nid lors de la 3^e visite. C'est à la 4^e visite qu'un fauconneau a été observé sur la falaise, à l'extérieur du nid, par les observateurs au sol.

Âge des jeunes

À la 3^e visite, l'estimation de l'âge des jeunes a été déterminée en fonction de la meilleure donnée disponible, soit celle du drone, ce qui a eu une incidence sur la détermination

de la date de la 4^e visite. En effet, seulement 3 nids observés à partir du sol à la 3^e visite ont fourni l'information nécessaire à la détermination de l'âge des jeunes pour planifier la 4^e visite (tableau A1 ; annexe 2).

Le zoom de la caméra permettait de faire de gros plans (figure 3), ce qui n'était pas possible avec le télescope (figure 4) étant donné la distance des postes d'observation. Il était donc plus difficile de déterminer correctement l'âge des jeunes en fonction du plumage, lorsqu'observé au télescope comparativement aux images prises avec le drone.

Aigle royal

Lors de la 3^e visite, le télescope a permis d'évaluer l'âge des aiglons dans 2 nids alors que les images du drone ont permis d'évaluer leur âge dans les 3 nids (tableau A1 ; annexe 2). Pour le nid n° 19002, la différence d'estimation de l'âge entre les 2 méthodes était de 2 jours. En revanche pour le nid n° 18221, l'observateur au sol a estimé que l'ainé avait 10 jours de moins que l'estimation faite par drone.

Lors de la 4^e visite, l'estimation de l'âge des aiglons a pu être comparée pour les 3 nids occupés (tableau A1 ; annexe 2). Il n'y avait aucune différence significative entre l'âge moyen de l'ainé des aiglons estimé au télescope ($57,3 \pm 5,1$ jours) et par drone ($62,0 \pm 1,7$ jour), quoique la taille d'échantillon était très faible (test t apparié: $t = 1,6$; $p = 0,12$; $n = 3$).

Faucon pèlerin

À la 3^e visite, 1 seul nid de faucon pèlerin a permis d'estimer l'âge des jeunes à l'aide du télescope alors que le drone a permis d'estimer l'âge des jeunes dans 10 des 14 nids. Le nid MAT a permis à l'observateur au sol d'évaluer que l'ainé avait 9 jours de moins que l'évaluation par drone (tableau A1 ; annexe 2).

À la 4^e visite, l'estimation de l'âge ne différait pas significativement entre les 2 méthodes (observation au sol: $34,5 \pm 6,5$ jours; drone: $35 \pm 6,3$ jours; test de t apparié: $t = 3,1$; $p = 0,39$; $n = 5$) (tableau A1 ; annexe 2).

Succès de nidification et productivité

Aigle royal

Pour l'aigle royal, le succès de nidification et la productivité étaient identiques pour les 2 méthodes (tableau 1).

Tableau 1. Succès de nidification et productivité des nids d'aigle royal et de faucon pèlerin selon la méthode de suivi (observation au sol ou par drone).

Variable	Aigle royal		Faucon pèlerin	
	Observation au sol	Observation par drone	Observation au sol	Observation par drone
Nombre de territoires ayant mené au moins un jeune à l'envol	3	3	8	11
Succès de nidification (%)*	100	100	57,1	78,6
Nombre total de jeunes à l'envol	4	4	21	28
Productivité†	1,3	1,3	1,5	2,0

* Nombre de nids ayant mené au moins un jeune à l'envol divisé par le nombre de territoires occupés.

† Nombre total de jeunes à l'envol divisé par le nombre de territoires occupés.



Photo : Guillaume Tremblay, MELCCFP

Figure 2. Trois fauconneaux et un adulte, photographiés avec le drone à 100 m du nid. Le drone a été utilisé à la 4^e visite pour confirmer la présence d'un jeune caché derrière une pierre (flèche rouge), les 2 autres jeunes (identifiés par un cercle rouge) étaient facilement visibles du poste d'observation, car ils étaient en dehors du nid.



Photo: Patrick Charbonneau, MELCCFP

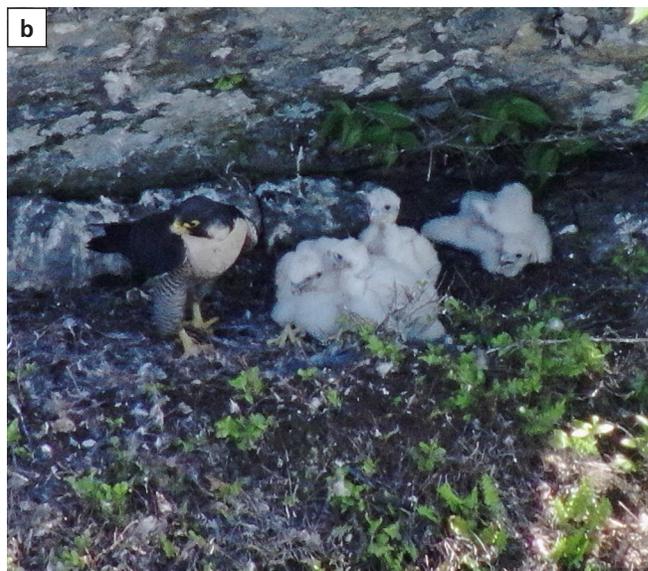


Photo : Guillaume Tremblay, MELCCFP

Figure 3. a) Deux aiglons photographiés dans leur nid avec la caméra DJI Zenmuse H20T (zoom optique); b) Un adulte et 4 fauconneaux photographiés dans leur nid avec la caméra DJI Zenmuse H20T (zoom numérique). Le drone DJI Matrice 300 RTK était à une distance de 100 m des nids.

