

Utilisation du drone pour le recensement des colonies d'oiseaux marins

Bernard Cadiou, Bretagne Vivante - Observatoire régional de l'avifaune en Bretagne & Gisom (groupement d'intérêt scientifique oiseaux marins)

1– Introduction

Ces dernières années, l'utilisation de drone suscite un intérêt croissant et a connu un développement très rapide dans des domaines très divers : photographies-vidéos (loisirs ou cadre professionnel), industrie bâtiment et travaux publics, agriculture, secours, suivis environnementaux (faune, flore, habitats, déchets...) (Mulero-Pázmány et al. 2014, Chabot & Bird 2015, Christie et al. 2016, Singh & Frazier 2018, Elliott et al. 2019, Geraeds et al. 2019, Jiménez López & Mulero-Pázmány 2019, Johnston 2019, Maes & Steppe 2019, Nowak et al. 2019, Shakhatreh et al. 2019).¹

L'engouement pour cette nouvelle technologie s'explique notamment par son coût relativement réduit et par sa facilité d'utilisation. Dans le contexte de la récolte de données scientifiques, l'utilisation des drones a été testée ces dernières années dans différentes régions du monde pour le suivi des colonies d'oiseaux marins, mais aussi d'autres espèces coloniales comme les threskiornithidés et les ardéidés. Si cette nouvelle technologie apporte d'indéniables avantages, elle est également susceptible d'engendrer le dérangement des espèces suivies (Rebolo-Ifrán et al. 2019), et cette source potentielle de dérangement doit donc être minimisée. D'où l'importance de respecter les bonnes pratiques en la matière (Hodgson & Pin Koh 2016).

L'objectif de ce document est de présenter les différents éléments à prendre en compte pour faire voler un drone en toute légalité et en toute sécurité, mais aussi d'aborder la nécessité de faire des tests de calibration entre la méthode de comptage par drone et les méthodes classiquement utilisées auparavant. Des informations sont également fournies sur les méthodes de traitement des données collectées.

2– Analyse bibliographique

La recherche bibliographique s'est faite sur Google Scholar et sur Google en utilisant principalement les mots clés suivants : seabird, drone, unmanned aerial vehicle (UAV), unmanned aircraft system (UAS), remotely piloted aircraft systems (RPAS). Cette recherche bibliographique a permis de sélectionner plusieurs dizaines de documents, principalement des articles de revues scientifiques mais aussi quelques rapports, dont une partie seulement a finalement été retenue en fonction de l'intérêt de leur contenu. Ces articles sont en majorité des études spécifiques, mais il existe aussi quelques articles de synthèse (Chabot & Bird 2015, Christie et al. 2016, Borrelle & Fletcher 2017, Mustafa et al. 2018, Harris et al. 2019, Rebolo-Ifrán et al. 2019). Des sites internet dédiés aux drones ou relatant des suivis d'oiseaux marins par drone ont également été consultés.

3– Différents types de drone

Il existe différents types de drone qui se répartissent en deux familles, les drones à voilure fixe, ou à ailes fixes, et les drones à voilure tournante, ou drones multirotors (tri, quadri, hexa ou octocoptère) (McEvoy et al. 2016, Hassanalian & Abdelkefi 2017, Jiménez López & Mulero-Pázmány 2019, Johnston 2019). Ces appareils ont des dimensions et des poids très variables. Les appareils multirotors sont adaptés pour effectuer des vols stationnaires et prendre des photos aériennes. Selon les objectifs fixés,

¹ Voir aussi le dossier « drones » paru en 2019 dans le numéro 65 la revue Espaces naturels, à télécharger sur le lien <http://www.espaces-naturels.info/espaces-naturels-65>

les drones peuvent être équipés d'un appareil photo, d'une caméra vidéo, voire même d'une caméra thermique (McEvoy et al. 2016, Israel & Reinhard 2017, Jiménez López & Mulero-Pázmány 2019, Johnston 2019, Lee et al. 2019).

Tableau 1. Familles d'oiseaux marins, dont des espèces nichent en France métropolitaine, ayant fait l'objet dans d'autres pays d'études dédiées sur les suivis par drone.

| Familles | Références des études |
|-----------|---|
| Cormorans | Irigoin-Lovera et al. 2019, Oosthuizen et al. 2020 |
| Mouettes | Sardà-Palomera et al. 2012, Valle & Scarton 2018 |
| Goélands | – colonies naturelles = Brisson-Curadeau et al. 2017, Mustafa et al. 2018, Rush et al. 2018, Valle & Scarton 2018 – colonies urbaines = Blight et al. 2019 |
| Sternes | Chabot et al. 2015, Hodgson et al. 2016, Mustafa et al. 2018, Valle & Scarton 2018, Magness et al. 2019 |
| Alcidés | Brisson-Curadeau et al. 2017 |

Tableau 2. Retours d'expérience de suivis d'oiseaux coloniaux par drone réalisés en France métropolitaine.

| Familles | Références des suivis |
|----------------------------|---|
| Cormorans | grand cormoran îlots-35 (Bretagne Vivante, R. Morel), colonie mixte cormorans-goélands-aigrette baie de Morlaix-29 (Bretagne Vivante, Y. Jacob) |
| Mouettes | mouette rieuse et mélanocéphale Languedoc-Roussillon (CEN L-R & Tour du Valat, O. Scher) |
| Goélands | – colonies naturelles = île aux Chevaux-56 et île du Pilier-85 (LPO, F. Latraube), Glénan-29 (Biotope 2018), colonie mixte cormorans-goélands-aigrette baie de Morlaix-29 (Bretagne Vivante, Y. Jacob), goéland railleur (CEN L-R & Tour du Valat, O. Scher) – colonies urbaines = Lorient-56 (Fortin et al. 2013), Lamballe-22 (Cadiou et al. 2018), Fougères-35 (Cadiou et al. 2019) |
| Sternes | sterne caugek, pierregarin, hansel et naine, Languedoc-Roussillon (CEN L-R & Tour du Valat, O. Scher), sterne pierregarin Gravelines-59 (GON, N. Legroux), sterne pierregarin marais salants-44 (Life SALLINA, P. Della Valle) |
| Alcidés | guillemots cap Fréhel-22 (Bretagne Vivante, B. Cadiou) |
| Ardéidés/Threskiornithidés | marais de Gannedel-35 (CD35, J.-F. Lebas) , colonie mixte cormorans-goélands-aigrette baie de Morlaix-29 (Bretagne Vivante, Y. Jacob) |

4– Contraintes administratives

Dans le cadre évoqué ici des suivis de colonies d'oiseaux marins pour la récolte de données scientifiques, il est impératif de respecter la réglementation.

L'intérêt de faire appel à un prestataire professionnel pour réaliser un suivi par drone est qu'il maîtrise parfaitement toute la partie administrative relative aux autorisations de survol et au dossier à déposer pour les obtenir. À défaut, il faut veiller à bien respecter la réglementation (voir sites internet ci-dessous). La réglementation distingue trois régimes : l'aéromodélisme (loisir et compétition),

l'expérimentation (développement et mise au point d'appareils) et les « activités particulières » pour toutes les autres utilisations.²

Piloter un drone : règles à respecter :

<https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F34630>

Modèles réduits et drones de loisir :

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/modeles-reduits-et-drones-loisir>

Drones - Usages professionnels :

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/drones-usages-professionnels>

Drones – activités particulières :

https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Guide_drones_activites_particulieres.pdf

Pour les suivis de colonies d'oiseaux, les intervenants devraient systématiquement se trouver dans le cadre des « activités particulières » et pas des drones de loisir.

Par ailleurs, bien qu'elle ne soit pas toujours prise en compte, l'utilisation d'un drone, même à des fins scientifiques, peut être réglementée dans des zones protégées. Pour des suivis envisagés dans des réserves naturelles, des parcs nationaux, des parcs naturels marins, des sites bénéficiant d'un arrêté de protection de biotope, des zones Natura 2000, il peut s'avérer nécessaire de respecter un certain nombre de restrictions ou de recommandations en vigueur sur le site. Certains pays ont même interdit leur usage dans les sites sensibles suite à de nombreux dérangements constatés (Islande ; Scher 2019).

