

## Utilisation de drone pour le suivi écologique de la faune dans un ranch au Nord Bénin

### [ Use of drones in wildlife ecological monitoring on a ranch in northern Benin ]

*Sedjro Gilles A. Nago<sup>1,2</sup>, Gérard Nounagnon Gouwakinnou<sup>1,2</sup>, Joël E. Kpatchia<sup>1,3</sup>, Etotépé A. Sogbohossou<sup>2</sup>, Franck Mitchozounon<sup>3</sup>, Olivier Ahouandjinou<sup>1,3</sup>, José E. Gnele<sup>4</sup>, Bagari Kiatti<sup>3</sup>, Michel Le Cornec<sup>3</sup>, Madjidou Oumorou<sup>2,5</sup>, and Brice Sinsin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Laboratoire d'Ecologie, de Botanique et de Biologie végétale (LEB), Université de Parakou (UP), Benin

<sup>2</sup>Laboratoire d'Ecologie Appliquée (LEA), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Benin

<sup>3</sup>Ferme Tatagtou, Dassari, Benin

<sup>4</sup>Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Université de Parakou (UP), Benin

<sup>5</sup>Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LARBA), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Benin

---

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The conservation of wildlife populations requires regular studies for effective monitoring. However, although necessary, these studies are difficult to implement, particularly in the developing countries where the lack of financial resources and appropriate material are felt. Nowadays, the use of drones has grown steadily, opening up new avenues for wildlife management. The present research investigated on a ranch, the use of a mini-drone in the activities of wildlife surveys, monitoring and ranch mapping. After a line transects census, surveys with drone at various heights were made for animal counting, monitoring and ranch photogrammetry. The data was extracted from the taken images and analyzed as appropriate. From the results obtained, it is clear that the mini-drones give good results for the wildlife survey when the flights are made between an elevation of 20 to 50 m. The wildlife species encountered do not change their attitude when the drone passes by. Various acts of vandalism can also be observed with the drone and the mapping of the ranch set up in the middle of the savannah was obtained in a relatively short time. Long-lasting batteries will have to be manufactured in order to allow the mini-drones to operate easily in a real natural environment for ecological monitoring activities.

**KEYWORDS:** Drone, ecological monitoring, fauna, ranch, photogrammetry.

**RESUME:** La conservation des populations fauniques requiert des études régulières pour un suivi efficace. Cependant, bien que nécessaire, ces études sont difficilement mises en place, particulièrement dans les pays du sud où le manque de moyens financiers et de matériels appropriés se fait sentir. Au cours de ces dernières années, l'utilisation des drones ne cesse de s'accroître, ouvrant de nouvelles perspectives pour la gestion de la faune. La présente étude a investigué dans un ranch, l'utilisation d'un mini-drone dans les activités de dénombrement de la faune, de surveillance et de cartographie du site aménagé. Après un dénombrement pédestre, des vols du drone à différentes hauteurs ont été effectués pour le comptage des animaux, la surveillance et la photogrammétrie du ranch. Les données ont été extraites des photos effectuées et, analysées selon les cas. Il est clair que les mini-drones donnent de bons résultats pour le dénombrement de différentes espèces de faune lorsque les vols se font entre une altitude de 20 à 50 m. Les espèces fauniques rencontrées ne changent pas d'attitude au passage du drone. Différents actes de vandalisme sont observables avec le drone et la cartographie du ranch aménagé en milieu de savane a pu être obtenue dans un délai relativement court. Des batteries à durée plus longue devront être fabriquées afin de permettre aux mini-drones de fonctionner aisément en milieu réel pour des activités de suivi écologique.

**MOTS-CLEFS:** Drone, suivi écologique, faune, ranch, photogrammétrie.

## 1 INTRODUCTION

La gestion et la conservation des écosystèmes naturels nécessitent une surveillance efficace de la biodiversité ainsi qu'un suivi régulier de l'abondance de la faune [1]. En outre, dans la nature, l'identification des espèces de même que l'évaluation de l'effectif des populations sont importantes pour la conservation et la gestion de la biodiversité [2]. Ces activités passent par la mise en place de différentes techniques d'inventaire de terrain telles que les transects [3] qui peuvent être difficiles à réaliser notamment dans les zones risquées ou pénibles d'accès. Ordinairement, la réalisation de ces techniques d'inventaire se fait sur un parcours pédestre, ou à partir d'avion léger, soit encore par photos aériennes ([4], [5], [6], [7], [8], [9]). Sans dénier l'efficacité de ces techniques et outre la pénibilité de leurs usages, il est clair qu'elles sont non seulement gourmandes en temps de travail et en main d'œuvre mais aussi difficiles à mettre en place en termes de logistique et de coût. Tout ceci limite fortement les activités liées à l'évaluation et au suivi de l'évolution de la couverture forestière, de la distribution des espèces et de la diversité des populations animales. Il y a donc nécessité de développer de nouvelles techniques de gestion efficaces et innovantes, abordables et multi-fonctionnelles afin d'alléger et de fluidifier la collecte des données pour une meilleure compréhension des processus sous-jacents la préservation des ressources naturelles.

