Travaux de Recherche - Gestion et Protection de la Nature

Drones et biodiversité : un regard nouveau sur les habitats et le suivi des dynamiques de populations



Quels sont les avantages et limites des méthodes d'échantillonnage par drones pour cartographier les habitats naturels et suivre les dynamiques des populations de faune et flore ?

Juliette Guinchard
1ERE ANNEE BACHELOR GESTION ET VALORISATION NATURALISTE
EGPN LYON| Année 2024-2025

Sommaire

Introduction 1
I. Avantages des drones pour l' échantillonnage écologique 2
1. Précision et accessibilité des drones pour des données haute résolution en zones difficiles 2
2. Économies de coûts et de temps pour les suivis réguliers 3
II. Limites de l'échantillonnage par drones 4
1. Limites technologiques et juridiques 4
2. Limites pour certaines espèces 4
III. Solutions et perspectives pour optimiser l'utilisation des drones 6
1. Complémentarité satellites/drones 6
2. Amélioration des drones dans la collecte des données 7
Conclusion 8
Abstract 9
Annexes 10
Bibliographie 16

Introduction

Ces dernières années, nous avons perçu un essor de l'utilisation des drones, que ce soit dans le loisir, le domaine de l'agriculture, de l'armée ou encore de l'urbanisme. Cette technologie s'est également imposée dans le domaine environnemental, car elle offre une alternative performante aux méthodes traditionnelles. En effet, elle est capable de survoler des zones difficiles d'accès et facilite l'apport de nouvelles données, autrefois inaccessibles. C'est pourquoi les drones ont su s'imposer dans la cartographie des habitats naturels et le suivi des dynamiques des populations de faune de flore.

Avant toute chose, il est important de rappeler la définition d'un drone. Le terme drone, qui signifie en anglais « faux bourdon, mais cette terminologie n'apparaît pas dans la réglementation car elle peut prêter à confusion ». La législation française préfère le terme d'« aéronef civil circulant sans personne à bord »[1]. Il existe plusieurs types de drones : drones aériens, drones terrestres ou encore drones marins. (ANNEXES 1 et 2)

Cependant l'utilisation des drones soulève des questions éthiques, technologiques ou juridiques. Tout d'abord, nous pouvons évoquer une limite éthique, notamment en ce qui concerne l'impact potentiel des drones sur la faune sensible aux perturbations des survols. C'est pourquoi nous nous demanderons quels sont les avantages et limites des méthodes d'échantillonnage par drones pour cartographier les habitats naturels et suivre les dynamiques des populations de faune et de flore ?

Pour cela, nous aborderons dans un premier temps, les avantages des drones en échantillonnage. Puis, nous verrons les limites techniques et juridiques de cette technologie. Enfin, nous évoquerons les solutions possibles pour optimiser leur utilisation

I. Avantages des drones pour l' échantillonnage écologique

L'utilisation des drones dans le domaine de l'environnement a considérablement progressé ces dernières années en raison de leurs grandes capacités à collecter des données de manières précises et détaillées. Aujourd'hui, les drones sont utilisés pour mener des études écologiques à différentes échelles. En effet, ils sont utilisés dans l'échantillonnage de la faune et de la flore tout comme dans la cartographie des habitats. Ainsi, ils présentent de nombreux avantages.

1. Précision et accessibilité des drones pour des données haute résolution en zones difficiles

L'un des principaux avantages de l'usage des drones est la haute résolution des données qu'ils permettent de collecter (ANNEXE 3). En effet, contrairement aux méthodes traditionnelles telles que les relevés au sol ou l'usage des satellites, les drones permettent de capturer des détails invisibles par les satellites. Ceci est rendu possible grâce à des capteurs qui permettent de capturer des informations précises sur la distribution des espèces et de la végétation, ainsi que sur les habitats. Dans la revue Le Naturaliste canadien [2] les auteurs expliquent que l'utilisation des drones est une solution intermédiaire idéale aux méthodes de relevés au sol ou les échantillonnages par les satellites. En effet, les relevés au sol peuvent être limités par la topographie , ou encore par l'accessibilité à la zone d'étude. Quant aux satellites, ils couvrent de vastes zones mais offrent une résolution moins fine, certains détails visibles leur échappant.