Le site Géoportail propose d'ailleurs une cartographie des zones ouvertes à la pratique du drone de loisirs en France <https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/restrictions-pour-drones-de-loisir>.

Dans le cas du suivi de colonies urbaines de goélands, la réglementation du survol en milieu urbain est plus stricte qu'en milieu naturel, et il faut aussi prendre en compte l'existence de zones militaires dans certains ports du littoral français.

5– Modalités de suivi et réponse des oiseaux

5.1– Évaluation de la réponse des oiseaux

5.1.1– Réponse comportementale

La réponse comportementale des oiseaux peut être notée en utilisant cinq différents niveaux (Rummler et al. 2016, Weimerskirch et al. 2018) :

- Pas de réaction (0) : l'oiseau reste au repos (bec sous les plumes, yeux fermés), ou montre un comportement de toilettage ou un comportement reproducteur (parade, construction ou réarrangement du nid, roulage des œufs ou réajustement du couveur sur des poussins, nourrissage...);
- Vigilance (1) : l'oiseau a les yeux ouverts et effectue des mouvements horizontaux de la tête qui indiquent qu'il scrute son environnement ;

² Voir aussi le dossier « drones » paru en 2019 dans le numéro 65 la revue Espaces naturels, à télécharger sur le lien <http://www.espaces-naturels.info/espaces-naturels-65>

- Observation du drone (2) : l'oiseau a des mouvements de la tête vers le haut, il regarde et suit du regard le drone ;
- Comportement agonistique (3) : l'oiseau montre un comportement agressif envers le drone (et pas envers ses congénères), avec des menaces du bec, des cris ou des mouvements des ailes ;
- Fuite (4) : l'oiseau quitte son nid et laisse ses œufs et poussins à découvert, et donc exposés aux variations d'ambiance thermique ou aux prédateurs, ou dans le cas des poussins et des non-reproducteurs rassemblés en crèche ou sur des reposoirs ou sur des clubs, l'oiseau quitte son reposoir en réaction à la présence du drone.

Irigoin-Lovera et al. (2019) ont également pris en compte cinq différents niveaux dans le cadre du suivi d'une colonie de cormorans, pélicans et fous :

- Pas de réaction notable (0) ;
- Observation du drone (1) : l'oiseau pointe la tête en direction du drone ;
- Battements d'ailes (2) : l'oiseau bat des ailes ;
- Déplacement (3) : l'oiseau se déplace en marchant ou en courant ;
- Envol (4) : l'oiseau décolle.

Lorsqu'un oiseau montre plusieurs de ces réactions, seul le score le plus élevé est retenu.

Chabot et al. (2015) ont pris en compte trois différents niveaux de réponse comportementale dans le cadre du suivi d'une colonie de sternes :

- Pas de réaction notable (0) ;
- Dérangement modéré (1) : envols localisés ou agitation notable des oiseaux concernant moins de la moitié de la colonie ;
- Dérangement important (2) : envols des oiseaux sur la quasi-totalité ou la totalité de la colonie, notamment avec des « envols panique » soudains et silencieux, les oiseaux se mettant ensuite à crier après avoir pris de l'altitude.

Rush et al. (2018) ont répertorié sur les vidéos enregistrées lors des survols trois différents niveaux de réponse comportementale dans le cadre du suivi d'une colonie de goélands :

- « saut de puce » : le goéland s'envole brièvement (moins de 10 s) et se repose ailleurs dans la colonie ;
- vol : le goéland s'envole et reste en l'air pendant plus de 10 s, mais sans s'approcher du drone ;
- attaque : le goéland s'envole agressivement en direction du drone (une seule réelle attaque a été notée dans cette étude).

Le comportement des oiseaux doit d'abord être enregistré avant le décollage du drone, puis lors du vol, puis après le vol pour évaluer correctement l'impact du drone (Rush et al. 2018, Weimerskirch et al. 2018). En effet, dans une colonie en situation normale sans dérangement avéré, certains oiseaux sont en état de vigilance tandis que les autres n'en montrent aucun signe.

Brisson-Curadeau et al. (2017) ont mis en évidence que les goélands à ailes blanches alarmaient dès que le drone arrivait à une trentaine de mètres de distance, mais que les oiseaux se reposaient dans un délai de 3 mn environ. Dans ce cas de figure, il est donc préconisé d'attendre au moins 5 mn, le temps que la colonie retrouve son calme, avant de commencer les comptages.

Lors d'un test de suivi par drone des guillemots de Troïl nicheurs dans les falaises du cap Fréhel (Côtes d'Armor) en 2014, l'envol et les cris des goélands qui étaient en reposoir au pied des falaises mettaient en alerte les guillemots couveurs. Les oiseaux semblaient en position d'incubation sur l'écran de contrôle du drone, mais l'examen ultérieur des photos a mis en évidence qu'en fait ils étaient en alerte et donc en position légèrement relevée et par conséquent difficiles à identifier comme couveur potentiel ou pas (B. Cadiou, obs. pers.). Il aurait sans doute fallu attendre quelques minutes de plus avant de faire les prises de vue.

Des recensements par drone menés à Gravelines (Nord) en 2018 et 2019 sur des colonies de sterne pierregarin ont montré des réactions totalement différentes des oiseaux entre les deux survols malgré un modèle de drone et un protocole d'intervention identique (N. Legroux comm. pers.). En 2018, les toits où est implantée la colonie ont été survolés à deux reprises (pic des couveurs/jeunes) à 25 mètres de hauteur, sans dérangement visible (absence d'envol). En 2019, le survol de la colonie située à proximité de ces toits a engendré des vols répétés malgré une hauteur de vol supérieure (70 mètres) et la stabilisation du drone plusieurs minutes pour habituer les oiseaux. Les dérangements réguliers (goélands, fréquentation humaine) constatés sur cette colonie pendant la saison de nidification augmentent le degré de sensibilité de la sterne pierregarin vis-à-vis du survol par drone. En Loire-Atlantique, le survol de colonies de sterne pierregarin a également mis en évidence des différences de réaction des individus selon les colonies (P. Della Valle comm. pers.). Une sensibilité accrue des oiseaux pour des colonies soumises à des dérangements fréquents a aussi été notée chez les goélands (B. Degonne comm. pers.).

5.1.2– Réponse physiologique

La réponse physiologique des oiseaux au survol d'un drone a été analysée dans quelques études, mettant en évidence qu'une absence de réponse comportementale ne traduit pas nécessairement une absence de stress, comme par exemple une augmentation du rythme cardiaque, de la fréquence respiratoire ou des hormones de stress, notamment la corticostérone (Mustafa et al. 2018, Weimerskirch et al. 2018).

5.2– Évaluation de l'effet du drone et des paramètres de trajectoire de vol

5.2.1– Forme et couleur du drone

Les drones à voilure fixe ont un aspect qui peut être proche de la silhouette d'un prédateur, et peuvent donc engendrer une réaction plus prononcée des oiseaux survolés (McEvoy et al. 2016).

Vas et al. (2015) n'ont pas mis en évidence de différence de réaction des oiseaux en fonction de la couleur du drone.

5.2.2– Distance entre le point de décollage et la colonie

Si, le plus souvent, le drone est utilisé depuis la terre, il est possible de le faire décoller depuis un bateau, soit directement depuis le pont soit en utilisant une table pliante ou un autre support qui servira de piste de décollage.

Les phases de décollage et de changements d'altitude sont susceptibles d'engendrer une réponse des animaux, et doivent donc être effectuées dans la mesure du possible en dehors de la colonie (Mustafa et al. 2018). Une distance minimale de 100 m est préconisée, et si possible hors de la vue des espèces ciblées (Vas et al. 2015, Hodgson & Pin Koh 2016, Hodgson et al. 2016, Rümmler et al. 2016, Mulero-

Pázmány et al. 2017, Mustafa et al. 2018, Irigoien-Lovera et al. 2019). En falaise, le point de décollage doit être situé à au moins 20 m de la zone d'étude (Brisson-Curadeau et al. 2017).

