

Potentiel des véhicules aériens sans pilote dans la détection des activités humaines illégales dans les aires protégées en République Démocratique du Congo

Jean Semeki Ngabinzeke, Julie Linchant, Samuel Quevauvillers, Jean-Marie Kahindo Muhongya, Philippe Lejeune, et Cédric Vermeulen

Résumé : L'essor récent des véhicules aériens sans pilote (UAV) dans le domaine environnemental offre de nouvelles opportunités aux gestionnaires des aires protégées pour lutter contre diverses pressions anthropiques. Dans ce contexte, l'UAV Falcon a été testé durant 15 missions pour évaluer sa capacité à détecter les activités humaines dans le Parc National de la Garamba et dans les domaines de chasse contigus (Gangala na Bodio, Mondo Missa) au nord-ouest de la République Démocratique du Congo. Une caméra Sony Block ainsi qu'une caméra thermique Tamarisk ont été utilisées pour l'acquisition des vidéos alors que les images ont été acquises avec un appareil photo numérique Sony Nex7. Les tests ont montré que le système utilisé est capable de détecter des objets précis. Maisons, champs, zones de sol nu, et de brûlis sont facilement discernables sur les vidéos jusqu'à une hauteur de vol de 250 m. Des sites d'orpaillage artisanal (taille ≤ 0.21 ha) sont également reconnaissables sur les vidéos et les photos. Des améliorations sont nécessaires concernant notamment l'augmentation du recouvrement entre photos et concernant le géoréférencement de ces dernières en vue d'améliorer leur assemblage. Le système testé présente un potentiel indéniable dans la détection et le suivi régulier d'activités humaines au sein d'aires protégées.

Mots-clés : UAV, aires protégées (AP), empiètement, orpaillage, République Démocratique du Congo.

Abstract: The recent advent of unmanned aerial vehicles (UAVs) in natural resource management opens new opportunities to help protected area managers fighting against various human pressures. The Falcon UAV was used for 15 missions to help detect human activities in Garamba National Park and its surrounding game reserves (Gangala na Bodio, Mondo Missa) in the North-Eastern Democratic Republic of Congo. A Sony Block camera coupled with a Tamarisk thermal camera was used to record videos, whereas photos were acquired with a Sony Nex7 digital camera. Tests showed that it was possible to detect precise objects

Reçu le 8 octobre 2015. Accepté le 7 mars 2016.

J.S. Ngabinzeke. Département des Eaux et Forêts, Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, Université de Kisangani, Kisangani, République Démocratique du Congo (RDC); Département de Gestion des Ressources Naturelles, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa, Kinshasa XI, RDC.

J. Linchant, S. Quevauvillers, P. Lejeune, and C. Vermeulen. Laboratoire de foresterie des régions tropicales et subtropicales, Unité de Gestion des Ressources forestières, Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech, Passage des Déportés, 2, B-5030, Gembloux, Belgique.

J.-M. Kahindo Muhongya. Département de Botanique, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, Kisangani, RDC.

Auteur correspondant : Jean Semeki Ngabinzeke (courriel: jeansemeki@gmail.com).

Les droits d'auteur demeurent la propriété des auteurs ou de leur établissement. Il est possible d'obtenir (gratuitement dans la plupart des cas) l'autorisation de réutiliser du contenu en passant par "<http://www.nrcresearchpress.com/page/authors/services/reprints>".

using the Falcon UAV. Houses, fields, bare ground patches, burned areas, roads and tracks were easily detectable and identified in the videos at a flight altitude of up to 250 m AGL. Artisanal gold mining sites (size ≤ 0.21 ha) are also recognizable on the video and still images. Improvements are needed, notably in photo overlap and georeferencing, but the system shows great potential to ensure detection and continuous surveillance of human activities within protected areas. [Journal translation]

Key words: UAV, protected areas, encroachment, gold panning, Democratic Republic of Congo.

