PROSPECTION LIDAR AÉROPORTÉE PAR DRONE

TOPOGRAPHIE DE TERRAINS BOISÉS

Les prospections lidar aéroportées par drone sont plébiscitées pour la cartographie de précision sous couvert végétal. Après avoir synthétisé le principe de la mesure et les choix techniques retenus, cet article relate deux missions réalisées par la société de prospection Aird'Eco-Drone. Les observations recueillies lors de ces travaux permettent d'apprécier la possibilité d'adapter le mode opératoire de la prospection afin de l'utiliser tout au long de l'année.

Hexacoptère DPS6 équipé du Surveyor devant le château de Meung-sur-Loire.

© XAVIER LELEVÉ

Depuis que les capteurs lidar *(Light Detection And Ranging)* ont été miniaturisés et adaptés à leur emport par drone (2010-2012), un large champ d'application s'est ouvert, complétant la gamme des mesures lidar obtenues à partir d'autres aéronefs (avions, hélicoptères).

Grâce à la maniabilité et au domaine de vol des drones, en particulier des multicoptères à énergie électrique, des mesures plus denses peuvent être effectuées, mais sur des zones plus réduites (quelques dizaines d'hectares par jour) du fait de leur autonomie énergétique (limite d'emport des batteries LiPo liée à leur poids).

ÉQUIPEMENT DRONE ET CAPTEUR

Les missions choisies pour illustrer le propos de cet article ont été réalisées avec un Surveyor de la société YellowScan (YS) **(photo 1)**.

Cet instrument intègre un scanner Velodyne VLP16, qui émet des ondes laser de classe 1 (300 000 impulsions/seconde) dans un faisceau de balayage de 360° x 30°. La précision théorique de sa mesure est de 5 cm moyen. Cette caractéristique a pu être vérifiée ponctuellement sur des surfaces planes et dégagées (routes, tampons) en comparant les mesures d'un Surveyor à des mesures topographiques de calage (jusqu'à 3 à 4 cm en x, y et z). Le capteur intègre également une centrale inertielle Applanix 15 IH qui enregistre les trajectoires de vol. Le capteur fonctionne en entière autonomie par rapport au drone qui le véhicule.

Le capteur est porté sous un drone hexacoptère DPS6 spécialement conçu pour porter des masses « importantes », puisqu'il embarque :

- les batteries pour une autonomie de 15-20 minutes ;
- le capteur lui-même, d'un poids de 1,2 kg ;
- son antenne GPS ;
- les équipements annexes requis (en particulier un parachute à extracteur pyrotechnique) pour voler en « scénario S3 », c'est-à-dire en zones urbaines ou « peuplées » au sens réglementaire français[1] (arrêté du 18 mai 2018).

Ce drone équipé du capteur lidar affiche un poids de 6 kg au décollage. Il peut également emporter un appareil photographique qui, couplé au Surveyor, permet de texturiser les nuages de points ou de produire des orthophotos, à l'instar de la photogrammétrie.

Ce drone fait partie de la flotte de la société Aird'Eco-Drone, spécialisée en prospection géophysique aéroportée, tout particulièrement en lidar. Historiquement engagée sur des projets archéologiques,

AUTEUR

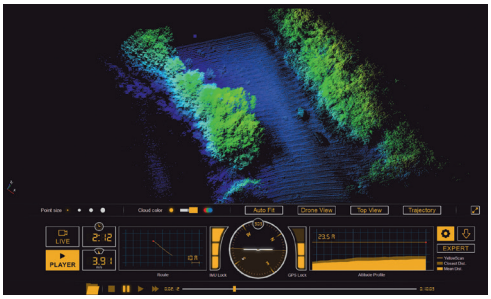
Isabelle Heitz
Fondatrice
Aird'EcoDrone

Aird'Eco-Drone intervient auprès de géomètres, d'aménageurs et de chercheurs pour qui la mesure de la topographie, voire de la microtopographie, de zones boisées ou inaccessibles est une aide précieuse. De telles prospections sont un complément ou une alternative à la photogrammétrie lorsque celle-ci n'est pas réalisable. Comparée à la photogrammétrie, la prospection lidar aéroportée par drone contribue à :

- s'affranchir du couvert végétal ;
- couvrir de plus grandes surfaces ;
- ne pas tenir compte des variations de luminosité et contrastes au sol ;
- visualiser le nuage de points plus rapidement, voire pendant le vol du drone (pré-traitement des données).