5.2.3– Hauteur de vol

Weimerskirch et al. (2018) ont mis en évidence qu'à 50 m une seule espèce sur les onze espèces étudiées (manchots, albatros, pétrel, cormoran, labbe) montrait une réaction significative. Et à 10 m, la majorité des espèces montre une nette réaction comportementale. Les espèces qui se reproduisent en colonies importantes et bruyantes apparaissent moins sensibles que les espèces qui se reproduisent de manière plutôt isolées (Mustafa et al. 2018, Weimerskirch et al. 2018).

Une hauteur de vol de l'ordre de 30-40 m au-dessus du sol ne génère généralement pas de réaction des oiseaux sur leurs nids (Sardà-Palomera et al. 2012, Rush et al. 2018, Irigoien-Lovera et al. 2019). Pour certaines espèces (goélands, sternes), et dans certaines conditions (niveau de dérangement de la colonie hors contexte du survol par drone), il est possible de descendre à 15 m, voire même plus bas, sans dérangement, et sans aucun cas de prédation ou de cannibalisme sur les pontes chez les goélands (Piec 2018, Rush et al. 2018, Magness et al. 2019). Ainsi, contrairement aux survols réalisés à plus grande hauteur, seuls les survols à environ 15 m ont permis de distinguer sur les photos la sterne arctique de la sterne des aléoutiennes (Magness et al. 2019). Chez l'huîtrier-pie, espèce qui peut nicher sur les zones que les oiseaux marins, les couveurs quittent leur nid même lorsque le drone vole à plus de 50 m, et les oiseaux peuvent venir houspiller le drone (Valle & Scarton 2019).

Dans le cadre de tests de suivi de colonies mixtes (sternes, goélands et mouettes) réalisés dans l'Hérault en 2019, huit îlots ont été survolés de manière identique, avec un déplacement jusqu'à l'îlot à 80 m de haut puis une descente au-dessus de ce dernier à 25-30 m. Les photos ont été réalisées à cette hauteur lors d'un survol rectiligne permettant de couvrir tout l'îlot. Aucune réaction n'a été observée dans les colonies (O. Scher comm. pers.). Le même constat avait été fait lors d'un essai de survol jusqu'à 40 m d'altitude d'une colonie mixte de mouettes et de sternes en 2014 sur les salines de Villeneuve. L'appareil photo professionnel embarqué ne nécessitait pas de descendre plus bas pour avoir une très bonne résolution (Scher, 2015).

La hauteur de vol retenue doit être atteinte et maintenue constante avant l'arrivée au-dessus de la colonie, ou en face de la colonie pour les suivis en falaise.

Pour les suivis en falaise, Brisson-Curadeau et al. (2017) préconise une distance horizontale de 20-25 m avec un petit drone de moins de 2 kg. Pour la réalisation d'une orthophoto au cap blanc Nez (Pas-de-Calais), la distance horizontale était de 45 m de la falaise. Les résultats sont suffisamment précis pour pointer via ArgGIS les sites de nidification d'oiseaux marins (fulmar boréal, mouette tridactyle ; N. Legroux comm. pers.). Babcock et al. (2020) considère une distance horizontale de 35-50 m comme optimale.

Il convient donc de trouver le compromis entre les objectifs de l'étude qui ont été fixés, et donc le niveau de précision en termes de qualité d'image, et la hauteur de vol la plus élevée possible. Avec les améliorations technologiques dans les années à venir, il sera certainement possible d'obtenir des images de qualité suffisante en volant plus haut (Rush et al. 2018).

5.2.4– Vitesse de vol et type de vol

Il apparaît que des changements soudains de l'intensité sonore du drone sont plus susceptibles d'engendrer une réponse des animaux, qu'il s'agisse du vrombissement de l'appareil ou du bruit généré lorsque le télépilote cherche à maintenir la position de l'appareil dans une rafale de vent (Mustafa et al. 2018). Il est donc préférable de privilégier les petits appareils les moins bruyants.

L'expérience du télépilote, qui maîtrise parfaitement son appareil, est donc un élément important afin d'avoir une allure régulière et de limiter les risques d'accélération soudaine de l'appareil, ou de changement brusque de direction de vol ou de hauteur de vol.

Les vitesses de vol sont plus élevées pour les drones à voilure fixe, soit environ 30 à 70 km/h selon les études (Sardà-Palomera et al. 2012, Chabot et al. 2015, Blight et al. 2020). Pour les drones à voilure tournante, les vitesses varient d'environ 2 à 50 km/h selon les études, le plus souvent de l'ordre de 10 à 20 km/h (Hodgson et al. 2016, Brisson-Curadeau et al. 2017, Weimerskirch et al. 2018, Rush et al. 2018, Cadiou et al. 2019, Irigoien-Lovera et al. 2019).

L'angle d'approche est également important et l'approche horizontale en direction des espèces ciblées est conseillée, l'approche verticale étant particulièrement déconseillée car source de réaction importante des oiseaux (Vas et al. 2015).

Le temps de vol doit être le plus court possible, et il est possible de paramétrer un plan de vol permettant ainsi au drone d'effectuer automatiquement les transects paramétrés pour assurer la couverture complète de la zone d'étude, en s'assurant bien d'une superposition partielle des bordures des photos des transects successifs, afin de permettre leur assemblage et afin d'éviter de rater des nids. Actuellement, l'autonomie des batteries est de l'ordre d'une vingtaine de minutes.

6– Traitement des données

Le traitement des données peut se faire par une analyse visuelle et manuelle des photos, mais des outils d'analyse spatiale peuvent être utilisés pour faciliter le travail de traitement des images. La première étape consiste à assembler les photos et la deuxième étape consiste à repérer les oiseaux et les nids.

6.1– Assemblage des photos

Le prestataire qui réalise le survol par drone peut fournir un assemblage des photos ou fournir les photos non assemblées. Il existe des logiciels qui permettent de faire cet assemblage pour obtenir une orthomosaïque, comme par exemple PTGui (Chabot et al. 2015), Pix4D (Afán et al. 2018, Lyons et al. 2019) ou Agisoft PhotoScan (Rush et al. 2018, Oosthuizen et al. 2020). Pour que l'assemblage soit faisable, il faut nécessairement un recouvrement des photos, vers l'avant et sur les côtés, dont le pourcentage varie selon les études (Singh & Frazier 2018). Cet assemblage des photos prises par drone peut être très chronophage (O. Scher comm. pers.).

Pour faciliter le calage de l'assemblage des photos, il peut s'avérer utile de positionner, avant la saison de reproduction, dans ou autour de la colonie des points de contrôle au sol, repères facilement identifiables sur les photos aériennes, et de relever leur position au GPS (Sardà-Palomera et al. 2012, 2017, Rush et al. 2018).

La résolution des photos doit être de l'ordre de 0,5-1 à 3-4 cm/pixel en fonction de la taille des espèces et des besoins d'identification de différentes espèces assez similaires d'aspect (Chabot et al. 2015, Chabot & Francis 2016, Afán et al. 2018, Hodgson et al. 2018, Rush et al. 2018, Blight et al. 2019, Lyons et al. 2019, Magness et al. 2019). Ce besoin d'images en haute résolution, pour pouvoir zoomer pour vérifier le repérage des oiseaux et des nids, engendre une contrainte en termes de puissance des ordinateurs pour traiter les données et en termes de capacités de stockage et d'archivage des images.

6.2– Repérage des oiseaux et des nids

Le repérage des oiseaux, et l'identification des espèces, sur les photos se fait d'après la couleur et la forme. Le contraste entre les oiseaux, et leurs nids, et le substrat ou le couvert végétal est un élément important pour le repérage des reproducteurs sur les photos (Grenzdörffer 2013).