Introduction

La République Démocratique du Congo (RDC) abrite un des plus importants réservoirs de biodiversité planétaire (Eba'a et Bayol 2009). Ce pays possède un vaste réseau d'aires protégées (AP) couvrant environ 10 % du territoire national (Misser 2013). Ce réseau d'AP est l'objet de très fortes pressions anthropiques liées principalement à une démographie galopante, un niveau de vie très bas et l'existence quasi ininterrompue de conflits armés (Vermeulen 2014 ; Pelissier et al. 2015). Parmi les activités anthropiques responsables de dégradations sur ces écosystèmes, on peut citer la production de charbon de bois, l'agriculture sur brûlis, les exploitations minières et forestières illicites, le braconnage, etc. (Potapov et al. 2012). La surveillance de ces activités au sein des AP constitue un défi gigantesque pour les instances responsables de leur gestion.

Actuellement, les images satellitaires constituent la principale source de données pour surveiller les empiètements au sein d'AP (Mascia et al. 2014 ; Nagendra et al. 2015 ; Willis 2015). Cependant, les résolutions spatiale et temporelle de ces données ne sont pas toujours adaptées à l'étendue et la dynamique temporelle des activités étudiées (Nagendra et al. 2013 ; Nackoney et al. 2014). Dans ce contexte particulièrement difficile, il apparaît utile d'explorer de nouvelles méthodes susceptibles de fournir des données d'imagerie adaptées au suivi des activités anthropiques au sein d'AP dans des pays tels que la RDC.

Les récents développements des UAV (unmanned aerial vehicles) dans de nombreuses applications touchant à l'environnement au sens large (Getzin et al. 2012 ; Wing et al. 2013 ; Linchant et al. 2015) laissent à penser que cette technologie pourrait aider à la surveillance et au suivi d'activités humaines au sein d'AP. Une telle utilisation des UAV reste encore très peu documentée au plan scientifique. Ceci s'explique notamment par la dispersion des activités à observer au sein de zones très vastes, peu accessibles et pas toujours sécurisées. Koh et Wich (2012) ont récemment reconnu l'utilité des UAV pour le suivi des activités humaines dans des AP (détection de zone de brûlis, de déboisement, d'ouverture de pistes, etc.).

L'objet de cette note est de présenter les premiers résultats liés à l'utilisation d'un UAV pour l'observation et le suivi d'activités anthropiques au sein du complexe de la Garamba en RDC. Les différents aspects qui ont été abordés concernent la planification des vols, les temps de mise en œuvre, l'impact de la hauteur de vol sur la capacité à détecter et discerner les différentes activités anthropiques.