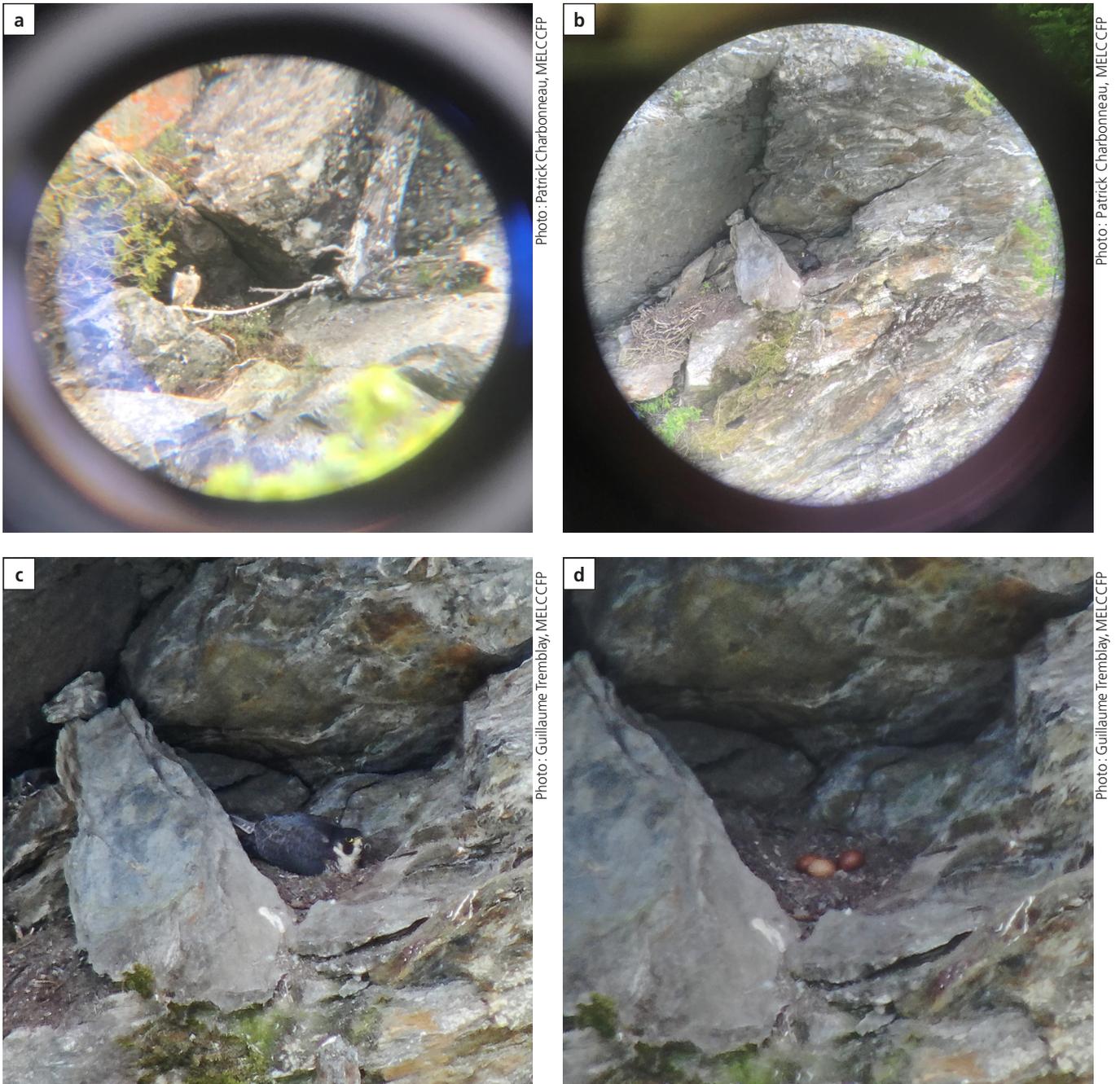


Figure 4. a et b) Faucons pèlerins adultes photographiés à l'aide d'un téléphone cellulaire installé sur un télescope : a) Nid n° 19563, distance : 250 m, grossissement 60x ; b) Nid n° 19663, distance : 100 m, grossissement 40x ; c et d) Nid n° 19663 photographié à l'aide du drone : c) faucon adulte en couvaison, d) 3 œufs de faucon pèlerin.

Faucon pèlerin

Dans le cas du faucon pèlerin, le succès de nidification était de 57,1 % (8 nids ayant produit au moins 1 jeune à l'envol sur 14 territoires occupés) avec la méthode d'observation au sol et de 78,6 % à l'aide du drone (11 nids ayant produit au moins 1 jeune à l'envol sur 14 territoires occupés). La productivité évaluée avec le drone était de 2,0 fauconneaux par couple territorial alors qu'elle était de 1,5 lorsqu'évaluée à partir du sol (tableau 1).

Réponse comportementale face au drone Aiglons et fauconneaux

Lors des 41 vols, tous les aiglons et presque tous les fauconneaux semblaient indifférents à la présence du drone à 100 m du nid (tableau 2). Trois cas de vigilance ont été observés chez les fauconneaux.

Aigles royaux adultes

Les aigles royaux adultes semblaient dérangés par le drone. Deux adultes se sont envolés du nid à l'approche du drone alors que le 3^e semblait indifférent (tableau 2). Le premier adulte s'est envolé lors du décollage du drone, et ce, à 800 m de distance. L'autre adulte s'est envolé alors que le drone se trouvait à 90 m du nid, mais il y est retourné une fois le drone éloigné de la falaise.

Faucons pèlerins adultes

L'apparente indifférence était le comportement le plus observé chez les faucons pèlerins adultes (75,7% des événements; 17 adultes; 28 événements), suivi des cris d'alarme (18,9%; 7 adultes; 7 événements différents), de l'envol (2,7%; 1 adulte) et de la vigilance (1 seul événement). À une occasion, 1 adulte a quitté le nid à l'approche du drone et à ce moment, les 3 fauconneaux se sont couchés au fond du nid (comportement identifié comme de la vigilance), dos au drone (approche horizontale à la hauteur du nid et distance de 100 à 150 m). Dans le cas des comportements de cris d'alarme (faucon pèlerin uniquement), les adultes retournaient à leurs activités normales (p. ex. : couver ou nourrir les jeunes) même si le drone demeurait dans leur espace aérien, soit à 100 m de distance du nid, et ce, après 4 min de vol stationnaire. Dans la majorité des cas, le drone se trouvait à une altitude plus élevée que le nid, permettant à l'observateur attiré de voir directement à l'intérieur. À une seule occasion, le drone était directement en surplomb d'un nid à cause de la végétation qui obstruait la vision, ce qui a induit un comportement de vigilance chez le faucon adulte (il regardait intensément le drone, de manière répétée).

Lors des suivis, aucun signe d'attaque ou d'affolement ni de saut du nid n'a été observé.

Durée des suivis

Sur le terrain, le suivi par drone était environ 3 fois plus rapide que celui effectué avec le télescope. En englobant les 3^e et 4^e visites, l'observation au sol a duré en moyenne 134 ± 84 min par visite alors que l'observation des nids avec le drone, incluant 13 min pour la préparation du vol et 5 min pour le démontage du drone, a duré en moyenne 46 ± 22 min par nid (figure 5). Au sol, la 3^e visite a duré en moyenne 143 ± 81 min et la 4^e visite, 105 ± 87 min, alors qu'avec le drone la 3^e visite a duré en moyenne 51 ± 25 min et la 4^e visite en moyenne 37 ± 8 min. Les vols comme tels duraient en moyenne 28 ± 22 min.

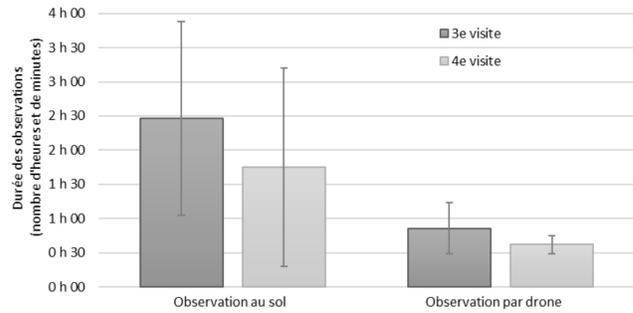


Figure 5. Durée (moyenne et écart-type) des observations au sol (n = 47 périodes d'observation au sol) et par drone (n = 41 vols) lors des 3^e et 4^e visites des suivis des nids de faucons pèlerins et d'aigles royaux réalisés dans le sud du Québec pendant la saison de reproduction 2021.

Les nids ont été observés à partir du sol durant 85,3 h comparativement à 29,7 h pour le drone. Au retour du terrain, le drone requérait un temps supplémentaire de traitement, d'analyse et de gestion des images, soit environ 10 min par nid pour un total de 5 h 30 min pour les 2 visites, alors que les observateurs au sol colligeaient en direct les informations par le biais du formulaire électronique.

Discussion

Les drones font l'objet d'un fort engouement et les études sur la faune n'y font pas exception. Toutefois, peu d'études ont jusqu'ici établi leurs limites et leurs avantages de manière objective. L'étude visait à combler cette lacune pour l'aigle royal et le faucon pèlerin. Le premier constat tiré des observations est que le drone offre une meilleure vision de l'intérieur du nid que le télescope. Le drone permettait de mieux identifier et de compter les œufs et les oisillons dans les nids, principalement pour le faucon pèlerin. En respectant une distance de 100 m entre le drone et les nids, le dérangement des faucons pèlerins était minimal alors que pour l'aigle royal, plus de données seraient nécessaires pour déterminer cette distance. Le drone n'offrait pas nécessairement de meilleurs résultats que l'observation au sol avec un télescope pour toutes les visites, mais lors de la 3^e visite, son efficacité et sa rapidité surpassaient celle de l'observation au sol. Le drone s'avère une méthode complémentaire aux observations au sol.

Tableau 2. Réponse comportementale des aigles royaux et des faucons pèlerins face au drone lors des 3^e et 4^e visites.

Espèce	Âge	Nombre d'individus survolés	Nombre d'événements*			
			Indifférence	Vigilance	Alarme	Envol
Aigle royal	Adultes	3	1	0	0	2
	Jeunes	4	8	0	0	0
Faucon pèlerin	Adultes	26	28	1	7	1
	Jeunes	34	50	3	0	0

* Un événement correspond à l'observation d'un individu lors d'un vol. Ainsi, si 2 oiseaux différents sont observés durant le même vol, il s'agit de 2 événements.