Si le nombre de nids n'est pas trop important, le comptage peut se faire à la main sur un tirage papier des photos ou de l'orthomosaïque, tout en examinant les photos à l'écran sur un ordinateur. Pour faciliter le comptage sur les photos, il est possible de générer un quadrillage, puis de faire le dénombrement des nids carré par carré (par exemple 50 × 50 m ; Lyons et al. 2019). Des logiciels, comme par exemple GIMP, ImageJ, Photoshop, ArcGIS, QGIS, peuvent être utilisés pour faire les comptages manuels sur les photos à l'écran sur un ordinateur, en utilisant l'outil comptage, avec différents calques ou différentes couleurs des points en fonction des différentes espèces présentes.

Les points identifiés peuvent être classés en 3 catégories (Sardà-Palomera et al. 2012) : nid certain (base de nid visible et oiseau en position de couveur), nid probable (oiseau en position de couveur mais pas de base de nid visible), pas de nid (oiseau debout et pas de matériaux de nid visibles).

Il est possible d'automatiser la reconnaissance des oiseaux sur les photos (Chabot & Francis 2016, Dujon & Schofield 2019, Lyons et al. 2019), voire d'identifier les différentes espèces présentes, d'après leur spectre de couleur, et le procédé utilisé est plus ou moins complexe et nécessite d'être testé et validé en comparant les résultats avec un comptage visuel (Grenzdörffer 2013, Afán et al. 2018, Hodgson et al. 2018, Rush et al. 2018, Hong et al. 2019). Lors du repérage visuel, les principales sources d'erreur concernent le repérage d'éléments « oiseaux » qui n'en sont pas (morceaux de bois, pierres, taches de végétation claire...) mais aussi l'absence de repérage de certains nids (oiseaux dans des zones d'ombre, oiseaux momentanément absents de leur nid...) (Sardà-Palomera et al. 2012, Grenzdörffer 2013, Hong et al. 2019). L'existence de zones floues sur certaines photos, ou une résolution d'image insuffisante (pixellisation qui ne permet pas de voir correctement des détails de la photo en zoomant), peuvent compliquer le repérage des oiseaux et des nids. Pour la distinction des goélands argentés et des goélands bruns, la couleur apparente des oiseaux sur les photos peut varier en fonction de la couverture nuageuse (B. Cadiou, obs. pers.). Ainsi, avec un ciel couvert les couleurs sont normales (gris argenté vs gris foncé), alors qu'avec un temps ensoleillé les clichés peuvent être surexposés et les parties supérieures des goélands argentés peuvent apparaître plutôt blanches tandis que celles des goélands bruns apparaissent alors plutôt gris argenté.

Lors de l'identification des oiseaux en position apparente d'incubation, le risque est l'identification des partenaires posés ou des non-reproducteurs posés comme étant des « couveurs ». Il faut donc bien choisir la période optimale de la journée en fonction du cycle d'activité des oiseaux pour que les partenaires des couveurs soient en majorité hors de la colonie à se nourrir (Sardà-Palomera et al. 2012). Il est également possible de réaliser plusieurs vols, à 20 minutes ou 1 heure d'intervalle, pour identifier les non-reproducteurs, en ne retenant comme nid actif que les points qui sont identifiés à la même position sur les photos ou vidéos successives (Sardà-Palomera et al. 2012, 2017, Piec 2018). Un suivi précis sur une zone échantillon, avec survol et prospection à pied, peut aussi permettre de calculer un ratio entre le nombre d'oiseaux présents et le nombre de nids, ratio qui peut être utilisé pour estimer le nombre de nids à partir du nombre total d'individus dénombrés (Biotope 2018).

Si les résultats présentés par Chabot et al. (2015) indiquent que les comptages aériens permettent d'identifier de 91 à 97 % des nids de sternes détectés par prospection dans la colonie, Piec (2018) obtient des résultats totalement différents, avec 22 à 167 % de « nids » en plus pour les comptages aériens par rapport aux comptages terrestres. Parmi les explications possibles, Piec (2018) met en avant la qualité des images, la technique retenue (photo ou vidéo) et le biais lié à l'observateur. Sur les îlots faiblement végétalisés, l'identification des individus couveurs est facilitée, même sans repérage particulier d'un nid comme dans le cas des sternes qui ne font que des cuvettes (O. Scher,

comm. pers.). Pour les sternes, des drones performants permettent de distinguer la « cuvette » du couveur afin de certifier de la reproduction de l'individu (N. Legroux comm. pers.).

Lorsque la hauteur de végétation ne permet pas la visualisation des nids, une caméra thermique installée sur le drone permet de détecter les adultes sur les nids ou les œufs si l'adulte s'est envolé, ce qui se produit fréquemment chez les sternes sans aucune raison apparente (N. Legroux comm. pers.).

Les oiseaux debout peuvent être identifiés et distingués des oiseaux en position couchée si une ombre se dessine à côté d'eux, mais la végétation à proximité d'un nid peut aussi générer une ombre, ce qui est source d'erreur (Grenzdörffer 2013, O. Scher, comm. pers. ; cf. annexe). Il est possible de ne pas prendre les photos vraiment à la verticale mais avec un léger angle afin de visualiser les oiseaux un peu plus sur leur profil pour faciliter l'identification des couveurs ou des différentes espèces présentes (Magness et al. 2019). Pour des suivis en falaises, Babcock et al. (2020) considère comme optimal un angle de prise de vue de 10° par rapport à l'horizontale. La prise de vidéos à la place de photos permet aussi d'avoir des informations comportementales qui peuvent aider à identifier un couveur potentiel (Piec 2018).

En termes de temps nécessaire à l'exploitation des données, le comptage par espèce peut être très chronophage. Cet aspect s'améliore avec l'expérience, mais reste long dans le cas de colonies denses et multi-spécifiques (de 2 à 6 h par îlot ; O. Scher comm. pers.).

Quelques études ont également évalué les possibilités d'utiliser des drones pour obtenir des données sur le taux de nids avec éclosion (Sardà-Palomera et al. 2017), ou pour dénombrer des poussins, et donc estimer la production en jeunes, en utilisant des drones (Goebel et al. 2015, Piec 2018, Valle & Scarton 2018).

7– Recommandations

L'utilisation du drone est effectivement une nouvelle technologie qui peut faciliter le suivi des colonies d'oiseaux marins, en procurant différents avantages par rapport aux méthodes classiques utilisées auparavant. Les intérêts de l'utilisation du drone sont principalement un temps de prospection sur le terrain généralement plus réduit que pour les méthodes classiques de prospection dans la colonie ou d'observation à distance, un dérangement des oiseaux bien moindre que lors d'une prospection dans la colonie, la possibilité d'explorer des sites de reproduction difficilement accessibles, une précision des comptages similaire ou plus élevée, un archivage d'images géoréférencées permettant des analyses spatio-temporelles, et un coût global généralement plus réduit. Selon la typologie des colonies, et notamment le couvert végétal, les résultats des comptages par drone donnent des effectifs généralement supérieurs, parfois similaires ou inférieurs, aux comptages à distance ou par prospection dans la colonie.

L'utilisation du drone doit rester une méthode parmi d'autres, particulièrement efficace dans le cadre de suivis sur des sites complexes ou inaccessibles. Elle ne doit pas se substituer aux méthodes classiques, souvent plus appropriées dans la plupart des cas.

Si le principe de précaution conduit à interdire l'usage de drones de loisir sur les colonies d'oiseaux marins, l'usage de drones à des fins scientifiques doit donc se faire de manière appropriée, sans engendrer d'effets négatifs, tant à court terme (à l'échelle de la saison de reproduction) qu'à plus long terme (effets cumulés). Et ce, d'autant plus que les espèces ciblées peuvent avoir un statut de conservation défavorable.

Les recommandations formulées sont issues des conclusions des articles consultés, notamment les articles de synthèse, des autres sources d'information en ligne consultée sur internet ou des retours d'expérience de suivis réalisés en France métropolitaine.