D'autre part, la capacité qu'a cette technologie à atteindre les zones inaccessibles ou difficiles d'accès, telles que les forêts denses ou les zones montagneuses, permet ainsi une observation plus précise et moins perturbatrice des écosystèmes. Les recherches faites par Emilien Alvarez Vanhard [3] montrent que les drones jouent un rôle important dans la surveillance de zones écologiques sensibles, comme les prairies humides, où la cartographie ainsi que le suivi de la dynamique de populations des espèces animales et végétales sont souvent limitées par la présence d'eau ou par la végétation pour les observations sur le terrain. En étant capables de survoler des étendues de terrain difficilement accessibles par voie terrestre, les drones fournissent des images aériennes précises qui aident les chercheurs à évaluer l'état des forêts et à repérer les menaces

Ainsi, les drones peuvent détecter le braconnage, suivre des activités comme la déforestation ou encore surveiller les dynamiques d'espèces menacées. Cette capacité s'accompagne également d'un avantage économique notamment en réduisant les coûts et le temps nécessaires aux suivis réguliers.

2. Économies de coûts et de temps pour les suivis réguliers

L'usage des drones pour le suivi des populations de faune et de flore ainsi que pour la cartographie des habitats naturels, dispose d'un avantage important a contrario des méthodes traditionnelles ; celles de réduction des coûts et de temps.

Les échantillonnages traditionnels nécessitent un nombre de personnes important et du matériel coûteux pour réaliser les inventaires sur le terrain. L'emploi des drones permet de limiter ces coûts, en réduisant le nombre de personnes présentes sur les sites difficiles d'accès.

D'après l'article *Can UAVs fill the gap between in situ surveys and satellites for habitat mapping ?* les chercheurs expliquent que les frais de logistiques (transport et hébergement) peuvent être réduits grâce aux drones : « Les économies peuvent atteindre 58 % par rapport aux méthodes traditionnelles, tout en offrant des résultats comparables, voire supérieurs » [4]. Ainsi, l'utilisation des drones permet de réduire les coûts de plus de la moitié par rapport aux méthodes traditionnelles tout en garantissant une précision et un résultat supérieur.

De plus, les drones permettent un gain de temps considérable. En effet, contrairement aux relevés traditionnels, ils permettent de réaliser des relevés en quelques heures contre plusieurs jours pour les autres méthodes. Des recherches scientifiques menées au Japon ont démontré qu'un drone pouvait les remplacer pour le suivi des populations de saumons du Pacifique. En effet, il avait un coût réduit de moitié par rapport aux méthodes classiques. « Au Japon, un drone hélicoptère s'est avéré une solution de remplacement économique à la méthode traditionnelle de pêche scientifique à la seine pour inventorier les saumons du Pacifique (Oncorhynchus keta). Au total, 8 inventaires aériens ont été réalisés à une altitude de 7 m» [5].

Ainsi, l'intégration des drones dans le suivi des populations animales et végétales s'impose comme une alternative efficace aux méthodes traditionnelles, en offrant un gain à la fois en efficacité et en en réduction du coût. Cependant, nous pouvons nous questionner sur les limites technologiques et juridiques mais également sur l'impact des drones sur les espèces animales.

II. Limites de l'échantillonnage par drones

L'échantillonnage par drones pour la cartographie des habitats naturels et pour le suivi des dynamiques de populations présente de nombreux avantages, cependant les drones montrent également certaines limites.

1. Limites technologiques et juridiques

Tout d'abord, nous pouvons évoquer une limite technologique telle que l'autonomie des drones qui reste très limitée. En effet, selon l'article la plupart des drones actuellement, ont une autonomie comprise entre 20 à 60 minutes, ce qui limite grandement la superficie de la zone à couvrir [6]. De plus, cet article mentionne également que les conditions météorologiques, comme le vent, contraignent les performances des drones ainsi que la qualité des relevés : « la présence de forte pluie, de vent, de brume, de brouillard, d'humidité ou de toutes autres conditions non propices au vol des appareils tels que la grêle et une forte houle contraint les opérateurs à n'utiliser les drones que lorsque les conditions extérieures sont les plus favorables»[7]. Les mauvaises conditions météorologiques peuvent perturber les capteurs, il est donc nécessaire de planifier les missions.