Détection des jeunes

Pour l'aigle royal, la détection des jeunes était relativement similaire entre le drone et l'observation au sol. Cependant, le drone a détecté près de 3 fois plus de fauconneaux que l'observation au sol, notamment à la 3^e visite. Le fait de détecter plus de jeunes avec le drone concorde avec les résultats d'études récentes (Hadjikyriakou et collab., 2020 ; Mattern et collab., 2021 ; Pöysä et collab., 2018). Ce résultat souligne l'importance de la 3^e visite et la nécessité d'utiliser le drone lors de cette dernière, ainsi que le potentiel de sous-estimation du nombre de jeunes sans le drone. La sous-estimation du nombre de jeunes par la méthode classique, comparativement au drone, a été démontrée par Hadjikyriakou et collab. (2020) pour une colonie de faucons d'Éléonore suivie depuis plusieurs décennies sur des falaises de l'île de Chypre en mer Méditerranée.

Âge des jeunes

Lors de la 3^e visite, l'observateur au sol ne voyait pas tous les jeunes et, lorsqu'il les voyait, il pouvait sous-estimer leur âge de près de 10 jours en comparaison au drone. Ce résultat entraîne des conséquences importantes, car c'est à partir de l'estimation de l'âge des jeunes à la 3^e visite que l'on peut identifier la date optimale de la 4^e, et ainsi obtenir une donnée précise pour la productivité des nids. Par exemple, en se basant sur l'estimation de l'âge au sol de la 3^e visite pour le nid d'aigle n° 18221, il aurait fallu valider le succès de nidification 44 jours plus tard alors que l'âge estimé lors de la 3^e visite était de 7 jours, tandis que l'estimation de l'âge par la méthode avec le drone était de 17 jours. Ainsi, en revenant après 44 jours plutôt que 34 jours pour la 4^e visite, les jeunes auraient eu 61 jours plutôt que 51 jours et à cet âge, il est fort possible que les aiglons aient été absents du nid parce qu'ils se seraient envolés avec succès.

Pour la détermination de l'âge des aiglons, une variabilité est observée malgré la taille de l'échantillon. Il faudrait donc plus de données pour l'aigle royal et les résultats appellent à la prudence avec le télescope, car il est possible de manquer des jeunes ou de sous-estimer leur âge. Le drone apporterait donc des données plus précises pour l'âge de cette espèce, même à la 4^e visite (p. ex. : nid n° 18221 ; tableau A1 ; annexe 2).

Si le drone est utile lors de la 3^e visite, il l'est moins lors de la 4^e puisque les jeunes sont aussi gros que les adultes et très faciles à voir à partir du poste d'observation au sol (Philips, 2020).

Succès de nidification et productivité

Le fait d'utiliser les données d'âge des jeunes estimées à partir des images du drone a eu pour effet d'influencer les variables de suivi. Par exemple, pour le nid de faucon pèlerin identifié par les lettres MAT, l'observateur aurait dû revenir faire le suivi alors que le jeune le plus âgé avait 37 jours. Il aurait pu manquer les jeunes et conclure à un échec de nidification. Cette considération n'a pas été prise en compte dans la planification de la 4^e visite. Ainsi, l'observateur au sol tendait à sous-estimer le succès de nidification et la productivité pour le faucon pèlerin en comparaison au drone.

En raison du faible échantillon pour l'aigle royal, il n'est pas possible de conclure laquelle des 2 méthodes est la plus appropriée. De manière générale, les résultats montrent que l'observateur au sol pourrait sous-estimer l'âge des jeunes, et que le drone amène rigueur et robustesse dans ces suivis.

Réponse comportementale face au drone

Aigle royal

Pour les aigles royaux, le drone à 100 m du nid a induit un dérangement chez les adultes. Toutefois, les aiglons ne semblaient pas dérangés. Mentionnons qu'aux États-Unis, la distance à respecter entre un drone et le pygargue à tête blanche est de 200 m (Shaw, 2022).

Le dérangement a probablement été engendré par la combinaison de l'équipe au sol à 800 m du nid et la présence du drone à 90 m au lieu de 100 m. Selon Spaul et Heath (2017), la réaction des aigles royaux serait réduite de 77 % lorsque les activités récréatives se déroulent à plus de 650 m du nid et de 100 % lorsqu'elles sont éloignées de plus de 1 000 m. Livezey et collab. (2016) ont déterminé que les falconiformes s'envolent généralement lorsque des marcheurs entrent dans un rayon de 714 m du nid. Il est donc recommandé de positionner le poste d'observation au sol ou de contrôle du drone à une distance minimale de 800 m (Romin et Muck, 2002) et de strictement respecter la distance minimale de 100 m entre le drone et le nid.

Faucon pèlerin

À quelques exceptions près, l'indifférence apparente des faucons pèlerins face à la présence du drone à 100 m était le principal comportement observé. À cette distance, le drone ne semblait déranger ni les fauconneaux ni les faucons adultes. Ce résultat confirme la recommandation préliminaire établie par Charbonneau et Lemaitre (2021), qui était de respecter une distance minimale de 100 m entre le drone et les nids des oiseaux de proie. Cette distance avait également été suggérée par Weston et collab. (2020). Récemment, une méta-analyse effectuée sur 17 études indique que celle-ci pourrait même être réduite à 50 m dans certains cas puisque, au-delà de cette distance, les oiseaux ne fuyaient pas à l'approche du drone (19 espèces d'oiseaux de proie, de sauvagine, d'oiseaux marins, forestiers et de milieux ouverts pour un total de 40 135 individus observés) (Cantu de Leija et collab., 2023). Ici, les auteurs considéraient qu'il y avait un dérangement seulement si les adultes quittaient le nid, la réponse comportementale face au drone la plus importante selon Rümmler et collab. (2018). Chez certaines espèces, l'apparence d'indifférence serait notable. Lyons et collab. (2018) rapportent que des crécerelles d'Australie (*Falco cenchroides*) volaient à proximité des drones (< 50 m) et poursuivaient leurs activités normalement. Cependant, la distance entre le drone et le nid est un facteur crucial à considérer puisque de précédentes études ont clairement montré des dérangements d'individus lorsque le drone était à moins de 10 m du nid (Gallego et Sarasola, 2021 ; Hadjikyriakou et collab., 2020 ; Junda et collab., 2015 ; 2016).

Lors de nos suivis avec drone, peu de cris d'alarme ont été entendus chez les faucons adultes. Selon Caro (2005) et Yorzinski et Patricelli (2010), les vocalisations peuvent être utilisées à la fois pour distraire un prédateur potentiel et pour rendre les oisillons moins visibles dans le nid. Ce comportement a été observé une fois chez le faucon.

Pour le faucon pèlerin, il semblerait que ce soit l'approche du drone qui a fait fuir un adulte au nid, mais une incertitude demeure. Dans ce cas d'envol, des jeunes se trouvaient au nid. Gallego et Sarasola (2021) ont remarqué que les adultes avaient tendance à s'envoler s'il y avait un oisillon au nid, mais non pendant l'incubation. Le choix des adultes de rester au nid ou de s'envoler serait lié à la vulnérabilité de son contenu (Caro, 2005; Montgomerie et Weatherhead, 1988). Par exemple, un œuf serait plus vulnérable qu'un jeune prêt à l'envol qui pourrait fuir le danger (Montgomerie et Weatherhead, 1988).

Utilité du drone et qualité des images

Comme le mentionne Philips (2020), la qualité des images obtenues par le drone s'avère nettement supérieure à celle du télescope, mais il faut que la localisation du nid soit connue. De plus, le drone peut changer rapidement de position et d'angle de visée, ce qui permet une meilleure visibilité des jeunes et des œufs dans le nid selon les obstacles présents (végétation, roches, relief), ce qui en fait un outil polyvalent avec une capacité d'exécution rapide. Le télescope est souvent contraint à un angle en contreplongée, qui limite la visibilité dans le nid.