En effet, une interface (YS LiveStation) dédiée sur PC, reliée au Surveyor par radio, peut afficher les nuages de points de chaque ligne de vol en temps réel, pendant le vol. Utilisée en lecteur, cette application peut également traiter les données stockées sur une clef USB afin de « rejouer » le vol (figure 1).

–Figure 1–
YS LiveStation montrant la trajectoire du drone et le nuage de points allégé calculé instantanément.



© AIRDECODRONE

Cette visualisation du nuage de points sur le terrain permet :

- à l'opérateur de s'assurer de la pertinence des données obtenues ;
- de montrer à des tierces personnes (partenaires du projet, clients…) en quoi consiste la prospection lidar : une coupe dans le nuage de points faisant apparaître le sol, les arbres, le bâti, le cas échéant, colorisée selon z par exemple, très didactique, facilite l'explication du principe du calcul du modèle numérique de terrain (MNT) (figure 2).

POST-TRAITEMENT

Le post-traitement comporte plusieurs étapes :

- le recalcul des trajectoires avec les données inertielles et GPS ;
- le calcul des fichiers .LAS grâce à un plugin dans QGIS utilisant les données du capteur lidar et des trajectoires précédemment géoréférencées ;
- l'ajustement des lignes de vols entre elles et l'obtention du nuage de points final.

Ce nuage de points est ensuite exploité classiquement :

- classification : détaillée, en distinguant plusieurs classes en fonction de leur hauteur (végétation haute, basse, bâti, véhicules…), ou plus simple, en distinguant le sol et ce qui est au-dessus ;
- calcul du MNT, du modèle numérique de surface (MNS), des courbes de niveau... ;
- traitement du MNT par ombrage, pente, rugosité… afin de faire apparaître d'éventuels artéfacts ;
- calcul du modèle 3D, impression de maquette...

MICROTOPOGRAPHIE D'UNE ZONE BOISÉE DU PARC DU CHÂTEAU DE MEUNG-SUR-LOIRE

RÉALISATION DE LA MISSION

Les objectifs du client, le propriétaire du château, étaient d'obtenir un plan topographique d'ensemble du parc du château, qui pourrait servir de support aux prospections géophysiques envisagées, et de découvrir des traces du passé non visibles au sol. En effet, une gravure de 1771 montrait l'extension des jardins à la française, enfouis à l'époque de la Révolution française. Une prospection par lidar saurait-elle en retrouver les traces ?

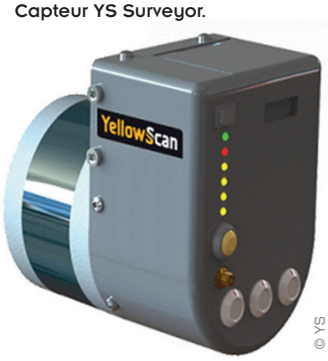
La mission a été programmée début avril 2018, juste avant la poussée des feuilles, afin de s'assurer de la meilleure pénétration des ondes lidar à travers le massif boisé. Le parc étant petit (6 ha), pour obtenir le plus de détails possible, il a été quadrillé par quatre vols, effectués à une hauteur de 40 mètres par rapport au sol. Les lignes de vol ont été écartées de 35 mètres pour un recouvrement supérieur à 50 %. Le drone se déplaçait à 5 m/s.

Une station au sol RTK, implantée dans une zone dégagée du parc, a enregistré les données satellitaires pendant plus de 3 heures pour post-traitement. La prospection a été réalisée en une demi-journée, malgré les mauvaises conditions météorologiques.