Ensuite, nous pouvons remarquer une limite juridique pour l'utilisation des drones. Dans de nombreux pays, les lois limitent le vol des drones [8] . De fait, les scientifiques doivent obtenir des accords et même quelquefois des autorisations militaires pour employer cette technologie. Par exemple, les drones n'ont pas l'autorisation de voler sur des zones trop fréquentées humainement mais aussi dans des zones à proximité d'un trafic aérien (ex : aéroports). Ainsi, les accords et les lois restreignent beaucoup leur usage.

2. Limites pour certaines espèces

L'utilisation des drones peut également être un désavantage pour la faune. Les animaux peuvent voir les drones comme une menace, ce qui les conduit à des réactions de stress. L'étude menée dans Foreword to the Special Issue on "The rapidly expanding role of drones as a tool for wildlife research" Wildlife Research, 2022) [6] explique que certains oiseaux et mammifères peuvent être dérangés par le vol des drones.

Par exemple, les oiseaux nicheurs sont sensibles pendant la période de nidification, ils peuvent donc ressentir du stress lors de l'approche d'un drone et ainsi, abandonner leur nid et leurs œufs ; certains attaquent même les drones [9]. Cela peut, à long terme, nuire aux dynamiques des populations.

L'étude de Landeo-Yauri et de son équipe illustre également cette théorie. Elle avait pour but d'évaluer le comportement des lamantins des Antilles en présence d'un petit drone « sur trois périodes d'échantillonnage de 15 minutes : « avant », « pendant » et « après »[…]. Le drone a été maintenu stationnaire pendant 3 minutes à cinq altitudes (100 m, 40 m, 20 m, 10 m, 5 m). » [10]. Les résultats montrent que le vol des drones provoque des changements de taux de respiration chez les lamantins des Antilles pouvant faire référence à un stress à la vue du drone. (ANNEXES 4 et 5)

De plus, certaines espèces, en particulier celles déjà identifiées comme menacées, manifestent une réaction plus importante aux perturbations causées par les drones.

Des études de cas ont démontrées par exemple que chez certains mammifères, tels que les éléphants, la présence d'un drone pouvait provoquer un stress important, modifiant leur comportement au quotidien et entraînant une fuite ou une augmentation de l'agitation (ANNEXE 6). Ce type de réaction peut perturber leurs habitudes alimentaires et de reproduction compromettant ainsi leur conservation.

Ainsi, l'utilisation des drones questionne en matière d'éthique. C'est d'ailleurs en raison de ces évènements que les autorités américaines ont décidé de bannir l'utilisation de drones dans tous les parcs nationaux [9].

Pour conclure, les drones ont des limites éthiques, technologiques telles que l'autonomie restreinte ou les conditions météorologiques. De plus, leur utilisation peut causer des perturbations importantes chez certaines espèces vulnérables. Il est donc important de prendre en compte ces contraintes.

III. Solutions et perspectives pour optimiser l'utilisation des drones

Pour surmonter les limites liées aux drones, il est essentiel de trouver des solutions pour maximiser leurs utilisations dans le cadre des suivis écologiques et de la conservation de la biodiversité.

1. Complémentarité satellites/drones

Pour remédier aux limites des drones, une approche combinée entre les satellites et les drones peut être intéressante. En effet, malgré le fait que les drones offrent une résolution fine et précise des données sur des zones restreintes, leur autonomie reste limitée. Ce qui mène à vouloir combiner plusieurs méthodes pour être le plus efficace possible lors des échantillonnages ou le suivi des dynamiques de populations . Tout d'abord, il est possible de rendre complémentaire les drones avec les satellites. En effet, les satellites sont utilisés pour surveiller les écosystèmes, les dynamiques des populations mais également pour cartographier certaines zones de jour comme de nuit. L'utilisation des satellites permet de couvrir de grandes étendues géographiques peu importe le temps. (ANNEXE 7)

Par exemple, au Canada, les scientifiques utilisent les satellites pour suivre l'évolution des forêts et ainsi cartographier la végétation mais aussi suivre les évolutions des perturbations anthropiques (stocks de bois, feu de forêts). L'agence spatiale canadienne, en partenariat avec l'agence des forêts, ont lancé un projet nommé « BioSpace » qui permet de surveiller la biodiversité et de collecter des données depuis l'espace. En effet, le projet BioSpace « permet aux scientifiques d'étudier de nombreuses espèces en même temps sans avoir à se rendre à différents endroits, ce qui réduit les coûts de la surveillance » [11].