Le drone n'est toutefois pas nécessaire pour tous les nids, notamment pour ceux où le poste d'observation est en surplomb du nid, comme ce peut être le cas dans certaines carrières. L'approche au cas par cas est préconisée. Le drone n'est pas non plus infaillible, car à la 3^e visite, l'équipe a raté un fauconneau à cause de la végétation qui obstruait la visibilité.

En comparaison des nids de faucons pèlerins, ceux des aigles étaient situés plus haut sur la falaise et les postes d'observation à une plus grande distance des nids. En conséquence, l'angle de visée du télescope permettait une meilleure visibilité du contenu des nids d'aigles que de faucons. Le drone serait donc à recommander principalement pour les nids d'aigles royaux lorsque l'angle de visée du poste d'observation n'est pas idéal.

Le suivi avec le drone, aux 3^e et 4^e visites, était plus rapide que la méthode d'observation au sol, ce qui concorde avec la littérature scientifique (Junda et collab., 2015; Philips, 2020).

Comme Junda et collab. (2015) et Gallego et Sarasola (2021) l'ont observé, le temps de vol diminuait entre le début et la fin du suivi, ce qui pourrait s'expliquer par une meilleure connaissance des sites au fil des visites. Les habiletés de pilotage sont des éléments critiques au succès du suivi des nids d'oiseaux de proie (Philips, 2020). Pour optimiser la durée des vols, il est préférable d'utiliser une équipe de 2 personnes, 1 pilote et 1 observateur attitré, qui se spécialisent dans leurs tâches respectives. De plus, l'équipe devrait être composée d'au moins

une personne qui connaît bien le comportement des oiseaux étudiés (Philips et collab., 2022).

Dans le cas présenté ici, le temps d'analyse et de gestion des données était relativement court et ne requérait pas d'outil informatique spécialisé ou le recours à l'intelligence artificielle.

Conclusion

Les drones ne sont pas une solution ultime à tous les problèmes d'inventaire faunique, mais plutôt un instrument additionnel dans la boîte à outils du biologiste, avec ses avantages et ses limites (Callaghan et collab., 2018; Costagliola-Ray et collab., 2022). Le drone est un outil complémentaire aux suivis de nidification de l'aigle royal et du faucon pèlerin effectués à partir d'observations au sol. Pour des suivis nécessitant l'évaluation de la productivité des nids, il est recommandé que le drone soit utilisé à la 3^e visite si les observateurs au sol ne sont pas en mesure de bien voir l'intérieur du nid à partir du poste d'observation. Le drone pourrait aussi être utilisé à la 4^e visite s'il y a une différence entre le nombre de jeunes entre les 2 dernières visites effectuées par les observations au sol, pour confirmer la mort d'un jeune, vérifier s'il était caché derrière un obstacle ou obtenir des précisions sur le motif de plumage des jeunes, un indicateur de leur âge.

Dans le cas des nids moins visibles (beaucoup d'obstruction visuelle) ou qui sont très élevés sur les parois comparativement aux postes d'observation, il est recommandé d'utiliser des drones capables de prendre en charge une caméra appropriée (p. ex. : zoom 20× et plus) et de voler dans des conditions venteuses parfois fortes.

Dans l'optique de minimiser le dérangement des couples de faucons pèlerins et de leurs couvées, le drone ne devrait pas approcher à moins de 100 m des nids. Pour l'aigle royal, plus de données sont nécessaires pour vérifier si cette distance est suffisante, notamment pour les adultes. Idéalement, le poste de contrôle devrait être installé à 250 m du nid pour le faucon pèlerin (MELCCFP, 2022) et à 800 m pour l'aigle royal (Romin et Muck, 2002).

Les résultats de la présente étude serviront à améliorer les programmes de suivi de l'aigle royal et du faucon pèlerin au Québec et à encadrer les méthodes de suivi par drone.

Remerciements

Cette étude a été financée par le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs.

Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leur contribution au projet: Alexandre Anctil, Philippe Beaupré, Francis Bédard, Geneviève Bourget (proposition initiale du projet), Savannah Buissières, Zany Duchesnault, Isabelle Dumais, Anne-Marie Gosselin, Victor Grivegnée-Dumoulin, Alexane Gaudet, Daniel Guérin, Shany Houde, René Houle, Andréanne Huot, Christian Jalbert, Jean-Philippe Lapointe, Martine Lavoie, Sébastien Lefort, Guillaume Lemieux, Francis Lessard (observateur attitré), Denis Manningham (pilote

de drone de 2019 – projet pilote), Ariane Massé, Jasmin Michaud, Ève Murray, Antoine Nappi, Sylvie Normand, Rosalie Plamondon, Patrick Richard Cummings (pilote de drone – vols d'essai de 2018), Ghyslain Tremblay, Émilie Trépanier (pilote de drone) et Tania Vinet. Merci également au comité de rédaction de la revue *Le Naturaliste canadien*, soit Denise Tousignant, Claude Samson et Junior A. Tremblay, ainsi qu'aux réviseurs anonymes pour leurs commentaires constructifs ayant menés à cette publication. ◀

Conflit d'intérêts

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts dans cette étude.

Certificat de bons soins aux animaux

CPA Faune 22-12.