- Le télépilote doit être bien entraîné et expérimenté. Le suivi d'une colonie d'oiseaux marins par drone ne doit pas être réalisé par un télépilote qui débute dans l'utilisation de ce type d'appareil.
- Le suivi par drone doit être effectué par au moins deux personnes, un télépilote qui gère l'appareil, et un observateur, qui supervise le déroulement du vol et l'éventuelle réaction des oiseaux, ainsi que le comportement des éventuels prédateurs présents sur la zone d'étude. Si un dérangement trop important est constaté, ou que des cas de prédation sont observés, le survol doit être stoppé.
- Il faut éviter d'utiliser plus d'un drone à la fois pour limiter les facteurs de stress avec un dérangement provenant simultanément de différentes sources et de différentes directions.
- Comme la réaction face au drone varie selon les espèces, dans le cas des colonies plurispécifiques il faut donc toujours prendre en compte l'espèce la plus sensible pour définir les paramètres de vol et minimiser les risques de dérangement.
- Il convient de réaliser au préalable un inventaire exhaustif des espèces présentes sur et aux environs du site de survol et d'exclure toute intervention sur des sites de nidification d'espèce sensible, comme le faucon pèlerin par exemple, ou tout au moins de s'assurer d'une absence de réaction immédiate dès la phase de décollage.
- Autre élément à prendre en compte, la réaction face au drone peut aussi varier pour une même espèce selon le statut et l'âge des oiseaux (reproducteurs, non-reproducteurs, poussins) ainsi que l'état de stress des oiseaux et la fréquence de dérangement d'une colonie (cf. 5.1.1). Les paramètres de vol peuvent donc être différents pour une même colonie à différentes périodes de la saison de reproduction ou pour une même espèce sur différentes colonies en fonction de la sensibilité des oiseaux. Avant l'intervention du drone, le stress des oiseaux doit être évalué afin d'adapter ou de reporter l'intervention. La tranquillité des oiseaux doit primer sur l'étude par drone.
- Pour un recensement des colonies de goélands ou de sternes, il faut réaliser les survols en période d'incubation car c'est très difficile de localiser les poussins hors des nids sur les photos aériennes.
- La zone de décollage doit être située, dans la mesure du possible, à 100 m de la colonie. Si la topographie des lieux ne le permet pas il faut trouver la zone adéquate la plus éloignée possible.
- Le vol d'approche doit se faire à l'horizontal, dans la mesure du possible, et jamais à la verticale.
- La hauteur de vol retenue (le plus haut possible tout en gardant une définition suffisante pour le repérage des nicheurs sur les photos ; c.f. 6.1) doit être atteinte et maintenue constante avant l'arrivée au-dessus ou en face de la zone d'étude.
- Pour les colonies de surface importante, qui nécessitent plusieurs passages pour assurer une couverture complète, il convient de privilégier la programmation d'un plan de vol pour qu'il s'effectue de manière automatisée et autonome, au lieu de réaliser le vol en mode manuel.
- Avant de commencer le suivi directement, il est possible d'attendre quelques minutes avec le drone en vol pour laisser le temps aux oiseaux de « s'habituer » à sa présence. Cela s'avère notamment nécessaire en cas de présence de goélands en reposoir à proximité, car ce seront les premiers et alarmer ou à s'envoler, mettant en alerte les autres goélands ou les autres espèces en train de couvrir.
- Le protocole de suivi par drone doit être écrit de manière détaillée avant le survol (type de drone, distance de décollage par rapport à la colonie, hauteur de vol par rapport aux nids, vitesse de vol, nombre de vols réalisés et durée de chaque vol, type de prises de vue réalisées, photo ou vidéo ; cf. Barnas et al. 2020 pour des préconisations détaillées), incluant la calibration avec les méthodes classiques de comptage et l'évaluation du dérangement (réponse comportementale des oiseaux avant, pendant et après le vol). Ce protocole de suivi peut être complété, si besoin, par d'autres éléments le jour du survol. Les modalités de traitement des images collectées durant le survol, photos ou vidéos,

doivent également être renseignées (voir détails dans la partie « Définition du protocole expérimental » ; cf. Barnas et al. 2020 pour des préconisations détaillées).

– Le suivi doit être réalisé à la fois par drone et par la méthode précédemment utilisée sur la colonie ciblée, dans la mesure du possible le même jour ou à défaut à quelques jours d'intervalle, afin de permettre une comparaison des résultats. Le suivi par drone doit être effectué avant le suivi par prospection dans la colonie.

– Pour les espèces pour lesquelles le nid n'est pas vraiment identifiable sur des photos aériennes, il faut programmer le survol par drone à la période de la journée la plus optimale, quand le partenaire du couveur est hors de la colonie à se nourrir, soit en général le matin.

8– Définition du protocole expérimental pour la comparaison des suivis par drone avec les méthodes classiques

L'objectif de ce protocole est de calibrer la méthode de suivi par drone avec les méthodes classiques afin de comparer les résultats obtenus et de s'assurer la fiabilité de cette nouvelle méthode, mais aussi d'identifier d'éventuelles contraintes ou d'éventuelles restrictions. Cette calibration est à faire lors de la mise en place d'un suivi par drone, mais elle n'est pas à renouveler les années suivantes si la méthode est validée et reconduite.

8.1– Planification des suivis

– Le suivi par drone doit être effectué, dans la mesure du possible, le même jour que le suivi par prospection à pied dans la colonie ou par observation à distance (par exemple juste avant), ou à défaut à quelques jours d'intervalle (mais toujours avec le suivi par drone avant la prospection dans la colonie).

– La typologie de la colonie suivie (topographie, substrat, nature et hauteur du couvert végétal) doit être renseignée, car c'est un élément à prendre en compte pour le repérage des couveurs.

8.2– Suivi par drone

– Évaluer le temps de préparation du suivi.

– Évaluer la surface à couvrir pour s'assurer de disposer d'un nombre suffisant de batteries pour réaliser la totalité du suivi.

– Consigner les informations sur le type de drone utilisé (modèle, dimension et poids), la hauteur de vol (ainsi que la distance horizontale si c'est en falaise), vitesse de vol, la distance entre le point de décollage et la colonie, si le décollage se fait de terre ou d'un bateau, le plan de vol défini, le type de vol (manuel ou automatique) et le type d'images collectées (photo, vidéo, caméra thermique).

– Noter le nombre de vols effectués, le temps de prise de vue (durée moyenne d'un vol) et la surface couverte (surface calculée ou ordre de grandeur).

– Dans le cas du survol successif de plusieurs colonies, bien noter le parcours du drone (îlot 1, 2 à n) pour s'y retrouver dans les photos à la fin de la mission.

– Noter le nombre de personnes mobilisées sur le terrain et leurs rôles respectifs (télépilote, observateur...).

- Noter la réaction, ou l’absence de réaction, des oiseaux : nombre de couveurs qui se lèvent ou qui quittent leur nid, et autres manifestations comportementales, avant, pendant et après le survol.
- Consigner les éventuels cas de prédation sur les œufs ou les petits poussins.
- Calibration à faire sur l’ensemble de la colonie ou sur des placettes échantillons (placettes circulaires d’un rayon de 5 m par exemple, quadrats ou zones topographiquement bien délimitées) pour comparer les résultats du comptage par drone et du comptage par prospection à pied (Sardà-Palomera et al. 2012, Chabot et al. 2015, Goebel et al. 2015, Hodgson et al. 2016, 2018). Dans le cas d’une calibration sur des placettes circulaires, les repères positionnés en début de saison peuvent servir pour ces placettes échantillons (Chabot et al. 2015). Pour les petites colonies, il faut privilégier un comptage exhaustif dans la colonie. Pour les grandes colonies, il est possible d’opter pour des placettes échantillons ou des transects.
- Préciser la méthode, manuelle ou automatisée, utilisée pour identifier l’unité de recensement définie, préciser les éléments pris en compte pour distinguer les couveurs et les oiseaux au repos, et toutes les autres éventuelles informations utiles.
- Évaluer le temps d’analyse des clichés (nombre de personnes impliquées, temps d’analyse, élaboration du bilan final).