RÉSULTATS

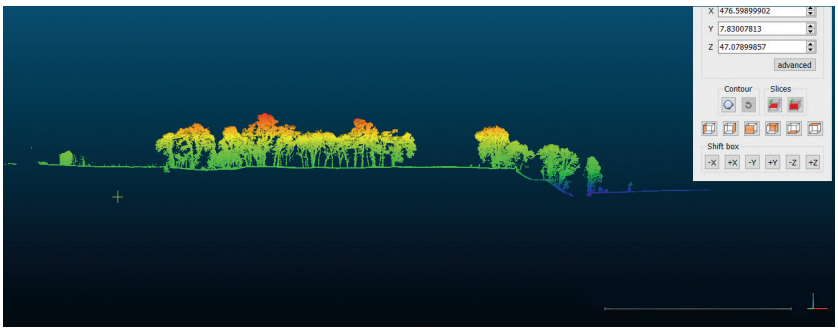
Le nuage de points obtenu (figure 3) compte 91 millions de points (15 millions de points par hectare en moyenne), autorisant le calcul d'un MNT à la précision de 5 cm. Ce MNT a été ombré avec le logiciel QGIS, révélant un certain nombre d'artéfacts (figure 4).

–Photo 1–
Capteur YS Surveyor.

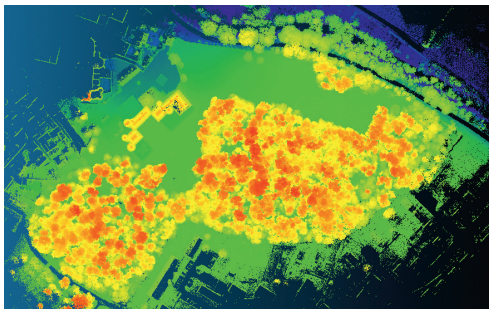


© YS

–Figure 2–
Grâce à cette coupe dans un nuage de points, colorisé selon z, la densité de points « sol » sous les arbres et la déclivité du terrain peuvent être appréciées.

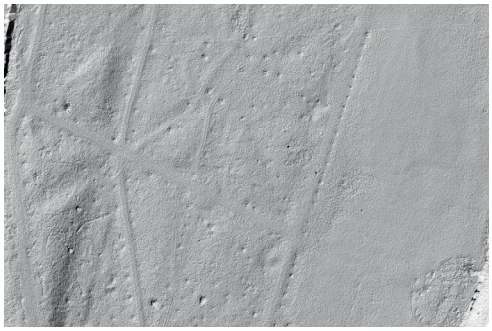


© AIRDECODRONE



© AIRD'ECO-DRONE

–Figure 3–
Nuage de points colorisé selon z où l'on reconnaît le château, les zones boisées et la prairie.



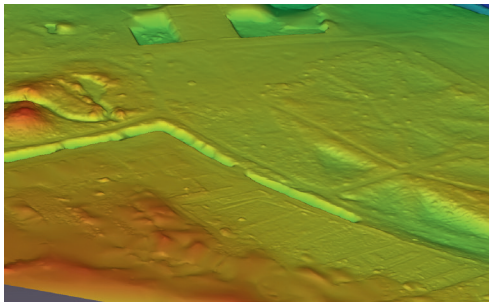
© AIRD'ECO-DRONE

–Figure 4–
Ombrage du MNT et mise en évidence topographique du schéma des jardins à la française.

Les résultats allaient au-delà des espérances d'Aird'Eco-Drone : les jardins à la française sont immédiatement apparus dans leur quasi intégralité (allées, bassins…) alors que rien n'était observable sur le terrain. Le tracé d'une ancienne « fausse » rivière s'est aussi dessiné clairement sur tout le côté est du parc (figure 5). D'autres artéfacts ont été révélés, notamment des alignements prenant leur origine au niveau du château, qui pourraient être d'anciennes canalisations ou d'anciens souterrains. Une prospection géophysique est programmée pour lever ces ambigüités.