Références

- BARNAS, A., R. NEWMAN, C.J. FELEGE, M.P. CORCORAN, S.D. HERVEY, T.J. STECHMANN, R.F. ROCKWELL et S.N. ELLIS-FELEGE, 2018. Evaluating behavioral responses of nesting lesser snow geese to unmanned aircraft surveys. *Ecology and Evolution*, 8: 1328-1338. <https://doi.org/10.1002/ece3.3731>.
- BIRD, D.M. et K.L. BILDSTEIN (édit.), 2007. Raptor – Research and management techniques. Raptor research Foundation, Swarovski Optik, Hancock House Publishers Ltd., 463 p. Disponible en ligne à : <https://raptorresearchfoundation.org/publications/techniques-manual/>.
- CALLAGHAN, C.T., K.J. BRANDIS, M.B. LYONS, S. RYALL et R.T. KINGSFORD, 2018. A comment on the limitations of UAVS in wildlife research – The example of colonial nesting waterbirds. *Journal of Avian Biology*, 49: e01825. <https://doi.org/10.1111/jav.01825>.
- CANTU DE LEIJA, A., R.E. MIRZADI, J.M. RANDALL, M.D. PORTMANN, E.J. MUELLER et D.E. GAWLIK, 2023. A meta-analysis of disturbance caused by drones on nesting birds. *Journal of Field Ornithology*, 94 (2): 3. <https://doi.org/10.5751/JFO-00259-940203>.
- CARO, T., 2005. Antipredator defenses in birds and mammals. Chicago University Press, Chicago, Illinois, 592 p.
- CHABOT, D., S.R. CRAIK et D.M. BIRD, 2015. Population census of a large common tern colony with a small unmanned aircraft. *PLoS ONE*, 10 (4): e0122588. <https://doi.org/doi:10.1371/journal.pone.0122588>.
- CHARBONNEAU, P. et J. LEMAÎTRE, 2021. Revue des applications et de l'utilité des drones en conservation de la faune. *Le Naturaliste canadien*, 145 (2): 3-34. <https://doi.org/10.7202/1080620ar>.
- COSTAGLIOLA-RAY, M.M., L. LIEBER, W.A.M. NIMMO-SMITH, E.A. MASDEN, P. CAPLAT, J. WILSON et N.J. O'HANLON, 2022. To fly or not to fly? Comparing vantage point and uncrewed aerial vehicle surveys for assessments of seabird abundance and fine-scale distribution. *Environmental Impact Assessment Review*, 97: 106906. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106906>.
- DRISCOLL, D.E., 2010. Protocol for golden eagle occupancy, reproduction, and prey population assessment. American Eagle Research Institute, Apache Jct., Arizona, 55 p. Disponible en ligne à : <https://nrm.dfg.ca.gov/FileHandler.ashx?DocumentID=83955&inline>.
- DUNDAS, S.J., M. VARDANEGA, P. O'BRIEN et S.R. MCLEOD, 2021. Quantifying waterfowl numbers: Comparison of drone and ground-based survey methods for surveying waterfowl on artificial waterbodies. *Drones*, 5: 5. <https://doi.org/10.3390/drones5010005>.
- [ÉROP] ÉQUIPE DE RÉTABLISSEMENT DES OISEAUX DE PROIE DU QUÉBEC, 2018. Plan de rétablissement du faucon pèlerin (*Falco peregrinus anatum/tundrius*) au Québec — 2019-2029. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 58 p. Disponible en ligne à : <https://mffp.gouv.qc.ca/nos-publications/plan-retablissement-faucon-pelerin-2019-2029/>.
- [ÉROP] ÉQUIPE DE RÉTABLISSEMENT DES OISEAUX DE PROIE DU QUÉBEC, 2020. Bilan du rétablissement de l'aigle royal (*Aquila chrysaetos*) au Québec pour la période 2005-2018. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 60 p. Disponible en ligne à : <https://mffp.gouv.qc.ca/nos-publications/bilan-retablissement-aigle-royal-quebec-2005-2018/>.
- GALLEGO, D. et J.H. SARASOLA, 2021. Using drones to reduce human disturbance while monitoring breeding status of an endangered raptor. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 7 (3): 550-561. <https://doi.org/10.1002/rse2.206>.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC, 2024. Liste des espèces fauniques menacées ou vulnérables. Disponible en ligne à : <https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/faune/gestion-faune-habitats-fauniques/especes-fauniques-menacees-vulnerables/liste>. [Visité le 2023-06-16].
- HADIKYRIAKOU, T.G., N. KASSINIS, D. SKARLATOS, P. CHARILAOU et A.N.G. KIRSCHER, 2020. Breeding success of Eleonora's Falcon in Cyprus revisited using survey techniques for cliff-nesting species. *The Condor: Ornithology Applications*, 122 (4): 1-13. <https://doi.org/10.1093/condor/duaa045>.
- HAUSHEER, J.E., 2016. Can drones help monitor vultures on Mongolia's Eastern Steppe? Disponible en ligne à : <https://blog.nature.org/2016/03/09/can-drones-help-monitor-vultures-on-mongolias-eastern-steppe/>. [Visité le 2023-05-03].
- HOLLDORF, E., 2018. Avifauna ethological response to unmanned aircraft systems. Master's Projects and Capstones – 771, University of San Francisco, Californie, 71 p. Disponible en ligne à : <https://repository.usfca.edu/capstone/771>.
- JUNDA, J., E. GREENE et D.M. BIRD, 2015. Proper flight technique for using a small rotary-winged drone aircraft to safely, quickly, and accurately survey raptor nests. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3: 222-236. <https://doi.org/10.1139/jvus-2015-0003>.
- JUNDA, J.H., E. GREENE, D. ZAZELECHUK et D.M. BIRD, 2016. Nest defense behaviour of four raptor species (osprey, bald eagle, ferruginous hawk, and red-tailed hawk) to a novel aerial intruder – A small rotary-winged drone. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 4: 217-227. <http://doi.org/10.1139/jvus-2016-0004>.
- LAHOZ-MONFORT, J. et M.J.L. MAGRATH, 2021. A comprehensive overview of technologies for species and habitat monitoring and conservation. *BioScience*, 71 (10): 1038-1062. <https://doi.org/10.1093/biosci/biab073>.
- LIVEZEY, K.B., E. FERNANDEZ-JURICIC et D.T. BLUMSTEIN, 2016. Database of bird flight initiation distances to assist in estimating effects from human disturbance and delineating buffer areas. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 7: 181-191. <https://doi.org/10.3996/082015-JFWM-078>.
- LYONS, M., K. BRANDIS, C. CALLAGHAN, J. MCCANN, C. MILLS, S. RYALL et R. KINGSFORD, 2018. Bird interactions with drones, from individuals to large colonies. *Australian Field Ornithology*, 35: 51-56. <http://dx.doi.org/10.20938/af035051056>.
- MATTERN, T., K. REXER-HUBER, G. PARKER, J. AMEY, C.-P. GREEN, A.J.D. TENNYSON, P.M. SAGAR et D.R. THOMPSON, 2021. Erect-crested penguins on the Bounty Islands: Population size and trends determined from ground counts and drone surveys. *Notornis*, 68 (1): 37-50. <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.19709476>.
- [MELCCFP] MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2022. Recueil des protocoles standardisés pour le suivi de la nidification et de la productivité du faucon pèlerin au Québec. Gouvernement du Québec, Québec, 28 p. + ann. Disponible en ligne à : <https://mffp.gouv.qc.ca/nos-publications/protocole-standardise-suivi-nidification-productivite-faucon-pelerin/>.
- [MELCCFP] MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2024. Recueil des protocoles standardisés pour le suivi de la nidification et de la productivité de l'aigle royal au Québec. Gouvernement du Québec, Québec, 24 p. + ann. Disponible en ligne à : <https://mffp.gouv.qc.ca/nos-publications/protocole-standardise-suivi-nidification-productivite-aigle-royal/>.