8.3– Suivi par prospection dans la colonie ou par observation à distance

- Évaluer le temps de préparation du suivi.
- Évaluer le temps passé pour la prospection à pied de l’ensemble de la colonie (temps passé multiplié par nombre d’observateurs impliqués) ou pour l’observation à distance.
- Noter le nombre de personnes mobilisées sur le terrain et leurs rôles respectifs (observateur...).
- Consigner les éventuels cas de prédation sur les œufs ou les petits poussins.
- Évaluer le temps d’analyse des tickets du comptage à pied (nombre de personnes impliquées, temps de saisie, élaboration du bilan final).

8.4– Comparaison des résultats

- Comparer le temps passé et les résultats des dénombrements réalisés par les deux méthodes, pour évaluer si les deux méthodes donnent des résultats similaires ou si l’une des méthodes est plus précise que l’autre en termes de détection des couples nicheurs.
- Bien évidemment, il est important de rédiger un rapport présentant de manière détaillée le suivi réalisé et de le diffuser, voire si possible de rédiger un article pour une revue.

Remerciements

Merci à Antoine Chabrolle, Benoist Degonne, Philippe Della Valle, Yann Jacob, Franck Latraube, Nathan Legroux, Régis Morel et Olivier Scher pour leurs retours d’expérience sur les suivis par drone et pour les compléments apportés lors de la rédaction du document.

Bibliographie

- Afán, I., Máñez, M., & Díaz-Delgado, R. (2018). Drone monitoring of breeding waterbird populations: the case of the glossy ibis. *Drones*, 2, 42.
- Babcock, M., Aitken, D., Kite, K., & Clarkson, K. 2016. Flamborough and Filey Coast pSPA Seabird Monitoring Programme. 2016 Report. RSPB, 41 p.
- Barnas, A., Chabot, D., Hodgson, A., Johnston, D. W., Bird, D. M., & Ellis-Felege, S. N. (2020). A standardized protocol for reporting methods when using drones for wildlife research. *Journal of Unmanned Vehicle Systems* (online first article).
- Biotope. (2018). Étude des populations d'oiseaux nicheurs de l'île du Loc'h. Rapport Biotope, Bolloré SA, 33 p.
- Blight, L. K., Bertram, D. F., & Kroc, E. (2019). Evaluating UAV-based techniques to census an urban-nesting gull population on Canada's Pacific coast. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 7, 312-324.
- Borrelle, S. B., & Fletcher, A. T. (2017). Will drones reduce investigator disturbance to surface-nesting seabirds? *Marine Ornithology*, 45, 89-94.
- Brisson-Curadeau, É., Bird, D., Burke, C., Fifield, D. A., Pace, P., Sherley, R. B., & Elliott, K. H. (2017). Seabird species vary in behavioural response to drone census. *Scientific Reports*, 7, 17884.
- Cadiou, B., & Faurent, P. (2018). Bilan du recensement des goélands nicheurs sur les toits de Lamballe (Côtes d'Armor) et de la campagne expérimentale de stérilisation des œufs à l'aide d'un drone en 2018. Rapport Bretagne Vivante, Civic Drone, 9 p.
- Cadiou, B., Jorigné, B., & Degonne, B. (2019). Bilan du recensement des goélands nicheurs sur les toits de l'agglomération de Fougères (Ille-et-Vilaine) en 2019. Rapport Bretagne Vivante, SkyRoad Production, 14 p.
- Chabot, D., & Bird, D. M. (2015). Wildlife research and management methods in the 21st century: Where do unmanned aircraft fit in? *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3, 137-155.
- Chabot, D., & Francis, C. M. (2016). Computer-automated bird detection and counts in high-resolution aerial images: a review. *Journal of Field Ornithology*, 87, 343-359.
- Chabot, D., Craik, S. R., & Bird, D. M. (2015). Population census of a large common tern colony with a small unmanned aircraft. *PloS One*, 10, e0122588.
- Christie, K. S., Gilbert, S. L., Brown, C. L., Hatfield, M., & Hanson, L. (2016). Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14, 241-251.
- Dujon, A. M., & Schofield, G. (2019). Importance of machine learning for enhancing ecological studies using information-rich imagery. *Endangered Species Research*, 39, 91-104.
- Elliott, K. C., Montgomery, R., Resnik, D. B., Goodwin, R., Mudumba, T., Booth, J., & Whyte, K. (2019). Drone use for environmental research. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 7, 106-111.
- Fortin, M., Leicher, M., & Cadiou, B. (2013). Recensement des colonies de goélands urbains de l'agglomération lorientaise. Communes de Lorient, Lanester & Caudan. Rapport Bretagne Vivante, Gisom, Séné, 48 p.
- Geraeds, M., van Emmerik, T., de Vries, R., & bin Ab Razak, M. S. (2019). Riverine plastic litter monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs). *Remote Sensing*, 11, 2045.

- Goebel, M. E., Perryman, W. L., Hinke, J. T., Krause, D. J., Hann, N. A., Gardner, S., & LeRoi, D. J. (2015). A small unmanned aerial system for estimating abundance and size of Antarctic predators. *Polar Biology*, 38, 619-630.
- Grenzdörffer, G. J. (2013). UAS-based automatic bird count of a common gull colony. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40-1/W2, 169-174.
- Hassanalain, M., & Abdelkefi, A. (2017). Classifications, applications, and design challenges of drones: a review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 99-131.
- Harris, C. M., Herata, H., & Hertel, F. (2019). Environmental guidelines for operation of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS): experience from Antarctica. *Biological Conservation*, 236, 521-531.
- Hodgson, J. C., & Pin Koh, L. (2016). Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research. *Current Biology*, 26, R404-R405.
- Hodgson, J. C., Baylis, S. M., Mott, R., Herrod, A., & Clarke, R. H. (2016). Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Scientific Reports*, 6, 22574.
- Hodgson, J. C., Mott, R., Baylis, S. M., Pham, T. T., Wotherspoon, S., Kilpatrick, A. D., Raja Segaran, R., Reid, I., Terauds, A., & Koh, L. P. (2018). Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods in Ecology and Evolution*, 9, 1160-1167.
- Hong, S. J., Han, Y., Kim, S. Y., Lee, A. Y., & Kim, G. (2019). Application of deep-learning methods to bird detection using unmanned aerial vehicle imagery. *Sensors*, 19, 1651, 16 p.
- Irigoin-Lovera, C., Luna, D. M., Acosta, D. A., & Zavalaga, C. B. (2019). Response of colonial Peruvian guano birds to flying UAVs: effects and feasibility for implementing new population monitoring methods. *PeerJ*, 7, e8129.
- Israel, M., & Reinhard, A. (2017). Detecting nests of lapwing birds with the aid of a small unmanned aerial vehicle with thermal camera. In *IEEE International Conference on Unmanned Aircraft Systems*, Miami, FL: IEEE Xplore, 1199-1207.
- Jiménez López, J., & Mulero-Pázmány, M. (2019). Drones for conservation in protected areas: present and future. *Drones*, 3, 10, 23 p.
- Johnston, D. W. (2019). Unoccupied aircraft systems in marine science and conservation. *Annual Review of Marine Science*, 11, 439-463.
- Lee, W. Y., Park, M., & Hyun, C. U. (2019). Detection of two Arctic birds in Greenland and an endangered bird in Korea using RGB and thermal cameras with an unmanned aerial vehicle (UAV). *PloS one*, 14, e0222088.
- Lyons, M. B., Brandis, K. J., Murray, N. J., Wilshire, J. H., McCann, J. A., Kingsford, R. T., & Callaghan, C. T. (2019). Monitoring large and complex wildlife aggregations with drones. *Methods in Ecology and Evolution*, 10, 1024-1035.
- Maes, W. H., & Steppe, K. (2019). Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Trends in Plant Science*, 24, 152-164.
- Magness, D. R., Eskelin, T., Laker, M., & Renner, H. M. (2019). Evaluation of small unmanned aerial systems as a census tool for Aleutian Tern *Onychoprion aleuticus* colonies. *Marine Ornithology*, 47, 11-16.