Le levé lidar du parc et du château a également contribué à le modéliser dans son ensemble (parc et édifices). Un résumé montre les différentes possibilités visuelles à disposition. La modélisation permet aussi des effets « cinématographiques » de déplacement virtuel dans le modèle 3D, à la manière d'un drone qui volerait au-dessus du terrain débarrassé de sa végétation.

Du fait du nombre et du resserrement des lignes de vol, les densités de points sol/m² mesurées sont importantes : de l'ordre de 400 points dans les zones boisées sans feuille, ce qui rend possible une très grande précision cartographique, et de l'ordre de 1 800 points dans les zones herbeuses, densité surdimensionnée.



© AIRD'ECO-DRONE

–Figure 5–
Modèle 3D colorisé selon z : la topographie souligne le plan des jardins à la française (à droite) et le tracé d'une fausse-rivière (à gauche).

Cette prospection tout à fait singulière montre qu'en adaptant le protocole de mesure, une carte « microtopographique » peut aisément être obtenue à la précision de 5 cm, qui donne du sens aux dénivellations décimétriques d'un terrain boisé, témoins de l'impact à long terme d'aménagements historiques.

LEVÉ TOPOGRAPHIQUE D'UNE EXTENSION DE CARRIÈRE BOISÉE

RÉALISATION DE LA MISSION

Le client, un cabinet de géomètre, avait pour mission de réaliser un plan topographique d'une extension de carrière, partiellement boisée, dans un délai très court. Le choix s'est porté sur une prospection lidar comme alternative à la photogrammétrie et à titre de test méthodologique.

Le couvert végétal est constitué de quelques résineux, d'arbres à feuilles caduques (chênes, noisetiers, bouleaux), de genêts et de ronces. Après vérification que des rayons lumineux pouvaient a minima traverser la canopée, la mission a été programmée sans attendre, en août 2018.

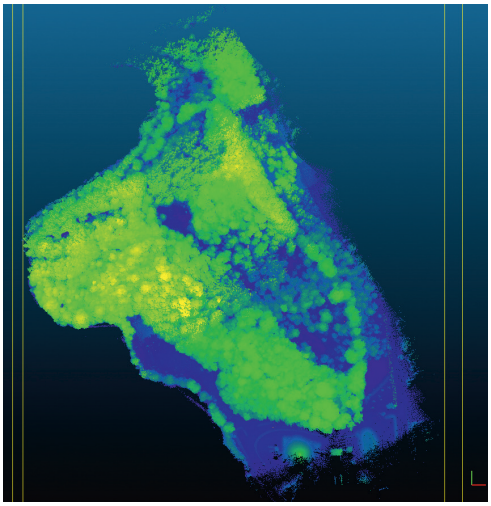
La base sol RTK a été laissée en poste fixe pendant 3 heures, et 5 vols ont été réalisés, couvrant la zone de 11 hectares en une demi-journée d'opération. Afin d'être assuré d'obtenir une densité de points sol compatible avec la précision recherchée (5 à 15 cm), les lignes de vol ont été croisées au-dessus des zones boisées les plus denses.

Le drone a volé à 4 m/s, à une hauteur de 40 mètres par rapport au sol, les lignes de vol étant distantes de 40 mètres afin d'obtenir un recouvrement minimum des mesures de 50 %.

RÉSULTATS OBTENUS

Le nuage compte 191 millions de points (17 millions de points/ha en moyenne) (figure 6).

–Figure 6–
Nuage de points permettant d'apprécier la végétation haute (colorisation selon z).



© AIRD'ECO-DRONE

Sur une section du nuage de points, on peut visualiser les points sol générés par une seule ligne de vol (figure 7) : de larges zones restent « muettes », correspondant aux zones où les ondes du lidar n'ont pas pu pénétrer en raison d'une végétation trop dense. La figure 8 montre la même section avec les points générés par toutes les lignes de vol de la mission. On obtient alors un « sol » quasi continu, en tous cas compatible avec la précision recherchée (5 à 15 cm). Dans un environnement difficile, c'est bien la multiplication des passages du drone, volant à une même altitude et émettant des ondes avec des angles variés, qui augmente leur degré de pénétration dans la végétation.