Au cours de ces dernières années, l'utilisation des drones ne cesse de s'accroître et les applications n'ont cessé de se développer, ouvrant de nouvelles perspectives pour la gestion de l'environnement et de la faune ([10], [11], [12], [13], [14], [15]). L'apparition de cette technologie présente plusieurs avantages permettant d'acquérir une imagerie à haute résolution spatiale et temporelle contrairement aux plateformes classiques de télédétection ([16], [17], [18]). Il s'agit notamment des frais d'achat et de maintenance des mini-drones habituellement utilisés dans les applications civiles réduites ([19], [20], [21], [22]), de la faible empreinte écologique [23], de la facilité de la logistique, du déploiement et de la prise en main rapide ([20], [16]), puis de la capacité de voler dans une large gamme de conditions météorologiques, ainsi qu'à basse altitude. La combinaison de ces caractéristiques aux capteurs de plus en plus performants permet, en effet, l'obtention d'images avec une résolution spatiale atteignant quelques centimètres. Il est possible de repérer et de reconnaître sur de telles images, animaux, véhicules, êtres humains et infrastructures. C'est alors que les études effectuées dans le domaine de la faune utilisant la technologie drone se sont amplifiées mais restent cependant insuffisantes et cantonnées à un petit nombre d'animaux, principalement les oiseaux ([24], [25], [26]), les espèces d'eau telles que les lamantins, les baleines, les dugongs, les tortues ou encore les crocodiles ([10], [27], [23], [28], [29]). Quelques autres animaux terrestres ont également été observés tels que le chevreuil [30], l'orang-outang [14], l'éléphant [31] et dernièrement l'hippopotame [32]. Cependant, bien que la détection des espèces soit très encourageante, peu d'auteurs ont effectué de réels comptages de populations d'espèces et tenté de produire un protocole spécifique. Dans le cas des mammifères, [31] ont essayé de réaliser un dénombrement d'une population d'éléphants, sur un échantillon trop réduit, afin de pouvoir en tirer des résultats pertinents. De même, [33] se sont intéressés à la meilleure façon d'estimer la superficie réelle que couvrent les images. Les drones ont quand même la capacité de devenir les prochains outils, pour améliorer le suivi de la faune et aider les équipes de surveillance à faire face au braconnage intense [34]. Il est dès lors important d'investiguer en même temps le comptage de la faune que l'intégrité de son habitat. C'est dans cette optique que la présente étude a été réalisée sur un ranch de gibier au Nord Bénin. Ainsi, l'objectif général de ce travail est d'évaluer l'usage du drone dans le suivi écologique de la faune d'un ranch au Nord Bénin comme essai avant de l'étendre à l'échelle de plus grandes aires protégées du Bénin. De façon spécifique, il s'agit de: - (i) dénombrer la faune du ranch sur la base des images prises par le drone; - (ii) détecter les actes de vandalisme à partir des images du drone et - (iii) réaliser la photogrammétrie du parc animalier dudit ranch.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 PÉRIODE ET MILIEU D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée entre les mois d'août et novembre 2018 sur la ferme *Tatagtou*, un ranch non loin du Parc National de la Pendjari, dans l'arrondissement de Dassari, commune de Matéri au Bénin et dont les coordonnées sont 10°48'57" de latitude Nord et 1°48'57" de longitude Est (Fig. 1.).