Une autre étude mettant en avant la complémentarité des drones avec d'autres méthodes illustre ces avantages, notamment à travers l'utilisation de la télédétection pour le suivi des herbiers aquatiques. L'étude a testé plusieurs méthodes de télédétections. Tout d'abord, les satellites pour « l'acquisition d'images satellite rapprochées dans le temps a permis de délimiter les herbiers et d'observer leur évolution sur plusieurs semaines, notamment sous l'influence de l'hydrologie », les avions « couplées à des campagnes in situ (pesées et surfaces de recouvrement des macrophytes), les photographies aériennes ont permis d'extrapoler, par espèce, les biomasses à l'échelle stationnelle à l'ensemble du secteur photographié; » et les drones « : les acquisitions d'images réalisées après une modification significative de l'hydrologie par drone ont permis de cibler la surveillance sur des secteurs où la composition des herbiers aurait pu être modifiée. ». [12] (ANNEXE 8)

Ainsi, avec ses différentes études nous pouvons noter qu'il est intéressant de coupler les drones à d'autres méthodes pour renforcer l'efficacité des échantillonnages et la cartographie, ainsi que le suivi des populations.

2. Amélioration des drones dans la collecte des données

Les progrès technologiques dans le domaine de l'aviation grâce aux drones constituent une avancée importante pour la surveillance de l'environnement et la gestion des écosystèmes. Effectivement, l'amélioration des capteurs, tels que les capteurs multispectraux et thermiques, facilitent la collecte de données plus exactes et appropriées aux exigences des recherches environnementales. (ANNEXE 9)

Les capteurs multispectraux présentent des avantages significatifs pour distinguer les différentes variétés de végétation et permettre d'analyser la composition chimique des plantes. Cela facilite ainsi l'estimation de la santé des écosystèmes et la détection anticipée des perturbations. Ce progrès est particulièrement utile pour la préservation des habitats naturels car il offre une surveillance plus précise des modifications environnementales permettant même de détecter la présence d'espèces exotiques envahissantes.

De plus, les capteurs thermiques se montrent cruciaux pour l'observation de la faune en permettant d'identifier des animaux par leur empreinte thermique, même dans des environnements à faible éclairage ou dans des forêts denses.

Ensuite, les caméras infrarouges aident à la localisation des nids et des sites de reproduction des animaux, en détectant les différences de température entre les zones d'activité et les zones de repos.

De ce fait, ces progrès technologiques amplifient de manière significative la capacité des drones à donner des informations exactes et utiles pour la préservation de la biodiversité et le suivi des écosystèmes.

Conclusion

Pour conclure, l’utilisation des drones dans l'échantillonnage écologique représente un outil précieux. En effet, grâce à leur résolution fine, leur capacité à atteindre des zones difficiles, leur coût abordable et le gain de temps qu’ils apportent, ils s'avèrent être un instrument précieux pour la surveillance et la préservation des écosystèmes.

Toutefois, malgré ces avancées les drones soulèvent certaines limites qu’elles soient technologiques, juridiques telles que les réglementations strictes encadrant leur usage ou éthiques avec l’impact potentiellement négatif sur certaines espèces sensibles.

Pour garantir un bon usage, des solutions apparaissent comme l’utilisation complémentaire des drones et des satellites. De plus, l’incorporation de capteurs thermiques ou infrarouges enrichit la précision des données récoltées.

Si les drones modifient déjà l'échantillonnage écologique, leur avenir pourrait être marqué par l'apparition de drones biomimétiques, conçus à partir du vol des oiseaux ou des insectes. Ces progrès pourraient faciliter une surveillance de la faune plus secrète et moins intrusive, minimisant ainsi l'effet sur les espèces vulnérables tout en optimisant la qualité des informations recueillies.

Abstract

The use of drones in ecological sampling has made great progress, offering a new perspective in monitoring species fauna and flora as well as in mapping habitats. Drones can collect accurate data and provide the opportunity to study hard-to-reach areas such as dense forests or wetlands.