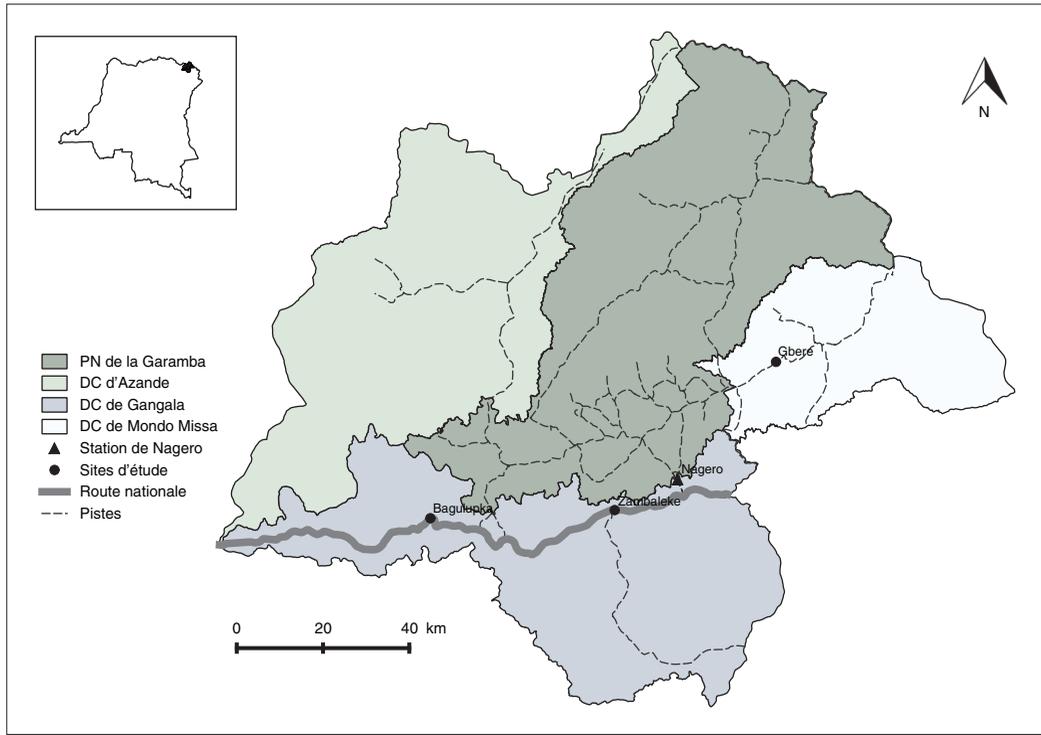
Matériel et méthodes

Les vols ont été réalisés à Zambaleke, Bagulupka et Gbere, trois villages situés dans les domaines de chasse frontaliers du Parc National (PN) de la Garamba, au nord-est de la République Démocratique du Congo (Fig. 1). La pluviométrie moyenne annuelle y était de 1396 mm et la température moyenne annuelle de 25 °C en 2013 (Balimabaki 2014). La végétation naturelle est constituée de forêts denses sèches, de forêts claires et de forêts galeries.

L'UAV Falcon, développé par CLMAX Engineering (Colorado, USA, <http://www.falconunmanned.com>), a été choisi en raison de la modularité de ses capteurs et de l'amélioration constante du système, incluant un étroit partenariat développeur-utilisateur. L'UAV est doté d'une propulsion électrique, alimentée par des batteries au lithium. Il présente une envergure de 2,50 m et un poids total de 6 kg. Son endurance annoncée est de 1 h 15 min pour une vitesse de croisière de 50 km/h. Au niveau des capteurs, le Falcon présente deux configurations: (i) acquisition « vidéo » avec une caméra infrarouge thermique Tamarisk (résolution: 640 × 480) et une caméra Sony Block en couleurs vraies (résolution 640 × 640, équipée d'un zoom optique 10x), et (ii) acquisition « image » avec un appareil Sony Nex7 (résolution : 24,1 mégapixels, objectif : 16 mm). Les caméras vidéo peuvent être orientées manuellement en visée oblique.

Le contrôle et la planification des plans de vol sont réalisés à l'aide du logiciel Mission Planner compatible avec l'autopilote ArduPilotMega (APM). L'UAV peut être piloté en mode autonome ou en

Fig. 1. Localisation de la zone d'étude dans le complexe de la Garamba, nord-est de la RDC. Source: J. Semeki.



mode manuel. La communication radio digitale (2400–2500 MHz) entre l'UAV et la station au sol a une portée maximum de 10 km en l'absence d'obstacle sur la ligne de vue.

Les données ont été acquises entre le 20 août et le 9 septembre 2014 dans les trois villages. Dans un premier temps, la zone à survoler a été circonscrite en suivant une démarche de cartographie participative (Larzilière et al. 2013). Cette étape a permis de limiter les surfaces à couvrir et ainsi de s'affranchir partiellement des problèmes d'endurance de l'UAV. Elle a également servi à obtenir l'adhésion des populations locales à notre étude. Une première série de vols a ensuite été réalisée en mode « vidéo », l'UAV étant piloté manuellement, à des altitudes allant de 150 à 400 m par rapport au niveau du sol. Cette seconde étape visait à vérifier les informations fournies par les villageois, à repérer les zones anthropisées, et à tester différentes hauteurs de vol pour le mode « vidéo ». Pour les sites d'orpaillage du village de Gbere, ces vols ont permis de repérer leurs emplacements précis sans devoir accéder à ces zones peu sécurisées.

Des vols d'acquisition « image » ont ensuite été réalisés sur chaque site. Des survols à une hauteur de 250 m ont d'abord permis une couverture globale et une perception d'ensemble des occupations du sol. La hauteur de vol a ensuite été réduite (100–200 m) sur les centres des villages et les zones de culture, en vue d'évaluer le gain sur le plan de la capacité de discernement des éléments anthropiques. Les mines ont été survolées seulement à une hauteur de 250 m. Pour tous les vols « image », les recouvrements longitudinaux et latéraux ont été fixés respectivement à 60 et 40 %.

Le géoréférencement des images extraites des vidéos a été réalisé par synchronisation des heures d'acquisition des vidéos avec le temps enregistré dans le fichier de position du vol. Pour atténuer l'imprécision liée à la visée oblique des caméras, un géoréférencement manuel a été réalisé sur certains clichés en utilisant comme référence une image Worldview3 accessible sur Google Earth.