- [MFFP] MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2021. Protocole standardisé de détection et d'identification des tortues d'eau douce à l'aide de drones au Québec. Gouvernement du Québec, Québec, 53 p. + ann. Disponible en ligne à : <https://mffp.gouv.qc.ca/nos-publications/protocole-detection-tortues-drones/>.
- MONTGOMERIE, R.D. et P.J. WEATHERHEAD, 1988. Risks and rewards of nest defence by parent birds. *Quarterly Review of Biology*, 63 (2) : 167-187. <https://doi.org/10.1086/415838>.
- MORNEAU, F., B. GAGNON, S. POLIQUIN, P. LAMOTHE, N. D'ASTOUS et J.A. TREMBLAY, 2012. Breeding status and population trends of Golden Eagles in Northeastern Québec, Canada. *Avian Conservation and Ecology*, 7 : 4. <https://doi.org/10.5751/ACE-00547-070204>.
- PAGEL, J.E., D.M. WHITTINGTON et G.T. ALLEN, 2010. Interim Golden Eagle technical guidance: Inventory and monitoring protocols; and other recommendations in support of eagle management and permit issuance. Division of Migratory Bird Management, U.S. Fish and Wildlife Service, Arlington, Virginie, 26 p. Disponible en ligne à : <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Page1-2010.pdf>.
- PHILIPS, S., 2020. Use of sUAS/UAS to cost effectively monitor eagle nesting. Final Report, Department of Defense Environmental Security Technology Certification Program (ESTCP), Project RC 18-5046, 48 p. + ann. Disponible en ligne à : [https://serdp-estcp-storage.s3.us-gov-west-1.amazonaws.com/s3fs-public/2022-09/RC 18-5046%20Final%20Report.pdf?VersionId=sqVzvdUuceXRUOVkmXlgzL1FszCNSj4](https://serdp-estcp-storage.s3.us-gov-west-1.amazonaws.com/s3fs-public/2022-09/RC%2018-5046%20Final%20Report.pdf?VersionId=sqVzvdUuceXRUOVkmXlgzL1FszCNSj4).
- PHILIPS, S., R. KNIGHT, J. GILLUM et K. BARRACLOUGH, 2022. Using small unmanned aircraft systems to monitor Golden Eagle nests on DoD Installations. ESTCP Project RC18-5046, Department of Defense Environmental Security Technology Certification Program (ESTCP), 24 p. Disponible en ligne à : [https://serdp-estcp-storage.s3.us-gov-west-1.amazonaws.com/s3fs-public/2022-09/RC 18-5046%20Guidance%20Document.pdf?VersionId=Mm9T0.fP3Q4Qy0hNqK.qj3fc_mhiwjtk](https://serdp-estcp-storage.s3.us-gov-west-1.amazonaws.com/s3fs-public/2022-09/RC%2018-5046%20Guidance%20Document.pdf?VersionId=Mm9T0.fP3Q4Qy0hNqK.qj3fc_mhiwjtk).
- POTAPOV, E.R., I.G. UTEKHINA, M.J. MCGRADY ET D. RIMLINGER, 2013. Usage of UAV for surveying Steller's sea eagle nests – Применение беспилотников для осмотра гнёзд белогоплечего орлана. *Raptors Conservation*, 27 : 253-260.
- PÖYSÄ, H., J. KOTILAINEN, V.-M. VÄÄNÄNEN et M. KUNNASRANTA, 2018. Estimating production in ducks: A comparison between ground surveys and unmanned aircraft surveys. *European Journal of Wildlife Research*, 64 : 74. <http://dx.doi.org/10.1007/s10344-018-1238-2>.
- RAOULT, V., A.P. COLEFAX, B.M. ALLAN, D. CAGNAZZI, N. CASTELBLANCO-MARTÍNEZ, D. IERODIACONOU, D.W. JOHNSTON, S. LANDEO-YAURI, M. LYONS, V. PIROTTA, G. SCHOFIELD et P.A. BUTCHER, 2020. Operational protocols for the use of drones in marine animal research. *Drones*, 4 : 64. <https://www.mdpi.com/2504-446X/4/4/64>.
- ROMIN, L.A. et J.A. MUCK, 2002. Utah Field Office guidelines for raptor protection from human and land use disturbances. US Fish and Wildlife Service, Utah Field Office, Salt Lake City, Utah, 42 p.
- ROWELL, P., G.L. HOLROYD, U. BANASCH et P. POWELL, 2003. The 2000 Canadian Peregrine Falcon survey. *Journal of Raptor Research*, 37 : 98-116.
- RÜMMLER, M.-C., O. MUSTAFA, J. MAERCKER, H.-U. PETER et J. ESEFELD, 2018. Sensitivity of Adélie and Gentoo penguins to various flight activities of a micro UAV. *Polar Biology*, 41 : 2481-2493. <https://doi.org/10.1007/s00300-018-2385-3>.
- SHAW, T., 2022. Keeping bald eagles and other wildlife safe from drones. US Fish and Wildlife Service. Disponible en ligne à : <https://www.fws.gov/midwest/news/DronesAndWildlife.html>. [Visité le 2023-07-26].
- SPAUL, R. et J.A. HEATH, 2017. Flushing responses of golden eagles (*Aquila chrysaetos*) in response to recreation. *The Wilson Journal of Ornithology*, 129 (4) : 834-845. <https://doi.org/10.1676/16-165.1>.
- STEENHOF, K. et I. NEWTON, 2007. Assessing nesting success and productivity. Dans : BIRD, D.M. et K.L. BILDSTEIN (édit.). *Raptor – Research and management techniques*. Hancock House Publishers Ltd., Surrey, British Columbia, p. 181-192. Disponible en ligne à : <https://raptorresearchfoundation.org/publications/techniques-manual/>.
- THE CANADIAN PEREGRINE FOUNDATION, 2020. Peregrine falcon development – Age guide. Disponible en ligne à : <http://peregrine-foundation.ca/info/ageguide.html>. [Visité le 2023-04-24].
- [USFWS] US FISH AND WILDLIFE SERVICE, 2003. Monitoring plan for the American Peregrine Falcon - A species recovered under the Endangered Species Act. USFWS, Divisions of Endangered Species and Migratory Birds and State Programs, Pacific Region, Portland, Oregon, 53 p. Disponible en ligne à : <https://digitalmedia.fws.gov/digital/collection/document/id/1047>.
- [USFWS] US FISH AND WILDLIFE SERVICE, 2020. Final report: Bald Eagle population size: 2020 update. Division of Migratory Bird Management, Washington, D.C. 34 p. Disponible en ligne à : <https://www.fws.gov/media/us-fish-and-wildlife-service-final-report-bald-eagle-population-size-2020-update>.
- VAS, E., A. LESCROËL, O. DURIEZ, G. BOGUSZEWSKI et D. GRÉMILLET, 2015. Approaching birds with drones: First experiments and ethical guidelines. *Biology Letters*, 11 (2) : 20140754. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2014.0754>.
- WEISSENSTEINER, M.H., J.W. POELSTRA et J.B.W. WOLF, 2015. Low-budget ready-to-fly unmanned aerial vehicles: An effective tool for evaluating the nesting status of canopy-breeding bird species. *Journal of Avian Biology*, 46 (4) : 425-430. <https://doi.org/10.1111/jav.00619>.
- WESTON, M.A., C. O'BRIEN, K.N. KOSTOGLU et M.R.E. SYMONDS, 2020. Escape responses of terrestrial and aquatic birds to drones: Towards a code of practice to minimize disturbance. *Journal of Applied Ecology*, 57 : 777-785. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13575>.
- YORZINSKI, J.L. et G.L. PATRICELLI, 2010. Birds adjust acoustic directionality to beam their antipredator calls to predators and conspecifics. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277 (1683) : 923-932. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.1519>.
- ZINK, R., E. KMETOVA-BIRO, S. AGNEZY, I. KLISUROV et A. MARGALIDA, 2023. Assessing the potential disturbance effects on the use of Unmanned Aircraft Systems (UASs) for European vultures research: A review and conservation recommendations. *Bird Conservation International*, 33, e45 : 1-12. <https://doi.org/10.1017/S0959270923000102>.

Annexe 1 – Autorisations, description détaillée du matériel (drones) et résultats sommaires du projet pilote

Autorisations

Certificat de bons soins aux animaux

Un certificat de bons soins aux animaux a été émis par le Comité de protection des animaux du MELCCFP (CPA Faune 22-12). Comme l'étude implique des espèces en situation précaire, elle a été menée en respectant toutes les lois applicables, soit la *Loi sur les espèces en péril* (L.C. 2002, ch. 29) au Canada, la *Loi sur les espèces menacées ou vulnérables* (RLRQ c. E-12.01) et la *Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune* (RLRQ c. C-61.1) au Québec.

Autorisations et certification des pilotes de drone

Les 3 pilotes de drone de l'étude étaient certifiés par Transports Canada pour être en mesure de réaliser des opérations avancées. Ces derniers devaient respecter le *Règlement de l'aviation canadien* (RAC; DORS/96-433) de la *Loi sur l'aéronautique* (DORS/96-433) du Canada. En outre, le RAC stipule que l'altitude maximale pour un vol de drone est de 120 m, le vol à vue est obligatoire et il est défendu de survoler les personnes et les habitations à moins de 30 m.

Pour un nid de faucon pèlerin, l'aérodrome de Baie-Saint-Paul a dû être contacté pour avertir la tour de contrôle qu'un vol de drone était effectué sur la falaise dans l'axe de la piste d'atterrissage pour les petits avions. Les nids situés en carrière ont également fait l'objet d'autorisations pour l'accès aux sites.

Pour respecter la réglementation et s'assurer de la sécurité de chacun des vols de drone, des plans de vol ont été préparés pour chacun des sites pour évaluer les contraintes au vol et les aspects réglementaires à respecter.

Description détaillée du matériel et résultats sommaires des essais de 2018-2019 — Volet drone

L'information de cette section respecte les recommandations de Barnas et collab. (2020) pour permettre la comparaison et la réplique des études. Pour toute la durée du projet, l'équipage était composé d'un pilote et d'un observateur attiré. Le pilote était responsable du montage du drone et de l'inspection prédécollage, du décollage, de l'approche du nid et des manœuvres pour voir à l'intérieur du nid, du démontage du drone et de l'inspection finale. L'observateur attiré était responsable d'assister le pilote, d'assurer les communications aériennes ainsi que celles avec les personnes à proximité de l'aire de pilotage, de prendre des notes, de manœuvrer la caméra, de prendre des photos et des vidéos, de détecter les obstacles et les dangers aériens, de voir au péril aviaire, et de noter le comportement des oiseaux.