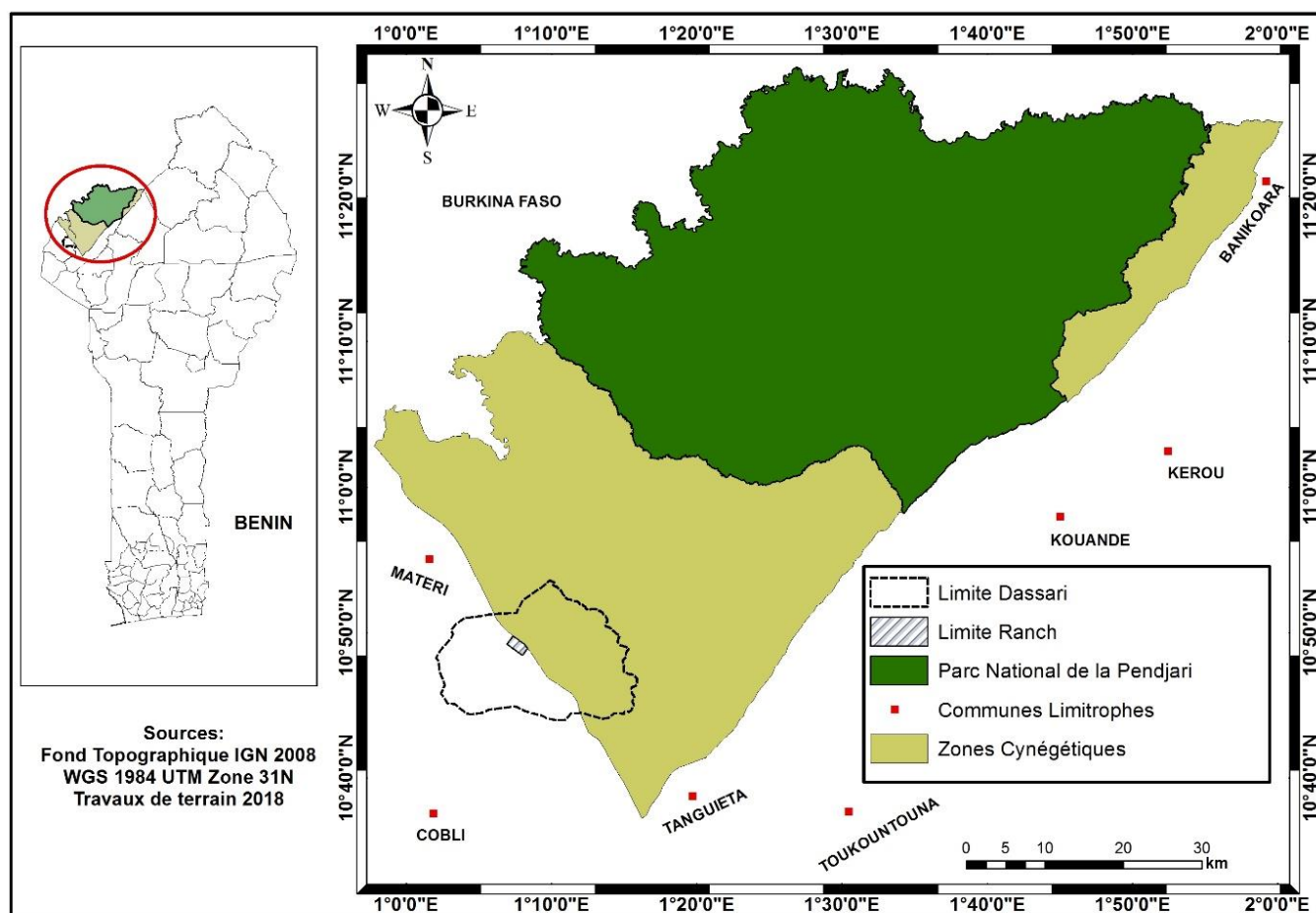


Fig. 1. Carte de situation du ranch Tatagou au Bénin

## 2.2 LEVÉS DE TERRAIN

Les levés de terrain ont permis de recenser la faune du ranch. Pour ce faire, la méthode des transects linéaires a été utilisée telle que décrite par [35] et déjà utilisée avec succès au Bénin par ([36], [7], [9]). Dix-sept transects d'une longueur moyenne de 200 m, perpendiculaires aux mares et zones marécageuses inaccessibles à la marche, ont été répartis de manière à couvrir tout le parc animalier. Ils ont été parcourus par une équipe constituée du chef d'équipe (qui reste au milieu avec le récepteur GPS, tout en respectant l'azimut de marche préalablement défini et prend note des données qu'il collecte) et de deux observateurs expérimentés (qui marchent lentement aux côtés du chef d'équipe et observent toute la zone afin d'identifier tout contact d'espèces animales le long du transect).

## 2.3 LEVÉS AÉRIENS

Les levés aériens ont été effectués pour tester l'efficacité du drone dans les activités de dénombrement de la faune, de surveillance et de cartographie.

La zone d'étude a été survolée avec un drone Phantom4 professionnel contrôlé par une télécommande DJI. Trois types de missions ont été menées à savoir les missions de dénombrement, de surveillance et de photogrammétrie.

Pour le dénombrement, la méthode d'échantillonnage systématique représentatif de la zone d'étude a été utilisée sur la base des données collectées au cours du dénombrement pédestre. Ainsi, le drone a survolé les zones stratégiques susceptibles d'observation des espèces de faune à trois hauteurs différentes (20 m, 30 m et 50 m). Les positions de décollage ont été choisies seulement sur le site conformément aux travaux de [30]. La capture des images a été faite à vue sur un écran de téléphone connecté à la télécommande et qui a servi de moniteur de réception. Les images sont prises seulement quand les animaux sont aperçus sur l'écran afin d'obtenir plus de précision et moins de données inutiles lors du traitement des données. Au total, 115 images ont été prises lors de trois vols effectués. Le renvoi de la position en vol sur un moniteur de contrôle permet de suivre et de guider précisément le vol du drone, ce qui optimise le positionnement des prises de vues [37]. La vitesse de passage lente permet d'avoir des images de très bonne netteté.

Pour la surveillance, un survol régulier de la zone d'étude a été effectué durant la période de l'étude en utilisant la méthode de [38] permettant la comparaison des valeurs des pixels obtenues pour une succession d'images acquises par drone dont la fraction commune est importante. Des images sont prises lors desdits vols de surveillance chaque fois qu'un fait particulier est observé.

Pour ressortir une photogrammétrie du ranch, des vols de 50 m d'altitude ont été réalisés suivant neuf (9) missions préétablies avec le logiciel Pix4D puis exécutées respectivement les 1<sup>er</sup>, 2 et 3 octobre 2018. Une mission élémentaire couvre une superficie de 66572 m<sup>2</sup>. La zone d'étude a été délimitée à l'aide d'une image satellitaire du ranch. Un chevauchement de 1% entre les différentes missions a été réalisé afin d'éviter des vides entre les images. Ces recouvrements garantissent en effet un bon assemblage des images lors du traitement photogrammétrique [39]. Au total, 3786 images ont été prises.

### 2.4 ANALYSES DE DONNÉES

Tout comme la collecte, l'analyse des données a porté sur la détection de la faune, la surveillance et la photogrammétrie de la faune du ranch.

#### 2.4.1 DÉTECTION DE LA FAUNE

Elle a été faite à la fois par un dénombrement pedestre que par l'usage du drone.