Les images acquises avec l'appareil photo ont été géoréférencées à l'aide du logiciel Mission Planner en utilisant les coordonnées GPS enregistrées pendant les vols. Les séries d'images ont ensuite été orthorectifiées et mosaïquées, sans point de contrôle au sol, avec le logiciel Agisoft PhotoScan Professional 1.1.2. L'estimation des surfaces des sites d'orpaillage a été effectuée par digitalisation à l'écran, à l'aide du logiciel Esri ArcGIS 10.2 sur les images fixes géoréférencées.

Fig. 2. Image thermique prise par l'UAV Falcon. Détectabilité aisée des maisons, sols nus, routes et pistes. Image J. Linchant et J. Semeki.



Résultats

Un total de 15 vols a été réalisé, quatre en mode « vidéo » et 11 en mode « image ». Considérant la durée des opérations liées à la réalisation des vols et les conditions météorologiques rencontrées, il est possible de réaliser en moyenne quatre vols quotidiennement.

L'analyse des images « vidéo » a permis de repérer les activités anthropiques les plus importantes : maisons, champs, pistes et zones de brûlis sont discernables jusqu'à une hauteur de vol de 350 m, que ce soit en mode « visible » ou en mode « thermique » (Fig. 2). Ces observations sont réalisables aussi bien en visée verticale qu'oblique. Les colonnes de fumée liées à l'agriculture sur brûlis sont détectables en visée oblique jusqu'à plusieurs kilomètres (Fig. 3). Les sites d'orpillage sont facilement discernables sur les vidéos réalisées à une hauteur de 270 m, avec une préférence pour la caméra thermique (Fig. 4). Si la vidéo s'avère intéressante pour un repérage des activités anthropiques, elle est par contre moins adaptée pour une description détaillée concernant l'usage des bâtiments, le type de cultures, la présence de friches, etc.

En fonction de la hauteur de vol (de 100 à 250 m), la résolution des photos acquises avec le Sony Nex7 varie de 3 à 6 cm/pixel. Cependant, seules les images issues des vols à 250 m d'altitude ont pu être assemblées correctement. Les images issues des autres vols couvrant des surfaces moindres ne présentaient pas suffisamment de points de calage pour pouvoir être assemblées de manière satisfaisante avec Photoscan.

La Fig. 5 présente un extrait d'orthomosaique correspondant à une hauteur de vol de 250 m au-dessus du village de Zambaleke. Cette orthomosaique couvre une surface de 9,5 km² et montre un paysage impacté par les activités anthropiques. La résolution de 10 cm permet une reconnaissance facile des différentes classes d'occupation du sol anthropisé : habitations et zones déboisées pour les cultures. Il est également possible d'identifier certaines cultures, comme du manioc ou une combinaison maïs-riz (Fig. 6).

La Fig. 7 compare, à titre d'illustration, le site d'orpillage de Gbere sur différents types d'images : une photo UAV (résolution 6 cm), une vidéo UAV (résolution 45 cm), une image WorldView-3 (résolution 31 cm) et une image Landsat 8 à affinage panchromatique (résolution 15 m). Cette comparaison

Fig. 3. Image vidéo prise par l'UAV Falcon á 300 m d'altitude. La fumée est facilement observable á l'échelle du paysage. Image J. Lichant et J. Semeki.



Fig. 4. Détectabilité des sites d'orpaillage artisanal illégal á plus de 270 m d'altitude avec l'UAV Falcon sur imagerie thermique. Image J. Linchant et J. Semeki.



J. Unmanned Veh. Sys. Downloaded from www.nrcresearchpress.com by M Jean Semeki Ngabinzeke on 06/08/16
For personal use only.