They are also used to observe animal and plant population trends, map habitats, and monitor ecological hazards such as poaching or deforestation.

However, this technology can disrupt certain species which leads to legal and ethical issues as well as technical constraints such as autonomy or climatic conditions.

To overcome these limitations, we consider solutions such as combining drones and satellites or improving sensors.

If drones are already changing ecological sampling, their future could be marked by the appearance of biomimetic drones, designed from the flight of birds or insects. These advances could facilitate more secretive and less intrusive wildlife monitoring, thus minimizing the impact on vulnerable species while optimizing the quality of information collected.

Annexes

Annexe 1 : Schématisation des drones utilisés dans le domaine de l'environnement

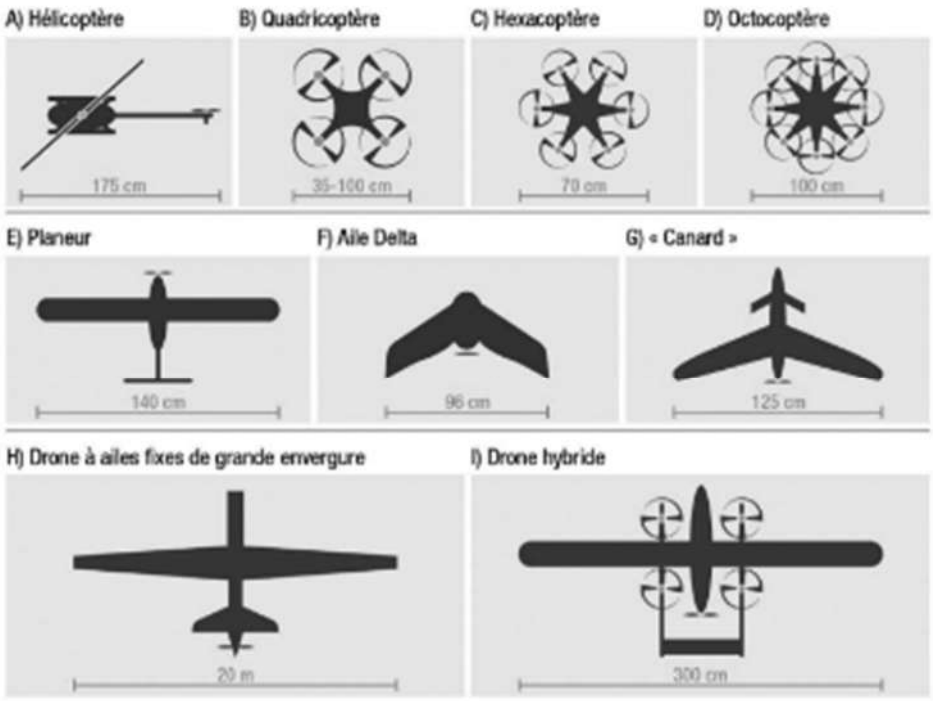


Figure 3. Schématisation de la vue en plan des différentes formes de drones et de leur taille. A à D: drones à voilure rotative de type hélicoptère ou multicoptère (multirotors). E à H: drones à voilure fixe de type avion. I: Drone hybride, permettant des déplacements à la verticale et à l'horizontale. Adaptée de Johnston (2019).

Chaque type de drone a des caractéristiques spécifiques qui le rendent adapté à des missions variées, comme la collecte de données, l'imagerie aérienne ou la surveillance des écosystèmes.