La méthode des indices kilométriques d'abondance et de contact (IKA et IKC) utilisée par [9], a été utilisée pour l'estimation de la densité de la faune pour le dénombrement pedestre. Les formules de ces indices se présentent comme suit:

$$IKA \text{ (ind/km)} = \frac{\text{Nombre d'individus observés par espèce (ind)}}{\text{Effort total d'inventaire (km)}}$$

$$IKC \left(\frac{\text{cont}}{\text{km}}\right) = \frac{\text{Nombre de contacts observés par espèce (cont)}}{\text{Effort total d'inventaire (km)}}$$

En ce qui concerne la détection de la faune avec le drone, deux observateurs ont examiné manuellement les images afin d'identifier sur chaque image les différentes espèces et le nombre d'individus. Suite à cette opération, la méthode de Jolly2 couramment utilisée pour estimer la densité ( $\hat{R}$ ) des dénombrements aériens d'échantillons de bandes effectués avec des aéronefs légers [40] a été utilisée. La formule de la densité est la suivante:

$$\hat{R} = \frac{\sum_i Y_i}{\sum_j Z_j}$$

Avec  $\hat{R}$  la densité de l'espèce comptée dans la zone échantillonnée

$Y_i$  est le nombre d'individus d'une espèce comptée dans l'unité d'échantillonnage

$Z_j$  est la superficie de l'unité d'échantillonnage (km<sup>2</sup>)

#### 2.4.2 SURVEILLANCE DU RANCH

Les images prises lors de la surveillance sont triées et visualisées par deux opérateurs afin de confirmer la présence ou non d'un objet inhabituel sur les pixels des images prises.

#### 2.4.3 PHOTOGRAMMÉTRIE DU RANCH

La photogrammétrie a été produite avec le logiciel Pix4Dmapper<sup>1</sup>. Le processus de traitement des images avec le logiciel Pix4Dmapper comporte trois étapes que sont respectivement: l'alignement des images (alignement), la construction du modèle 3D (dense cloud) permettant ensuite dans une troisième phase de générer un modèle numérique de surface (MNS) et une ortho-image [41]. Avec l'automatisation du logiciel, tout le processus est entièrement conduit après avoir chargé les images et le fichier de localisation de celles-ci. Elle a duré 3 jours 21h 10min.

---

<sup>1</sup> <https://pix4d.com/>

### 3 RESULTATS

#### 3.1 DÉNOMBREMENT DE LA FAUNE

##### 3.1.1 LEVÉS DE TERRAIN

Au cours du levé de terrain, 6 km ont été parcourus et 5 contacts ont été faits pour un total de 41 individus toutes espèces confondues. Les indices kilométriques d'abondance et de contact sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Indice kilométrique d'abondance et de contact au niveau du Parc animalier

Espèces	Cob de Buffon ( <i>Kobus kob</i> )	Dendrocycgne veuf ( <i>Dendrocycna viduata</i> )	Francolin ( <i>Pternistis bicalcaratus</i> )	Autruche ( <i>Struthio camelus</i> )
IKA	0,83	3,66	2	0,33
IKC	0,33	0,16	0,16	0,16

De l'analyse de ce tableau, il a été remarqué que toutes les espèces ont été faiblement observées. Néanmoins, il a été noté que le cob de Buffon est l'animal le plus observé dans ce parc. À contrario, dans le lot de toutes ces espèces, la dendrocycgne veuf, le francolin et l'autruche sont moins rencontrés.

De même, on remarque une meilleure abondance du dendrocycgne suivi du francolin, du cob de Buffon et enfin de l'autruche.

##### 3.1.2 LEVÉ AÉRIEN

###### 3.1.2.1 VISIBILITÉ DES ANIMAUX

Les 3 vols (Tableau 2) effectués ont démontré que le cob de Buffon et l'autruche sont facilement visibles à une altitude de 30 m alors que la dendrocycgne veuf l'était déjà à 20 m d'altitude. Par exemple, un groupe de 5 individus de cob qui s'alimentaient a été photographié à partir du drone (Fig. 2). Chaque individu est clairement identifiable sur l'image aérienne. Les cobs et les autruches sont restés discernables jusqu'à une altitude de 50 m dans leurs habitats naturels, contrairement aux dendrocycgnes veufs qui sont restés discernables jusqu'à 30 m seulement. L'analyse des images a permis de conclure que l'observation des quatre espèces dénombrées dans les écosystèmes de savane (Fig. 2, 3, 4 et 5) est possible. L'acquisition des images a permis d'avoir au total 205 individus dans le ranch (Tableau 2).

Tableau 2. Moyenne et densité des effectifs des animaux dénombrés

	$\bar{x}$ vol1	$\bar{x}$ vol2	$\bar{x}$ vol3	$\bar{x}$ ranch	$\hat{R}$
Cob de Buffon ( <i>Kobus kob</i> )	2	0	5	4,66666667	21,875
Dendrocycgne veuf ( <i>Dendrocycna viduata</i> )	0	34	102	69	323,4375
Autruche ( <i>Struthio camelus</i> )	0	1	1	0,66666667	3,125
Héron cendré ( <i>Ardea cinerea</i> )	0	59	1	20	93,75



*Fig. 2. Image aérienne des cobs de Buffon prise lors du dénombrement de la faune par le drone dans le parc animalier du ranch à 30 m d'altitude*



*Fig. 3. Image aérienne d'un héron cendré en fuite prise lors du dénombrement de la faune par le drone dans le parc animalier du ranch à 30 m d'altitude*



Fig. 4. Image aérienne d'une autruche prise lors du dénombrement de la faune par le drone dans le parc animalier du ranch à 30 m d'altitude



Fig. 5. Image aérienne des dendrocygnes veufs prise au niveau de la mare Millo lors du dénombrement de la faune par le drone dans le parc animalier du ranch à 20 m d'altitude

### 3.1.2.2 RÉACTION DES ANIMAUX LORS DU PASSAGE DU DRONE

Durant les trois vols, seul le héron cendré s'est envolé à l'approche du drone. Pour les trois autres espèces (cob de Buffon, dendrocygne veuf et autruche), aucun vol ou comportement d'alerte n'a été enregistré.