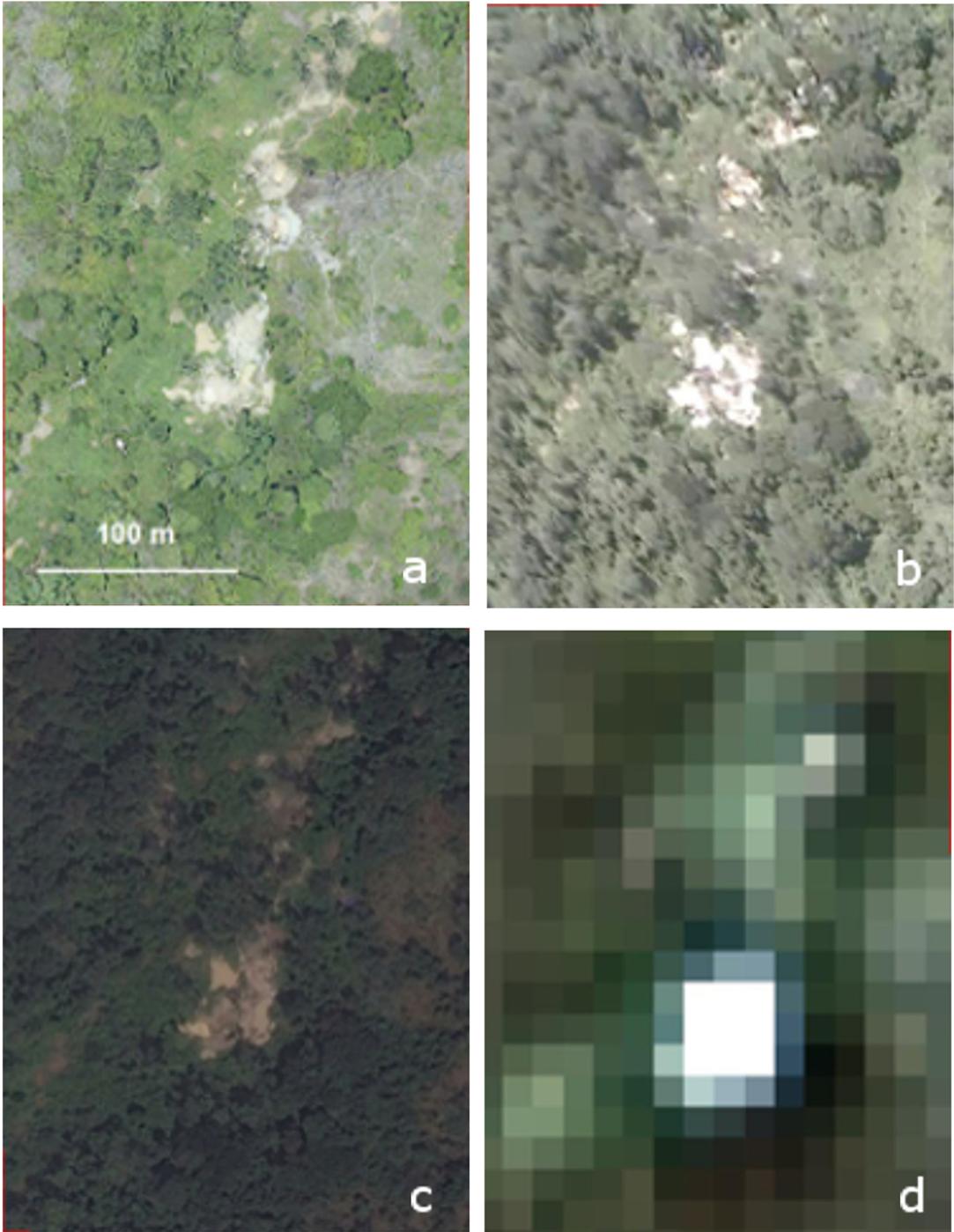
Fig. 5. Orthophoto illustrant un paysage dégradé par les activités anthropiques à Zambaleke. La résolution est de 10 cm. Les maisons, sol nu, pistes, routes, brûlis et d'autres occupations du sol sont facilement reconnaissables. Photo J. Linchant et J. Semeki.



Fig. 6. Exemple de cultures villageoise clairement identifiables à 250 m (résolution de 6 cm/pixel). À gauche un champ mixte maïs-riz, à droite un champ de manioc. Photo J. Linchant et J. Semeki.



Fig. 7. Comparaison de différentes sources de données pour l'observation des sites d'orpaillage artisanal : (a) image fixe UAV (résolution de 7 cm/pixel), (b) image vidéo UAV (résolution de 45 cm/pixel), (c) image WorldView-3 (résolution de 31 cm/pixel) et (d) image Landsat 8 (résolution de 15 m/pixel). Les sites d'orpaillage sont particulièrement reconnaissables sur l'image fixe UAV. Sources: (a, b) J. Linchant et J. Semeki, (c) Google, (d) earthexplorer.usgs.gov.