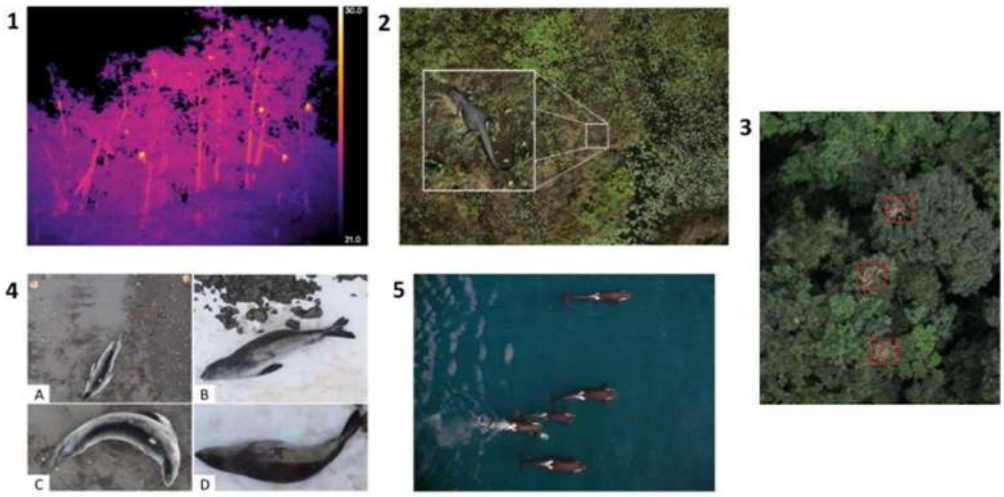
Annexe 2 : Exemples de drones utilisés pour le suivi des populations animales

Sources : (1) Koh & Wich, 2012 ; (2) Marris, 2019 ; (3) Ismail, 2017 ; (4) Palminteri, 2018 ; (5) DJI, 2018



Ces drones peuvent être équipés de caméras thermiques ou de capteurs spécifiques permettant d'observer les animaux sans les perturber, tout en recueillant des données cruciales pour les études écologiques.

Annexe 3 : Exemples d'images captées à l'aide de drones démontrant les possibilités quant à leur utilisation



Sources : (1) Fair, 2019 ; (2) Martin *et al.*, 2012 ; (3) Liverpool John Mores University, 2015 ; (4) Krause *et al.*, 2017 ; (5) Hall, 2016

Dans cette annexe, des images captées par des drones sont présentées. Ces images illustrent la capacité des drones à fournir des vues détaillées et de haute qualité, utilisées pour l'étude des populations animales et des habitats naturels. Les exemples incluent des espèces telles que les nasiques, les alligators d'Amérique, les chimpanzés, les léopards de mer et les orques, montrant comment les drones peuvent capturer ces animaux dans leur environnement naturel.

Annexe 4 : Vue aérienne des installations et piscines où les drones ont été testé.

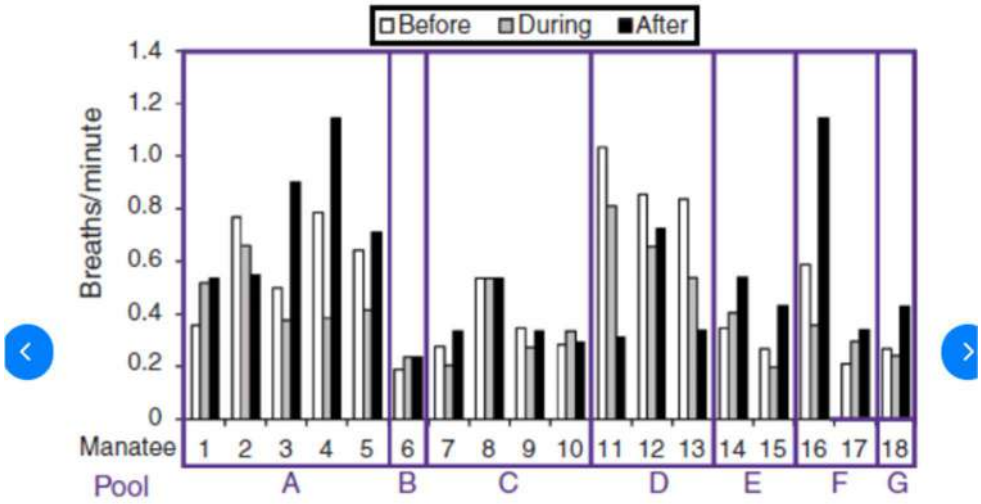


.

Les piscines sont délimitées en jaune pour montrer les zones spécifiques où les drones ont été utilisés pour observer les animaux, permettant de tester les effets des drones sur les animaux.