- McEvoy, J. F., Hall, G. P., & McDonald, P. G. (2016). Evaluation of unmanned aerial vehicle shape, flight path and camera type for waterfowl surveys: disturbance effects and species recognition. *PeerJ*, 4, e1831.
- Mulero-Pázmány, M., Stolper, R., Van Essen, L. D., Negro, J. J., & Sassen, T. (2014). Remotely piloted aircraft systems as a rhinoceros anti-poaching tool in Africa. *PLoS One*, 9, e83873.
- Mulero-Pázmány, M., Jenni-Eiermann, S., Strelbel, N., Sattler, T., Negro, J. J., & Tablado, Z. (2017). Unmanned aircraft systems as a new source of disturbance for wildlife: a systematic review. *PLoS One*, 12, e0178448.
- Mustafa, O., Barbosa, A., Krause, D. J., Peter, H. U., Vieira, G., & Rümmler, M. C. (2018). State of knowledge: Antarctic wildlife response to unmanned aerial systems. *Polar Biology*, 41, 2387-2398.
- Nowak, M. M., Dziób, K., & Bogawski, P. (2019). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in environmental biology: a review. *European Journal of Ecology*, 4, 56-74.
- Oosthuizen, W. C., Krüger, L., Jouanneau, W., & Lowther, A. D. (2020). Unmanned aerial vehicle (UAV) survey of the Antarctic shag (*Leucocarbo bransfieldensis*) breeding colony at Harmony Point, Nelson Island, South Shetland Islands. *Polar Biology* (online first article).
- Piec, D. (2018). Trial drone survey of breeding terns on Lymington Marshes, Western Solent. LIFE14 NAT/UK/000394 Roseate Tern report, 7 p.
- Rebolo-Ifrán, N., Grilli, M. G., & Lambertucci, S. A. (2019). Drones as a threat to wildlife: YouTube complements science in providing evidence about their effect. *Environmental Conservation*, 46, 205-210.
- Rümmler, M. C., Mustafa, O., Maercker, J., Peter, H. U., & Esefeld, J. (2016). Measuring the influence of unmanned aerial vehicles on Adélie penguins. *Polar Biology*, 39, 1329-1334.
- Rush, G. P., Clarke, L. E., Stone, M., & Wood, M. J. (2018). Can drones count gulls? Minimal disturbance and semiautomated image processing with an unmanned aerial vehicle for colony-nesting seabirds. *Ecology and Evolution*, 8, 12322-12334.
- Sardà-Palomera, F., Bota, G., Viñolo, C., Pallarés, O., Sazatornil, V., Brotons, L., Gomáriz, S., & Sarda, F. (2012). Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems. *Ibis*, 154, 177-183.
- Sardà-Palomera, F., Bota, G., Padilla, N., Brotons, L., & Sardà, F. (2017). Unmanned aircraft systems to unravel spatial and temporal factors affecting dynamics of colony formation and nesting success in birds. *Journal of Avian Biology*, 48, 1273-1280.
- Scher, O. (2015). Test de dérangement préliminaire au comptage d'oiseaux coloniaux nicheurs par multicoptère. 3ème rencontres naturalistes de l'Aude, 12 & 13 mars 2015. https://rencontres-naturalistes.lpo11.fr/ressources/prestentations/edition_2016/Suivis_oiseaux_par_drone.pdf
- Scher, O. (2019). L'Islande, terre de drones ? *Espaces naturels*, 65, 28.
- Shakhatreh, H., Sawalmeh, A. H., Al-Fuqaha, A., Dou, Z., Almaita, E., Khalil, I., Othman, N. S., Khreishah, A., & Guizani, M. (2019). Unmanned aerial vehicles (UAVs): a survey on civil applications and key research challenges. *IEEE Access*, 7, 48572-48634.
- Singh, K. K., & Frazier, A. E. (2018). A meta-analysis and review of unmanned aircraft system (UAS) imagery for terrestrial applications. *International Journal of Remote Sensing*, 39, 5078-5098.
- Valle, R., & Scarton, F. (2018). Uso dei droni nel censimento degli uccelli acquatici nidificanti nel Nord Adriatico. *Bollettino del Museo di Storia Naturale di Venezia*, 69, 69-75.

- Valle, R. G., & Scarton, F. (2019). Effectiveness, efficiency, and safety of censusing Eurasian Oystercatchers *Haematopus ostralegus* by unmanned aircraft. *Marine Ornithology*, 47, 81-87.
- Vas, E., Lescroël, A., Duriez, O., Boguszewski, G., & Grémillet, D. (2015). Approaching birds with drones: first experiments and ethical guidelines. *Biology Letters*, 11, 20140754.
- Weimerskirch, H., Prudor, A., & Schull, Q. (2018). Flights of drones over sub-Antarctic seabirds show species-and status-specific behavioural and physiological responses. *Polar Biology*, 41, 259-266.

Ce document a vocation à être évolutif et il ne faut pas hésiter à faire des retours d'expérience des suivis menés durant la période du recensement national 2020-2022, et à transmettre les rapports associés. Des versions révisées et enrichies pourront ainsi être diffusées.

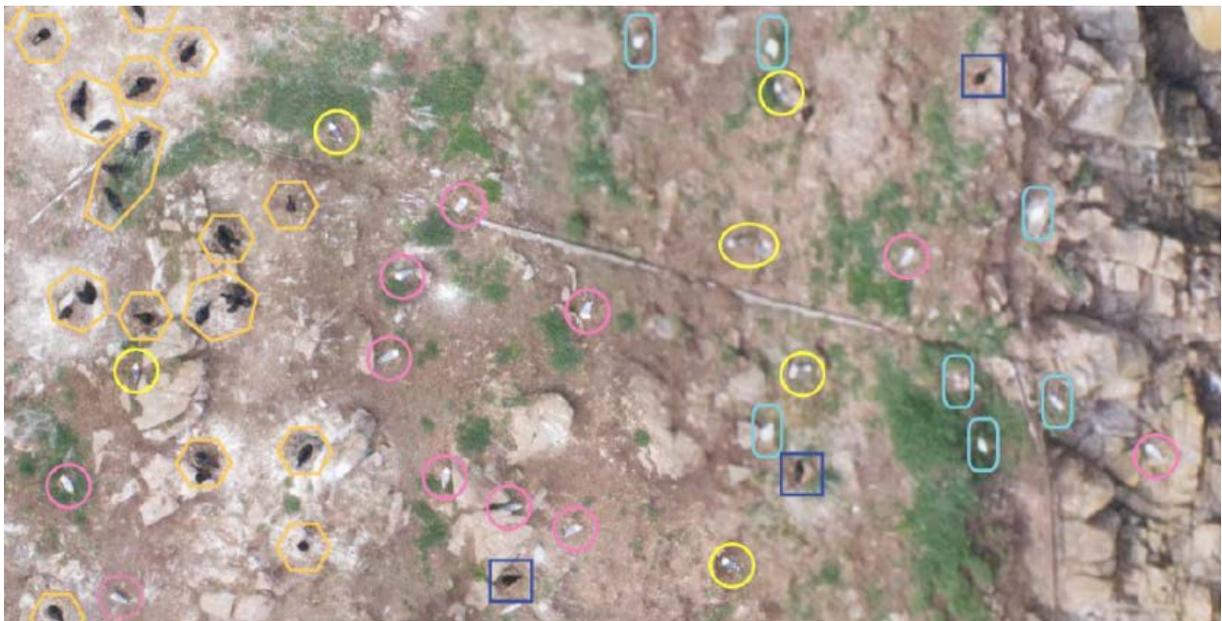
Contact : bernard.cadiou@bretagne-vivante.org