J. Unmanned Veh. Sys. Downloaded from www.nrcresearchpress.com by M Jean Semeki Ngabinzeke on 06/08/16
For personal use only.

démontre l'intérêt de l'imagerie UAV pour ce type d'observation, la taille des trouées minières sur ce site variant de moins de 0.01 ha (20 m²) à 0.2 ha.

Discussion

Le drone Falcon s'est révélé efficace dans l'exécution des différentes missions réalisées et ce malgré des contraintes environnementales importantes : conditions météo très changeantes et parfois extrêmes (orages), couvert forestier limitant la portée de la transmission vidéo.

Les tests réalisés ont permis de montrer l'utilité de la vidéo retransmise en direct pour repérer à distance les zones impactées par l'homme. Les vidéos thermiques sont particulièrement intéressantes pour leur bonne discrimination des sols nus, souvent synonymes d'activité humaine. Cependant, leur résolution trop faible ne permet pas une caractérisation fine des éléments. La vidéo est principalement utile pour parcourir un périmètre et circonscrire la zone à cartographier par la suite en mode « image ». Les difficultés liées à l'assemblage des images acquises à 100 m de hauteur (3 cm/pixel) en zones forestières et le niveau de détail des images obtenues à 250 m (6 cm/pixel) permettent de conclure que cette dernière configuration est satisfaisante pour caractériser les activités humaines, ainsi que d'assurer le traitement photogrammétrique. D'autres travaux sont nécessaires pour effectuer des analyses quantitatives de ces données.

Dans le cas particulier des mines, la comparaison avec les images satellitaires démontre l'intérêt des images UAV. En effet, seuls des objets de taille d'au moins trois à quatre fois supérieure à la taille des pixels peuvent être cartographiés (Wellens et al. 2013). Même si les images WorldView-3 permettent une visualisation assez aisée des sites d'orpillage, leur coût élevé et la présence très fréquente d'une couverture nuageuse, même partielle, sont très pénalisants.

Conclusion

Cette étude a montré que, malgré ses limites actuelles, la technologie UAV présente un potentiel pour la gestion des AP. Sa facilité de déploiement permet d'analyser la dynamique de l'utilisation des terres à l'aide d'images à très haute résolution spatiale et temporelle, et d'identifier les zones les plus touchées. Ainsi, l'identification des zones d'orpillage constitue une avancée significative pour la gestion des AP en RDC, l'expansion de cette activité constituant une sérieuse menace (De Failly 2013). La détection précoce de ces sites devrait permettre une expulsion socialement plus acceptable avant l'installation pérenne des villageois.

Remerciements

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet WiMUAS (Wildlife Monitoring with Unmanned Aerial Systems) développé par Gembloux Agro-Bio Tech, financé par le Centre de recherche forestière internationale (CIFOR) et l'Union européenne dans le cadre du projet Forêts et Changement Climatique au Congo (FCCC), auxquels les auteurs tiennent à présenter leurs sincères remerciements. Nous remercions également le bureau d'étude R&SD (Ressources & Synergies Development) pour son apport logistique dans l'exécution de cette recherche. Enfin, nous tenons à remercier l'Institut Congolais pour la Conservation de la Nature (ICCN) et African Parks Network pour avoir accepté ce projet au Parc National de la Garamba et pour leur appui logistique et sécuritaire lors de la collecte des données. Nos remerciements s'adressent également à Chris Miser, développeur du système Falcon pour son appui technique à distance tout au long de nos travaux de terrain.