Annexe 5 : Fréquence de respiration des lamantins des Antilles exposées aux vols des drones

Source : Researchgate, June 2021



N=18 individus regroupés par bassin pour chacune des trois périodes d'échantillonnages. Les numéros individuels correspondent à 6=Lorenzo, 7Sabina, 8= Africa, 9=César, 10=Fabian, 11=Angel, 12=Yoltzin,13= Edgar, 14=Nicté, 15=Tunich, 18=Nohoch. Ils n'ont pas réussi à identifier les individus de 1-5 et de 16-17

Cette annexe présente les données sur la fréquence respiratoire des 18 lamantins des Antilles avant, pendant et après avoir été exposés au vol de drones. Ces données sont collectées pour évaluer l'impact du survol des drones sur les animaux.

Annexe 6 : Liste des espèces fauniques étudiées leur réponse aux vols des drones

Espèces	Drone	Capteur	Réponse au drone	Type d'étude	Références
Éléphant de savane *Loxodonta africana*	Aile Delta Gatewing X100	Caméra Ricoh GR3	Vigilance à moins de 60 m Aucun dérangement à 100 et 300 m Altitudes de 60 à 300 m	Dénombrement	Bennitt et collab. (2019) Vermeulen et collab. (2013)
Hirondelle bicolore *Tachycineta bicolor*	Quadricoptère DJI Inspire 1	Caméra intégrée du drone	Comportement agressif Distances de 1,5 m à 10 m	Réponse comportementale face au drone Réponse physiologique	Scholten et collab. (2020)
Ibis d'Australie *Threskiornis spinicollis* et plusieurs autres espèces	Quadricoptère DJI Phantom 3 Aile Delta eBee Hexacoptère DJI S900	Caméra intégrée du drone	Selon les espèces: aucune réaction, réaction à 10 m, agressivité, vocalisation agressive, attaque du drone, comportement défensif à moins de 5 m Altitudes de 5 à 120 m	Réponse comportementale face au drone	Lyons et collab. (2018)

Source : Revue des applications et de l'utilité des drones en en conservation de la faune

Cette annexe liste les espèces animales étudiées dans le cadre de l'impact des drones sur les comportements des animaux, notamment leur réponse physiologique, comme le stress ou les changements de comportement, aux survols.

Annexe 7 : 7 façons de surveiller et de protéger nos écosystèmes aves des satellites



Source : Agence spatiale canadienne

Annexe 8 : Comparaison entre l'avion, le drone et le satellite

Conclusion comparative

	Satellite	Avion	Drone
Périmètre	Plusieurs centaines de km^2	Quelques dizaines de km^2	Quelques km^2
Résolution temporelle	Quelques jours en couplant les satellites	Ponctuel sur demande	Ponctuel sur demande
Bandes spectrales	Multispectrale THR	RVB-PIR	RVB-PIR
Résolution spatiale	Environ 50 cm (dépend du satellite utilisé)	Max 10 cm	Environ 5 cm
Résultats obtenus	• Localisation • Présence/ absence	• Localisation • Présence/ absence • Détermination des espèces	• Localisation • Présence/ absence • Détermination des espèces
Limites	• Ombres portées / reflets • Couvert nuageux • Hydrologie/ turbidité • Disponibilité du satellite	• Ombres portées / reflets • Hydrologie/ turbidité • Autorisations préalables	• Ombres portées / reflets • Hydrologie/ turbidité • Autorisations préalables

Ces 3 méthodes d'acquisition sont complémentaires et peuvent ainsi être couplées en fonction des besoins. Dans tous les cas, les relevés de terrain restent indispensables. Ils permettent l'identification des espèces, l'évaluation de la biomasse et la détection des herbiers immergés que la photo-interprétation ne permet pas d'identifier.

Source : CEN :Utilisation de la télédétection pour le suivi des herbiers aquatiques

Annexe 9 : Exemple de capteurs utilisés pour la détection et le suivi des populations animales

Capteur	Type de données récoltées	Résolution du capteur d'image (mégapixels)	Résolution du capteur vidéo (mégapixels)	Prix capteur (US $)
FLIR Tau640	Images thermiques	0.33		~6 500
IRMOD v640	Vidéos thermiques		0.31	-
Nikon D90 et caméra vidéo fixe	Images et vidéos RGB	12.00	n.d.	800 (Nikon D90)
Canon S110 et FLIR Tau 2-640	Images RGB et thermiques	12.00 et 0.33		120 et ~6 000
FLIR Tau 2 LWIR	Images thermiques	0.33		~6 000
Capteur DJI ou GoPro Hero 3	Images et vidéos RGB	11.00	2.07 (1080p)	Inlcu dans la plateforme (DJI) et ~130
Canon EOS M	Images RGB	18.00		400