### 3.2 SURVEILLANCE DU RANCH

Au cours de la surveillance du ranch, les observations faites concernent les actes de vandalisme, la présence illégale de personnes autour du parc animalier, l'état des mares et de la végétation du ranch (Fig. 6, 7 et 8).



*Fig. 6. Image de l'état d'une partie du ranch après un passage de feu précoce incontrôlé à 50 m d'altitude*



*Fig. 7. Image présentant l'état de la mare Hyper colonisé par *Typha latifolia* à 30 m d'altitude*



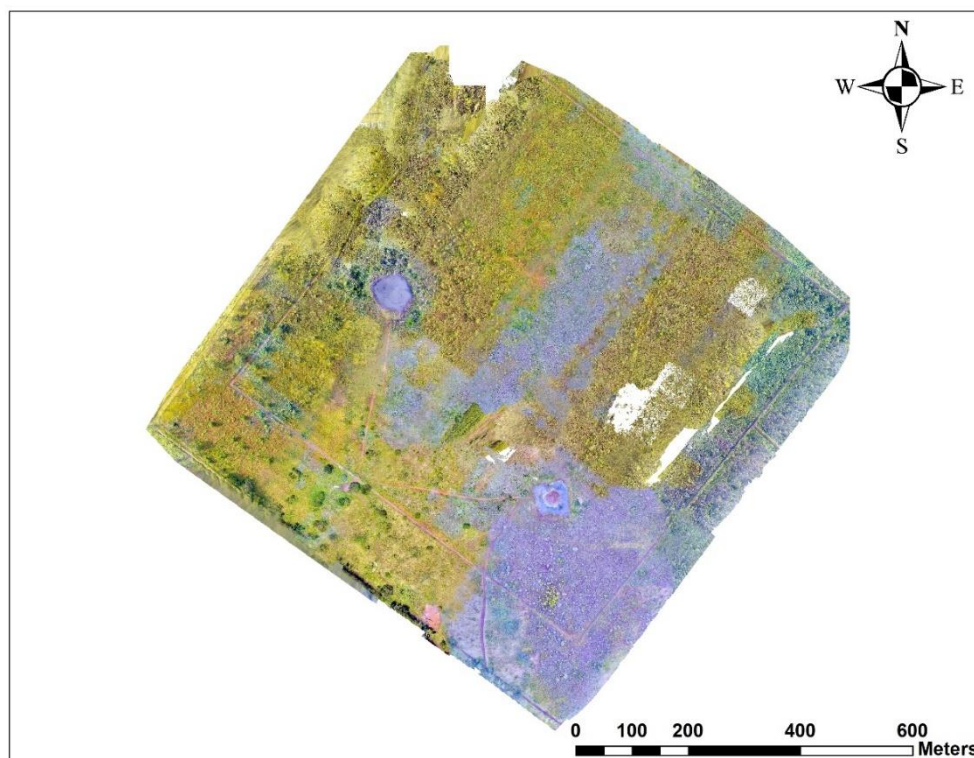


**Fig. 8.** Image de présence humaine sans autorisation dans une zone protégée du ranch à 50 m d'altitude

De l'analyse des images prises durant l'étude, une carcasse d'autruche et trois actes de vandalisme ont été rencontrés dans le mois de septembre. À contrario, durant tout le mois d'octobre, seules les images sur le changement du couvert végétal ont été observées.

### 3.3 PHOTOGRAMMÉTRIE DU RANCH

Un total de 3786 images a été utilisé pour produire une orthomosaïque de 1 km<sup>2</sup> avec une résolution au sol de 2,23 cm (Fig. 9).



**Fig. 9.** Orthomosaïque de la zone d'étude

Sur ce modèle d'image, il a été retrouvé la couverture végétale, les infrastructures, les mares et le périmètre du parc.

#### 4 DISCUSSION

Cette étude préliminaire montre que la faune peut être détectée dans les écosystèmes de savane à l'aide d'un petit drone. Des espèces animales de différentes classes et tailles ont pu être observées. L'altitude d'observation des espèces présentes sur le ranch varie de 20 m à 50 m en fonction des espèces.

Les résultats montrent que le nombre d'animaux (individus par km) est nettement plus élevé pour les relevés aériens que pour les relevés terrestres. Le drone peut permettre alors d'avoir de meilleures données d'inventaire faunique que la méthode pédestre puisqu'ici aussi, il a permis de prospecter des milieux difficilement accessibles à pied. L'absence de réaction animale lors de l'acquisition des images indique une absence de perturbation animale et renforce l'atout du drone à être utilisé pour de telles activités écologiques. Néanmoins, cette absence de réaction pourrait apparaître comme un inconvénient potentiel pour de prochaines études dans d'autres types d'écosystèmes parce que les animaux sont plus facilement visibles quand ils sont en mouvement que quand ils sont immobiles [31]. Cette attitude a permis au drone de survoler un transect à un autre sans rencontrer un déplacement considérable des animaux. C'est ainsi que tous les animaux étaient comptés sans possibilité de double comptage.