[version 1 – février 2020]

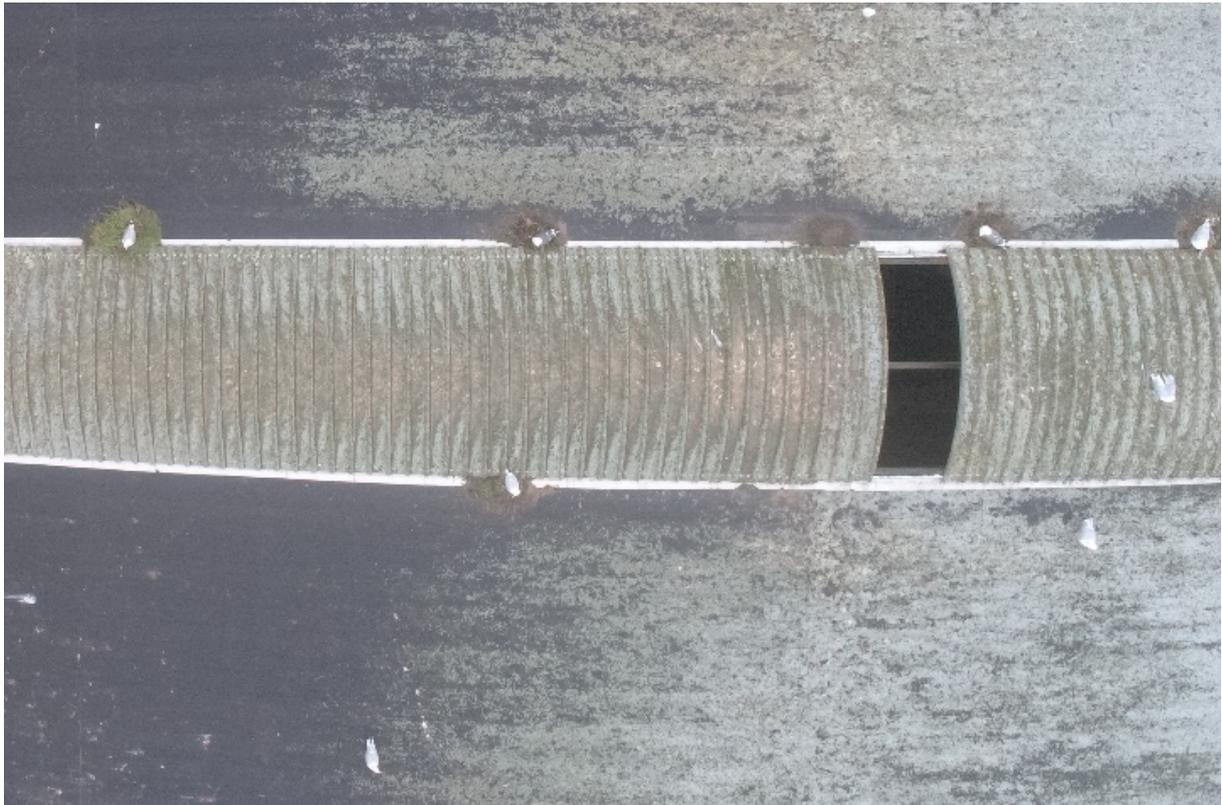
Annexe – Exemples de clichés issus de suivis de colonies d’oiseaux marins réalisés par drone



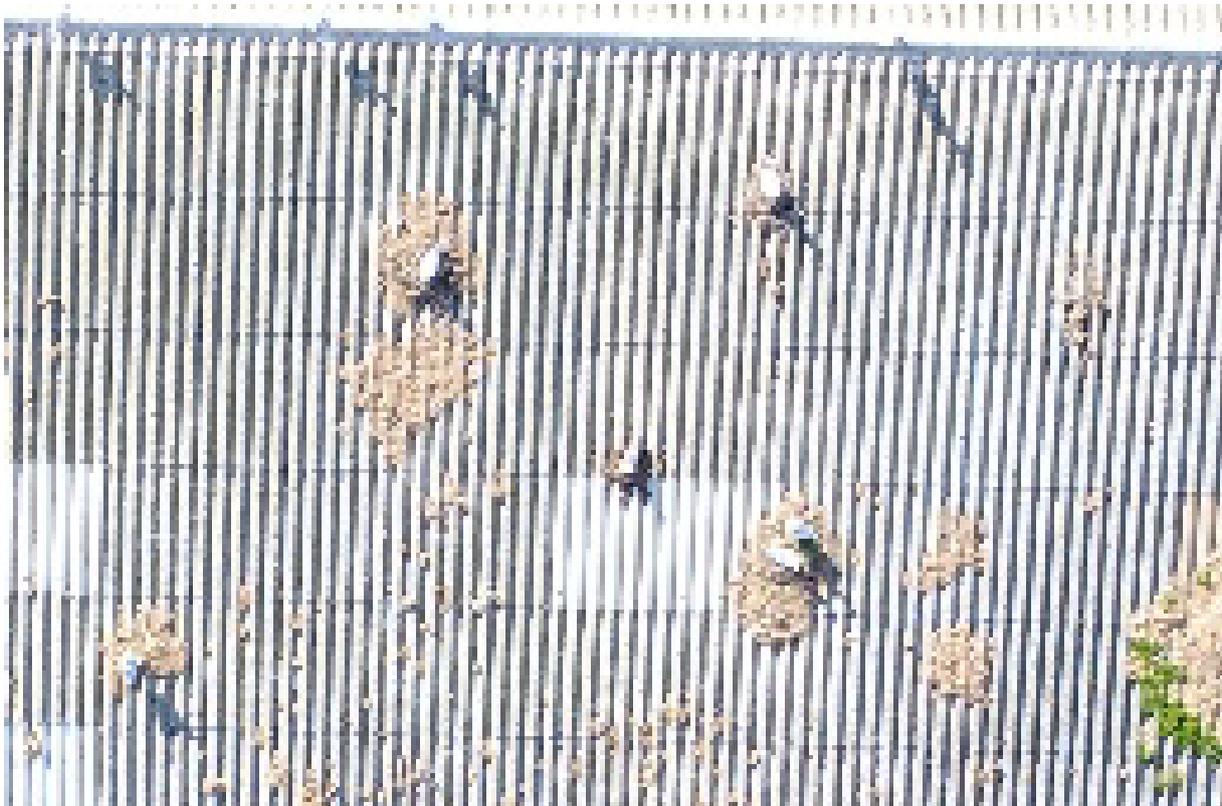
Colonie insulaire de grands cormorans en Ille-et-Vilaine (cliché G. Gautier, Al Lark)



Colonie insulaire de grands cormorans (contour orange), cormorans huppés (bleu foncé), goélands argentés (rose), goélands bruns (jaune) et aigrettes garzettes (bleu clair) en baie de Morlaix (cliché SkyRoad Production)



Nids de goélands argentés et bruns sur un toit de Fougères (cliché SkyRoad Production)



Élément de détail d'un cliché surexposé pris lors d'une journée ensoleillée, montrant la difficulté d'identifier le nid de goéland brun (au centre) parmi les nids de goélands argentés sur un toit de Lamballe (cliché Civic Drone)



Goéland argenté quittant son nid à 3 œufs au passage du drone à basse altitude sur un toit de Lamballe (l'ombre du drone est visible sur l'image ; cliché Civic Drone).



Élément de détail d'un cliché d'un toit de Lorient montrant la difficulté de repérer les petits poussins de goélands, localisés par les deux cercles, quand ils sont hors de leur nid (cliché ABdrone)



Colonie de sterne pierregarin dans un marais salant de Loire-Atlantique (cliché P. Della Valle)



Élément de détail d'un cliché d'une colonie de mouette mélanocéphale montrant les différences d'ombre portée au sol entre les oiseaux couchés, sur leur nid ou au sol, et les oiseaux debout (cliché CEN L-R)