Sources : PhotoPrice, 2017 ; Wang *et al.*, 2019 ; Amazon, 2020a ; Amazon, 2020b ; B&H, 2020 ; Flir, 2020 ; OEM Cameras, 2020a ; OEM Cameras, 2020b

Exemples de capteurs utilisés sur les drones pour détecter et suivre les populations animales. Ces capteurs peuvent inclure des caméras thermiques, des capteurs infrarouges, des LIDAR (Light Detection and Ranging), et d'autres outils permettant de recueillir des données précises sur les animaux et leur environnement.

Bibliographie

[1] Ministère de la Transition écologique et solidaire, *Drones et espaces aériens*, 28 novembre 2019, Ministère de l'écologie,

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/Synh%C3%A8se_Sympo_2019_DSAC.pdf Consulté le 01/04/2025

[2] Charbonneau, P. & Lemaître, J. 2021, *Revue des applications et de l'utilité des drones en conservation de la faune*, Le Naturaliste canadien : Revue des applications et de l'utilité des drones en conservation de la faune - Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Consulté le 01/04/2025

[3] Emilien Alvarez Vanhard, 2021, *Les synergies de la télédétection optique par drone et satellite : changement d'échelle et application à la conservation des prairies humides*, Hal: https://theses.hal.science/tel-03604617

[4] Émilien Alvarez, Vanhard, Thomas Houet Cendrine Mon et Lucie L,15 juin 2020*, Can UAVs fill the gap between in situ surveys and satellites for habitat mapping ?* https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425720301504

Consulté le 01/04/2025

[5] Gouvernement du Canada,12 octobre 2019*, Programmes de surveillance des populations de saumon du Pacifique*, Gouvernement du Canada: https://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/pacific-smon-pacifique/science/research-recherche/population-monitoring-surveillance-fra.html

Consulté le 01/04/2025

[6] Aaron J. Wirsing, Aaron N. Johnston and Jeremy J. Kiszka, 9 février 2022, *Foreword to the Special Issue on 'The rapidly expanding role of drones as a tool for wildlife research*, csiro publish : https://www.publish.csiro.au/wr/Fulltext/WR22006 Consulté le 01/04/2025

[7] Jonathan Franchomme , novembre 2020,*Détection et suivi des populations animales par télédétection,* MCS université de Sherbrooke : https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/17771/Franchomme_Jonathan_MSc_2020.pdf?sequence=3&isAllowed=y Consulté le 01/04/2025

[8] DRONE 2i ,1 novembre 2023 , Vol en zone interdite drone : amende et réglementation, drone2i : https://drone2i.com/zones-de-vol-interdites-drone/

Consulté le 01/04/2025

[9] Katherine Sarah Christie, Sophie Louise Gilbert, 2026, Unmanned aircraft systems in wildlife research: Current and future applications of a transformative technology, ReasrchGate:https://www.researchgate.net/publication/303742613_Unmanned_aircraft_systems_in_wildlife_research_Current_and_future_applications_of_a_transformative_technology

Consulté le 01/04/2025

[10] Sarah Landeo Yauri ,Nataly, Castel blanco-Martínez, juin 2021*, Behavioural and physiological responses of captive Antillean manatees to small aerial drones*, ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/352484296_Behavioural_and_physiological_responses_of_captive_Antillean_manatees_to_small_aerial_drones Consulté le 01/04/2025

[11] Mike Wulder,10 janvier 2025, *Surveillance de la biodiversité par télédétection*, gouvernement du Canada: Surveillance de la biodiversité par télédétection - Ressources naturelles Canada

Consulté le 01/04/2025

[12] Conservatoires d'espaces naturels, Décembre 2018*, Les nouvelles technologies dans l'étude des milieux humides : exemples d'applications, cahier technique du bassin de la Loire*, Conservatoires d'espaces naturels :

https://www.natura2000.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/ct3_nouvellestechnos_vf.pdf Consulté le 01/04/2025