Pour la fiabilité des résultats, deux observateurs ont été utilisés comme recommandé par [42] pour estimer les probabilités de détection. Une comparaison des deux levés permet de conseiller pour de nouvelles études, une méthode en mettant l'accent sur la durée totale de réalisation, les limites de réalisation, la demande en ressources humaines et la période de réalisation au cours d'une année (Tableau 3).

**Tableau 3. Comparaison des deux méthodes de dénombrement**

Traits de comparaisons	Type	Dénombrement pédestre	Dénombrement aérien
Durée totale de réalisation		3 jours	45 minutes
Limites de réalisation		-Difficile d'accès en saison pluvieuse -Détection très difficile des animaux -Moyen financier élevé	Faible Autonomie des batteries, durée moyenne 25 minutes
Besoin en ressource humaine		3 personnes	2 personnes
Période de réalisation recommandée		Saison sèche	En toutes saisons et à tout moment de l'année
Effort de travail		Très élevé	Très faible
Risques encourus		Sol marécageux très difficile pour la marche	Aucun
Investissement de départ		Très élevé à court et long terme	Très élevé à court terme et très faible à long terme

Comme recommandé plus haut, le dénombrement aérien avec drone est la méthode qui présente de meilleures chances de détection de la faune. Afin de faciliter cette activité de terrain, il serait bien que l'autonomie des batteries soit améliorée lors de sa fabrication.

Les résultats de cette étude confirment les travaux de [38] sur les changements de mouvement sur les pixels d'une image à une autre, ce qui a permis d'observer sur ces changements de pixels, la carcasse d'autruche, l'invasion de mare par *Typha latifolia*, les passages de feux précoces et la présence humaine dans des zones interdites d'accès. Ces différents résultats ont permis le renforcement de la surveillance dans ce ranch.

Pour la réalisation de la photogrammétrie, les images ont été acquises en trois jours, ce qui peut être considéré comme acceptable en termes de délai d'exécution. La faible endurance énergétique des drones n'a pas d'impact sur les images obtenues comme remarqués par [43] et [44]. Pour avoir plus de précision dans les résultats, malgré que la zone d'acquisition d'images soit en savane, l'altitude retenue pour la prise des images a permis d'éviter les difficultés parfois rencontrées dans la phase d'assemblage des images acquises. Cette précision est plutôt particulièrement prise en compte en zone forestière ([14], [39]). Une erreur de l'assemblage (pixels) de 0,18 a été prise en compte par le logiciel, ce qui est bien plus précis que l'intervalle proposé par [45] et [46] si l'on considère l'instabilité des mini-drones et la distorsion des caméras numériques utilisées.

Au total, les mini-drones peuvent être utilisés dans le suivi écologique des aires protégées savaniques, notamment dans les activités de dénombrement de la faune, de surveillance et de cartographie.

## CONTRIBUTIONS

SGAN, GG et JEK ont conçu le projet; SGAN, EAS, BK, ML, MO et BS ont facilité l'obtention de divers permis et la collecte des données; JEK, FM, OA et SGAN ont collecté les données; JEK, SGAN et JEG ont analysé les données collectées; SGAN, GG, JEK, EAS et JEG ont rédigé le manuscrit; MO, ML et BS ont amélioré le manuscrit.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs remerciements aux travailleurs de la ferme *Tatagtou* pour leur soutien durant la phase de collecte de données sur le terrain et au Projet ACUPro (Appui aux Centres Universitaires Professionnalisant) pour la bourse de stage accordée à Joël E. KPATCHIA. Ils se sentent aussi redevables envers Fortuné AZIHOU et les lecteurs anonymes pour leurs orientations dans l'amélioration du manuscrit.