Les drones pesant moins de 250 g, ceux dont la caméra est intégrée (sans zoom) ou qui sont équipés de caméras grands-angles, sont considérés inadéquats pour le suivi de la nidification des oiseaux de proie nichant en falaise. En effet, ces

drones ne peuvent pas respecter la distance de 100 m établie par Charbonneau et Lemaître (2021) ni porter des caméras lourdes, ils ne résistent pas à des vents forts, et ils n'offrent pas de caméras assez performantes pour recueillir des données de qualité. De plus, leur autonomie énergétique est insuffisante pour inventorier des nids se trouvant à plus d'un kilomètre du poste de contrôle.

Vols exploratoires de 2018

Drone: DJI Phantom 4 Standard (figure A1; Dajiang Innovations Technology Co., Ltd. [DJI], Shenzhen, Guangdong, Chine). Ce modèle n'est plus disponible sur le marché.

Capteur: Caméra intégrée au drone.

Vols exploratoires sur des nids d'aigles royaux non occupés (n = 3). Distance inférieure à 30 m entre le drone et le nid. Pas de télémètre sur le drone, distance estimée.

Constats: Drone abordable, mais la caméra n'est pas munie d'un zoom et le drone doit voler trop près du nid pour obtenir des images de qualité (figures A2 et A3) (MFFP, 2018). Autonomie énergétique insuffisante (moins de 15 min).



Photo : Patrick Charbonneau, MELCCFP

Figure A1. Drone DJI Phantom 4 Standard utilisé pour les vols exploratoires de 2018.



Photo : Patrick Richard Cummins, MELCCFP

Figure A2. Exemple d'image obtenue avec le drone DJI Phantom 4 à 30 m (nid d'aigle royal), 2018.



Photo: Patrick Richard Cummins, MELCCFP

Figure A3. Exemple d'image obtenue avec le drone DJI Phantom 4 à 30 m (nid d'aigle royal), 2018.



Photo: Patrick Charbonneau, MELCCFP

Figure A4. Drone DJI Matrice 210 et caméra DJI Zenmuse 30 utilisés pour le projet pilote de 2019.



Photo: Denis Manningham, MELCCFP

Figure A5. Exemple d'image obtenue à l'aide du drone DJI Matrice 210 et de la caméra DJI Zenmuse 30 à 100 m d'un nid de faucons pèlerins (un adulte, avec un œuf et un fauconneau), 2019.

Projet pilote de 2019

Le projet pilote a été réalisé afin d'identifier les modèles de drones et de caméras qui répondaient le mieux aux besoins de l'étude. Les vols à proximité des falaises présentent des enjeux méthodologiques qui devaient être explorés avant de réaliser l'étude. Par exemple, la vitesse parfois élevée du vent et les vents ascendants à proximité des falaises requièrent un drone stable dans ces mêmes contextes. La distance entre le poste de contrôle et le drone requerrait une autonomie de batterie importante. De plus, une caméra munie d'un zoom puissant devait être utilisée pour conserver une distance qui ne générerait pas de dérangement chez les oiseaux étudiés.

Drone: DJI Matrice 210 (figure A4). Location pour le projet pilote.

Capteur: Caméra DJI Zenmuse 30 (zoom 30×).

Vols exploratoires sur des nids d'aigles royaux (n = 4) et de faucons pèlerins (n = 6) occupés. Distances de 100 m entre le drone et le nid (télémètre intégré à la caméra). Mise au point du protocole pour le projet de recherche de 2021.

Constats: Ce modèle n'est plus disponible sur le marché. Son zoom est très puissant (figures A5 et A6), mais trop spécifique pour l'ensemble des besoins en conservation du MELCCFP. Un autre modèle de drone muni d'une caméra permettant plus de polyvalence (zoom, grand-angle, vidéo, thermique) serait plus utile.



Photo: Denis Manningham, MELCCFP

Figure A6. Exemple d'image obtenue à l'aide du drone DJI Matrice 210 et de la caméra DJI Zenmuse 30 à 100 m d'un nid d'aigle royal (un aiglon), 2019.

Résultats

Le projet pilote a démontré qu'il y avait peu de gain à utiliser le drone pour déterminer l'occupation du territoire. Ce résultat est appuyé par le guide d'inventaire de l'aigle royal de Philips et collab. (2022), qui recommande de vérifier l'utilisation des territoires par la méthode classique d'observation au sol. En effet, le drone n'a pas la flexibilité nécessaire pour documenter des signes de présence sporadiques, vu qu'il se concentre sur des petits secteurs à la fois. De plus, le drone ne permettait

pas de détecter les adultes à l'aide de leurs cris alors que dans plusieurs cas, les cris étaient le 1^{er} signe de présence détecté par les observateurs au sol.

Observations comportementales lors des vols d'essai

Lors de vols d'essai, dans tous les cas concernant les aigles ($n = 4$), ces derniers quittaient le nid dès qu'ils détectaient la présence de l'équipe de terrain, même à 800 m. Une seule réponse d'envol d'un faucon avait été notée ($n = 4$). Loiseau avait émis un cri d'alarme et s'était envolé, laissant 2 fauconneaux au nid. Il s'agissait d'un vol d'essai effectué à 35 m de distance du nid en raison de l'habitat qui ne permettait pas de faire un vol à une distance de 100 m. Le drone était visiblement trop près du nid.

Lors d'un autre vol d'essai, un couple de faucons pèlerins a été observé en parade nuptiale. Malgré l'approche du drone et sa présence en vol stationnaire à 70 m de la femelle perchée sur la falaise, les activités du couple n'ont pas été perturbées et la parade a pu être observée et filmée pendant quelques minutes. Toujours lors d'un vol d'essai, 5 urubus à tête rouge (*Cathartes aura*) se sont approchés et ont tournoyé pendant quelques minutes autour du drone qui effectuait un vol stationnaire à 50 m d'altitude, pour ensuite quitter le site.

Projet de recherche — Suivis de 2021

Le projet a été suspendu en 2020 en raison des restrictions sanitaires mises en place pour la pandémie de COVID-19.

En 2021, un drone quadricoptère DJI Matrice 300 RTK a été utilisé (figure A7; dimension : 810 mm × 670 mm × 430 mm, résistance au vent : 15 m/s, gamme de température -20 à +50 °C, vitesse maximale de 82 km/h) muni de capteurs anticollision et d'une nacelle avec stabilisateurs d'images. La caméra RGB utilisée était la DJI Zenmuse H20T (poids de 828 g, zoom optique 23× de 20 MP, zoom numérique 200×, grand-angle 24 mm de 12 MP, télémètre de 1 200 m, vidéo 4K/30 images par seconde). La caméra thermique n'a pas été utilisée dans le cadre de l'étude. Les paramètres de la caméra étaient en mode automatique (ISO, vitesse, ouverture, mise au point). L'équipe manipulait 2 télécommandes DJI Smart Controller Enterprise : une pour le pilotage et l'autre pour la prise des images et des vidéos (zoom et orientation). Le fait d'avoir 2 télécommandes diminue la charge mentale (stress) du pilote.

Le poids total du drone au décollage était de 7 128 g. Ce modèle de drone est pliable avec des hélices intégrées pliables également. Le logiciel de vol était le DJI Pilot.

Les données étaient visibles en temps réel sur les écrans des télécommandes et enregistrées sur une carte microSD insérée dans la caméra DJI Zenmuse H20T. Les photos étaient géoréférencées à partir du GNSS (Global Navigation Satellite System) du drone. Toutes les métadonnées (p. ex. : coordonnées géographiques, altitude) des images sont enregistrées dans les propriétés des fichiers en format JPEG.

Les télécommandes étaient alimentées par des batteries intelligentes Crystalsky WB37 Intelligent, alors que le drone était alimenté par 2 batteries intelligentes TB60 Intelligent

Flight Battery (poids individuel de 1 350 g). L'ensemble de batteries était rechargé par la station BS60 Intelligent Battery. Au total, il y avait 4 batteries pour les télécommandes et 8 pour le drone, pour une autonomie théorique globale de 220 min de vol (autonomie de 55 min/vol).