Bibliographie

- Balimabaki, A. 2014. Rapport annuel 2013. Parc National de la Garamba. Nagero, RDC: ICCN, African Parks Network. Département de recherche et monitoring-23.
- De Failly, D. 2013. Le secteur minier en RDC: quelle transformation pour quel développement? In *Politique étrangère*. 2: 113–123. doi: 10.3917/pe.132.0113.
- Eba'a, A.R., and Bayol, N. 2009. Les forêts de la République Démocratique du Congo. Dans *Les forêts du Bassin du Congo: Etat des forêts 2008*. In C. De Wasseige, D. Devers, P. De Marcken, A.R. Eba'a, R. Nasi and P. Mayaux (Eds.), *Sous la direction de* (pp. 115–128). Office des publications de l'UE, Luxembourg.
- Getzin, S., Wiegand, K., and Schöningh, I. 2012. Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles. *Methods Ecol. Evol.* 3(2): 397–404. doi: 10.1111/j.2041-210X.2011.00158.x.
- Koh, L.P., and Wich, S.A. 2012. Dawn of drone ecology: Low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Trop. Conserv. Sci.* 5(2): 121–132. doi: 10.5167/uzh-72781.
- Larzilière, A., Vermeulen, C., Dubiez, E., Yamba Yamba, T., Diowo, S., and Mumbere, G. 2013. La maquette interactive, un outil novateur de participation. *Bois et Forêts Des Trop.* 315(1): 21–28.
- Linchant, J., Lisein, J., Semeki, N.J., Lejeune, P., and Vermeulen, C. 2015. Are UAS the future of wildlife monitoring? A review of the accomplishments and challenges. *Mammal Rev.* 45: 239–252. doi: 10.1111/mam.12046.

- Mascia, M.B., Pailler, S., Krithivasan, R., Roshchanka, V., Burns, D., Mloth McCard, J., Murray, D.R., and Peng, N. 2014. Protected area downgrading, downsizing, and degazettement (PADDD) in Africa, Asia, and Latin America and the Caribbean, 1900–2010. *Biologi. Conser.* **169**: 355–361. doi: 10.1016/j.biocon.2013.11.021.
- Misser, F. 2013. Les aires protégées en République Démocratique du Congo: menaces et défis. L'action de l'Union européenne. *Parcs Réser.* **68**(3): 1–51.
- Nackoney, J., Molinario, G., Potapov, P., Turubanova, S., Hansen, M.C., and Furuichi, T. 2014. Impacts of civil conflict on primary forest habitat in northern Democratic Republic of Congo, 1990–2010. *Biolog. Conserv.* **170**: 321–328. doi: 10.1016/j.biocon.2013.12.033.
- Nagendra, H., Lucas, R., Honrado, J.P., Jongman, R.H.G., Tarantino, C., Adamo, M., and Mairota, P. 2013. Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity and threats. *Ecol. Indic.* **33**: 45–59. doi: 10.1016/j.ecolind.2012.09.014.
- Nagendra, H., Mariota, P., Marangi, C., Lucas, R., Dimopoulos, P., Honrado, J.P., Niphadkar, M., Múcher, C.A., Tomaselli, V., Panitsa, M., et al. 2015. Satellite earth observation data to identify anthropogenic pressures in selected protected areas. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinform.* **37**: 124–132. doi: 10.1016/j.jag.2014.10.010.
- Pelissier, C., De Marcken, P., Mapilanga wa Tsaramu, J.-P., and Wilungula, C.B. 2015. République Démocratique du Congo. In C. Doumenge, F. Palla, F. Hiol Hiol and A. Larzilière (Eds.), *Dans aires protégées d'Afrique Centrale-Etat 2015* (pp. 112–143). Kinshasa, RDC: OFAC.
- Potapov, P., Turubanova, S.A., Hansen, M.C., Adesei, B., Broich, M., Altstatt, A., Manne, L., and Justice, C.O. 2012. Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000–2010, with Landsat ETM+ data. *Remote Sens. Env.* **122**: 106–116. doi: 10.1016/j.rse.2011.08.027.
- Vermeulen, C. 2014. Enjeux autour des forêts congolaises. *Cahiers Afri.* **84**: 223–235.
- Wellens, J., Midekor, A., Traore, F., and Tychon, B. 2013. An easy and low-cost method for preprocessing and matching small-scale amateur Aerial photography for assessing agricultural land use in Burkina Faso. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinfor.* **23**: 273–278. doi: 10.1016/j.jag.2012.09.007.
- Willis, K.S. 2015. Remote sensing change detection for ecological monitoring in United States protected areas. *Biologi. Conserv.* **182**: 233–242. doi: 10.1016/j.biocon.2014.12.006.
- Wing, M.G., Burnett, J., Sessions, J., Brungardt, J., Cordell, V., Dobler, D., and Wilson, D. 2013. Eyes in the sky: Remote sensing technology development using small unmanned aircraft systems. *J. Forest.* **111**: 341–347. doi: 10.5849/jof.12-117.