## REFERENCES

- [1] Jachmann. Estimating abundance of African wildlife: an aid to adaptive management, 2001. [Online] Available: <https://www.springer.com/gp/book/9780792379591> (6 Juin, 2018).
- [2] F. Reed and Noss, "Indicators for Monitoring Biodiversity: a Hierarchical approach." *Conservation Biology*, vol.4 no. 4, pp. 355-364, 1990.
- [3] W. J. Sutherland, I. Newton, 2004. "Bird Ecology and Conservation: a Handbook of techniques," Oxford University Press, no. 2, pp. 35-52.
- [4] G. J. E. A. Hill, Barnes, G. R. Wilson. 1985. "Time of day and aerial counts of grey Kangaroos." *The Journal of Wildlife Management*. Vol. 4 no. 94, pp. 843-849, 1985.
- [5] G.M. Mourão, P. Bayliss, M.E. Coutinho, C.L. Abercrombie, A. Arruda. "Test of an aerial survey for caiman and other wildlife in the Pantanal, Brazil," *Wildlife Society Bulletin*, vol. 22 no. 4, pp. 698-715, 1994.
- [6] R.T. Kingsford, "Aerial survey of water birds on wetlands as a measure of river and floodplain health," *Freshwater Biology*, vol.41 no. 2, pp. 425-438, 1990.
- [7] B. Sinsin, A. Tehou, I. Daouda, A Saidou "Abundance and species richness of larger mammals in Pendjari National Park in Benin," *Mammalia* vol.66, pp 369–380, 2002.
- [8] F. Sardà-Palomera, G. Bota, C. Viñolo, O. Pallares, V. Sazatornil, L. Brotons, S. Gomariz, F. Sarda, "Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems," *IBIS The International Journal of Avian Science*, vol. 154 no. 1, pp.177–183. 2011.
- [9] S.G.A. Nago, I. Amahowe, O. Zannou, L. Houessou, F. Ahononga, P. N'Séra, M. Kouton, F. Kidjo, S. Sahilou, B. Sinsin 2016. "Diversité, abondance et densité des populations de faune dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari (Nord Bénin) " *Annales de l'université de parakou. Série « Sciences Naturelles et Agronomie »*. vol.6 no.1, pp. 10-25, 2016.
- [10] G.P. Jones, L.G. Pearlstine and F.H. Percival, "An assessment of small unmanned aerial vehicles for wildlife research *Wildlife Soc*," *Bull*, vol. 34, no. 3, pp. 750-758, 2006.
- [11] P.J. Hardin, T.J. Hardin, "Small Scale Remotely Piloted Vehicles in Environmental Research," *Geography Compass*, vol. 4, no. 9, pp.1297–1311, 2010.
- [12] A.C. Watts, J.H. Perry, S.E. Smith, M.A. Burgess, B.E. Wilkinson, Z. Szantoi, P.G. Ifju, and H. F. Percival, "Small unmanned aircraft systems for low-altitude aerial surveys" *J. Wildlife Manage*, vol. 74, no. 7, pp. 1614-1619, 2010.
- [13] S. Getzin, K. Wiegand, I. Schöning, "Assessing Biodiversity in Forests Using Very Highresolution Images and Unmanned Aerial Vehicles," *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 3. no. 2, pp. 397–404, 2012.
- [14] L.P. Koh and S.A. Wich, "Dawn of drone ecology: Low-cost autonomous aerial vehicles for conservation," *Trop. Conserv*. Vol.5. no. 2, pp.121-132, 2012.
- [15] M.G. Wing, J. Burnett, J. Sessions, J. Brungardt, V. Cordell, D. Dobler and D.Wilson, "Eyes in the sky: Remote sensing technology development using small unmanned aircraft systems," *J. Forest*, vol. 111. no. 34, pp. 13-47, 2013.
- [16] [H. Xiang and L. Tian, "Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV)," *Biosystems Engineering*, vol. 108. no. 2, pp.174-190, 2011.
- [17] D. Turner, A. Lucieer and C.Watson, "An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery. Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds," *Remote Sensing*, vol. 4. no.5, pp.1392–1410, 2012.
- [18] M.J. Westoby, J. Brasington, N.F. Glasser, M.J. Hambrey and J.M. Reynolds JM, "Structure-fromMotion" photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. " *Geomorphology*, vol.179. no. 2012, pp. 300-314, 2012.
- [19] J. Berni, P. Zarco-Tejada, L. Surez, V. González-Dugo and F. Fereres, "Remote sensing of vegetation, from uav platforms using lightweight multispectral and thermal imaging sensors in The International Archives of the Photogrammetry " *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp.37, 2008.
- [20] R. Dunford, K. Michel, M. Gagnage, H. Piegay and M.L. Tremelo "Potential and Constraints of Unmanned Aerial Vehicle Technology for the Characterization of Mediterranean Riparian Forest," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 30. no. 19, pp. 4915–4935, 2009.