Figure A7. Matériel utilisé pour les inventaires par drone (quadricoptère DJI Matrice 300 RTK) en 2021.

Photo : Patrick Charbonneau, MELCCFP

Le temps de préparation de l'aire de pilotage, de montage du drone et de l'application des procédures opérationnelles standardisées avant le décollage était de 13 min en moyenne. Le temps requis pour le démontage du drone et de son inspection était de 5 min. La superficie libre d'obstacles nécessaire au décollage est d'environ 9 m². Le drone est muni de capteurs anticollision (toutes directions : avant/arrière, gauche/droite, haut/bas). Aucun dispositif spécialisé n'est nécessaire au décollage et à l'atterrissage de ce modèle de drone.

Bruit ambiant et bruit émis par le drone

Le bruit ambiant moyen était de $42 \pm 5,6$ dB. Au décollage, le drone émettait entre 70 et 85 dB. À 5 m, la valeur moyenne s'élevait à $69 \pm 3,1$ dB et à 100 m à $48 \pm 6,0$ dB. Ces valeurs étaient significativement supérieures au bruit ambiant (test de t apparié, $t_{5m} = 16$; $p < 0,001$; $t_{100m} = 4,5$; $p < 0,001$; $n = 41$).

Références

- BARNAS, A.F., D. CHABOT, A.J. HODGSON, D.W. JOHNSTON, D.M. BIRD et S.N. ELLIS-FELEGÉ, 2020. A standardized protocol for reporting methods when using drones for wildlife research. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 8 : 89-98. <https://doi.org/10.1139/juvs-2019-0011>.
- CHARBONNEAU, P. et J. LEMAITRE, 2021. Revue des applications et de l'utilité des drones en conservation de la faune. *Le Naturaliste canadien*, 145 (2) : 3-34. <https://doi.org/10.7202/1080620ar>.
- [MFFP] MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2018. Comparaison du suivi traditionnel des nids d'aigle versus un essai de suivi effectué à l'aide d'un drone. Document interne, gouvernement du Québec, Rimouski, 10 p.
- PHILIPS, S., R. KNIGHT, J. GILLUM et K. BARRACLOUGH, 2022. Using small unmanned aircraft systems to monitor Golden Eagle nests on DoD Installations. ESTCP Project RC18-5046, Department of Defense Environmental Security Technology Certification Program (ESTCP), 24 p. Disponible en ligne à : https://serdp-estcp-storage.s3.us-gov-west-1.amazonaws.com/s3fs-public/2022-09/RC18-5046%20Guidance%20Document.pdf?VersionId=Mm9T0.fP3Q4Qy0hNqK.qj3fc_mhiwjtk.

Annexe 2

Tableau A1. Nombre d'œufs, nombre et âge des jeunes, tels qu'évalués aux 3^e et 4^e visites par l'observation au sol et du drone lors du suivi de 2021.

Date		Nid*	Espèce†	Territoire occupé (oui/non)	3 ^e visite						4 ^e visite			
					Nombre d'œufs		Nombre de jeunes		Âge aîné (jours)		Nombre de jeunes		Âge aîné (jours)	
3 ^e visite	4 ^e visite				Sol	Drone	Sol	Drone	Sol	Drone	Sol	Drone	Sol	Drone
2021-06-13	2021-07-20	18223	AIRO	Oui	0	0	NO‡	1	-	X§	1	1	56	60
2021-06-11	2021-07-20	18221	AIRO	Oui	0	0	1	1	7	17	1	1	53	63
2021-06-17	2021-07-19	19002	AIRO	Oui	0	0	2	2	28	30	2	2	63	63
2021-06-09	2021-07-05	10221	FAPE	Oui	0	0	NO	2	-	9	-	0	-	-
2021-06-08	2021-07-04	1183	FAPE	Oui	0	0	NO	4	-	16	4	Y ¹ (4)	Y	Y
2021-06-09	2021-07-04	15899	FAPE	Oui	0	0	NO	1	-	17	1	Y (1)	Y	Y
2021-06-08	2021-07-06	15748	FAPE	Oui	0	1	NO	3	-	6	3	3	37	37
2021-06-02	2021-07-07	15911	FAPE	Oui	0	3	NO	0	-	-	3	3	X	28
2021-05-25	2021-07-02	15912	FAPE	Oui	0	0	NO	0	-	-	1	Y (1)	Y	Y
2021-05-28	2021-06-25	18827	FAPE	Oui	0	0	NO	4	-	10	4	4	33	35
2021-05-30	2021-07-01	19663	FAPE	Oui	3	3	0	0	-	-	3	3	32	33
2021-05-27	2021-06-23	19666	FAPE	Oui	0	0	0	3	-	9	-	2	-	29
2021-06-08	2021-07-05	23880	FAPE	Oui	0	0	2	3	X	4	2	2	X	28
2021-05-25	2021-06-23	79590	FAPE	Oui	0	0	2	2	X	8	0	0	-	-
2021-06-02	2021-07-07	79591	FAPE	Oui	0	1	0	0	-	-	-	0	-	-
2021-06-04	2021-06-30	SMDC¶	FAPE	Oui	0	0	2	2	X	15	3	3	37	37
2021-06-06	2021-07-01	MAT¶	FAPE	Oui	0	0	2	3	9	18	2	2	43	43
2021-06-10		1090#	AIRO	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021-06-11		18865	AIRO	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021-06-10		14331#	AIRO	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021-06-21		17567#	AIRO	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021-06-12		14332#	AIRO	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021-06-16		18866	AIRO	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021-06-14		21735	AIRO	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau A1. Nombre d'œufs, nombre et âge des jeunes, tels qu'évalués aux 3^e et 4^e visites par l'observation au sol et du drone lors du suivi de 2021 (suite).

Date		Nid*	Espèce†	Territoire occupé (oui/non)	3 ^e visite						4 ^e visite			
					Nombre d'œufs		Nombre de jeunes		Âge aîné (jours)		Nombre de jeunes		Âge aîné (jours)	
3 ^e visite	4 ^e visite				Sol	Drone	Sol	Drone	Sol	Drone	Sol	Drone	Sol	Drone
2021-06-12		GR‡	FAPE	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021-06-01		19563	FAPE	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021-06-09		79566	FAPE	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total					3	8	11	31	-	-	30	26 (32)**	-	-

*: Numéro de nid associé aux occurrences du Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec.

†: AIRO: Aigle royal; FAPE: faucon pèlerin.

‡: NO = Pas d'observation de jeunes, mais observation d'au moins un adulte occupant, quittant ou gagnant un site probable de nidification (visible ou non) et dont le comportement est révélateur d'un nid occupé (Robert et collab., 2019).

§: X = Jeune(s) vu(s), mais impossible d'en évaluer l'âge.

¶: Y = Jeune(s) à l'extérieur du nid, âge(s) non déterminé(s), car déjà à l'envol (coloration du plumage indiquant un âge plus grand que les critères des guides photographiques), drone inutile.

‡: Nouveau nid découvert dans le cadre de l'étude.

#: Plusieurs nids sur la même falaise.

** : Entre parenthèses, total en tenant compte des jeunes en dehors du nid.



© Jean-Simon Bégin

Faunique depuis 40 ans!

Célébrons ensemble 40 ans d'actions concrètes pour la conservation de la faune et de son habitat.

> Faites un don aujourd'hui : fondationdelafaune.qc.ca



Fondation de la faune du Québec



Gervais Comeau, Conseiller en placement

gervais.comeau@iagestionprivee.ca • gervaiscomeau.com

iagestionprivee.ca



Yvan Bedard
PHOTONATURE
Ph.D. Prof. émérite
Neuville, Qc
Canada G0A 2R0
1-418-561-7046

yvan_bedard@hotmail.com

PHOTOS-LICENCES-COURS-CONSEILS

<http://yvanbedardphotonature.com>