- [21] S. Harwin and A. Lucieer, "Assessing the Accuracy of Georeferenced Point Clouds Produced via Multi-view Stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery," *Remote Sensing*, vol.4 no. 6, pp. 1573–1599, 2012.
- [22] P. Charla, K. William, P. Paul, M. Brian, M.B. David, "Evaluation of an unmanned aircraft system for detecting surrogate caribou targets in Labrador." *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, vol.4.no.1, pp. 53-69. 2016.
- [23] J. Martin, H.H. Edwards, M.A. Burgess, H. F. Percival, D. E. Fagan, B. E. Gardner, J. G. Ortega-Ortiz, P.G. Ifju, B. S. Evers and T. J. Rambo, "Estimating Distribution of Hidden Objects with Drones: From Tennis Balls to Manatees." *PLoS ONE*, vol. 7 no. 6, 2012.
- [24] D. Chabot and D.M. Bird, "Evaluation of an off-the-shelf unmanned aircraft system for surveying flocks of geese," *Waterbirds*, vol. 35 no.1, pp.170-174, 2012.
- [25] F. Sardà-Palomera, G. Bota, C. Viñolo, O. Pallarés, V. Sazatornil, L. Brotons, S. Gomáriz, F. Sardà, "Fine-Scale Bird Monitoring from Light Unmanned Aircraft Systems" *IBIS*, 2012, vol. 15 no.4, pp. 177–183.
- [26] G. Grenzdörffer, 2013. "UAS-based automatic bird count of a common gull colony In *International archives of the photogrammetry*, "Remote Sens. Spatial In., vol.40 no.1, pp. 169-174, 2013.
- [27] W.R. Koski, T. Allen, D. Ireland, G. Buck, P. R. Smith, A. M. Macrander, M.A. Halick, C. Rushing, D. J. Sliwa, T. L. Donald, "Evaluation of an unmanned airborne system for monitoring marine mammals," *Aquat. Mamm*, vol. 35 no. 3, pp. 347-357, 2009.
- [28] A. Hogdson, N. Kelly and D. Peel D., "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Surveying Marine Fauna: A Dugong Case Study," *PLoS One*, vol.8 no. 11, pp. 1–15, 2013.
- [29] V. Y. Biserkov S. P. Lukanov. 2017, "Unmanned aerial vehicles (UAV) for surveying freshwater turtle populations," *methodology adjustment. Acta Zool. Bulgar*, vol. 10pp. 161–163, 2017.
- [30] M. Israël, "A UAV-based roe deer fawn detection system. In: *International Archives of the Photogrammetry*, " *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 38 no.1, pp. 14–16, 2011.
- [31] C. Vermeulen, P. Lejeune, J. Lisein, P. Sawadogo, P. Bouché P. 2013. "Unmanned aerial survey of elephants," *PLoS One*, vol.8. no. 2, 2013.
- [32] S. Lhoest, J. Linchant, S. Quevauvillers, S.; C. Vermeulen, P. Lejeune, "How many hippos (Homhip): Algorithm for automatic counts of animals with infra-red thermal imagery from UAV. *Int. Arch. Photogramm* " *Remote Sens. Spat. Inf*, 2015, no.40, pp.355–362.2013.
- [33] J. Lisein, J. Linchant, P. Lejeune, P. Bouché, C. Vermeulen, "Aerial surveys using an Unmanned Aerial System (UAS): comparison of different methods for estimating the surface area of sampling strips" *Trop Conserv*, vol.6 no.4, pp. 506–20. 2013.
- [34] A.C. Watts, V.G. Ambrosia and E. A. Hinkley, "Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use," *Remote Sensing*, vol.4 no.6, pp. 671–1692. 2012.
- [35] D.S.TBuckland, D.R. Anderson, K. P. Burnham, J. L. Laake, 1993. "Distance sampling. In *Estimating abundance of biological populations*. " *Chapman et Hall*, pp.446. 1993.
- [36] B. Sinsin, I. Daouda, E. Ahokpe, 1998. "Abondance et évolution des populations des mammifères des formations boisées de la région des monts Kouffé au Bénin," *Cahiers d'éthologie*, vol.18 no. 1, pp. 261-281.
- [37] D. Raclot, C. Puech, N. Mathys, B. Roux, A. Jacome, J. Asseline et J. S. Bailly, "Photographies aériennes prises par drone et Modèle Numérique de Terrain: apports pour l'observatoire sur l'érosion de Draix." *Géomorphologie. relief, processus, environnement*. Vol.11. no1.1.pp. 7-20. 2005.
- [38] L. L. Coulter, D. A. Stow, Y. H. Tsai, C.M. Chavis, C. D. Lippit, R. W. Fraley, McCreight.. "Automated detection of people and vehicles in environment using high temporal resolution airborne remote sensing". *ASPRS*. pp.19-23. 2012.
- [39] N. J. Semeki, J. Linchant, S. Quevauvillers, M. J. P, P. Lejeune, C. Vermeulen, 2016. "Potentiel des véhicules aériens sans pilote dans la détection des activités humaines illégales dans les aires protégées en République Démocratique du Congo" *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, vol.4 no. 2, pp.151-159, 2016.
- [40] P. Bouché, P. Lejeune, C.Vermeulen "How to count elephants in West African savannahs? Synthesis and comparison of main gamecount methods." *Biotechnology, Agronomy, Sociology and Environment*, vol.16 no. 1, pp. 77–91, 2012.
- [41] Torres-Sánchez J., López-Granados F., Serrano N., Arquero O., Peña J. M., 2015. High-throughput 3-D monitoring of agricultural-tree plantations with unmanned aerial vehicle (UAV) technology. [en ligne]. *PloS ONE*. 10 (6): e0130479. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130479>.
- [42] J.D. Nichols, J. E Hines, J. R. Sauer, F.W. Fallon, J. E Fallon, P. J. Heglund,. "Approche à double observateur pour estimer la probabilité de détection et l'abondance à partir des points compte," *L'auk* vol.117 no.2, pp. 393-408, 2000.
- [43] A. Laliberte, J. E Herrick, C. Winters, K. Havstad, C. Steele, D.Browning, 2009. "Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment monitoring and management." *Journal of Applied Remote Sensing*, vol.3 no.1, pp.33-54. 2009.
- [44] J. Linchant, J. Semeki, P. Lejeune, C. Vermeulen "Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges," *Mammal Rev*. vol.45 no.4, pp. 239–52. 2015.
- [45] Wu Jun, Zhongkui Dong, Zhigang Liu, Guoqing Zhou, 2007. Geo-registration and mosaic of UAV video for quick-response to forest fire disaster. In: *Proceedings SPIE*, vol. 6788, MIPPR 2007: Pattern Recognition and Computer Vision, 678810, November 15, 2007, Wuhan, China.
- [46] A. Laliberte. E. H. Jeffrey, A. Rango., C. Winters, "Acqui-sition, orthorectification and object-based classification of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for rangeland monitor-ing." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol.76 no.6, pp. 661-672, 2010.