La carte des densités (figure 9) indique le nombre de points sol obtenus sur une frange de 10 cm par rapport aux points mesurés les plus bas (classe « sol ») et aide à apprécier les variations de densité selon les différentes couvertures végétales. Dans la zone boisée, cette densité oscille entre 1 et 30 points au m². Seules des zones non significatives par rapport à l'étendue du terrain (en bleu sur la carte) n'ont pas été atteintes.

Compte tenu de la répartition spatiale de ces densités et de la morphologie générale du terrain, le calcul d'un MNT à la maille de 10 cm a pu être réalisé, permettant de détailler des petits fossés, pistes et autres irrégularités décimétriques du terrain.

CONCLUSION

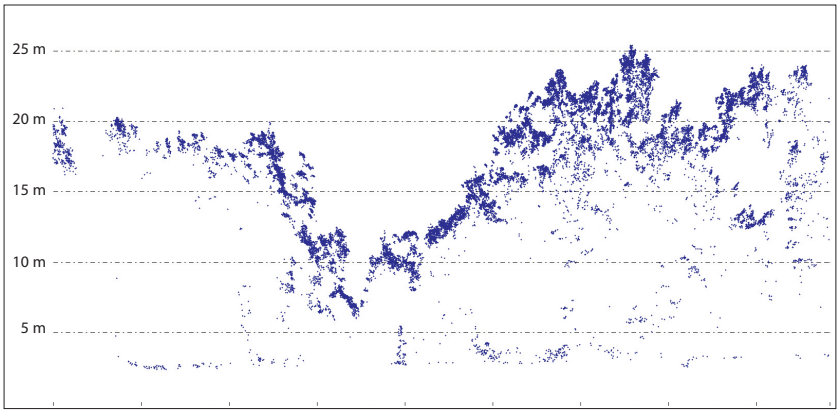
Grâce aux mesures lidar aéroportées par drone, les données topographiques d'un terrain peuvent être obtenues rapidement, même s'il est recouvert de végétation basse et d'arbres à feuilles caduques ou persistantes, en toute saison : tout dépend du couvert végétal et de la précision recherchée !

La conjonction d'un capteur puissant, c'est-à-dire émettant beaucoup de rayonnement avec des angles très différents, d'une centrale inertielle performante et, surtout, d'un plan de vol adapté contribuent à une précision de 5 à 15 cm dans la plupart des cas.

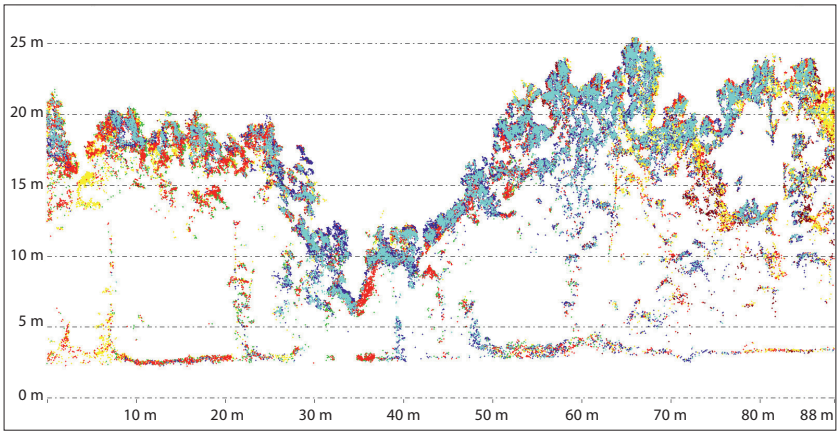
La limitation est la nature de ce couvert végétal. Le lidar n'a pas le pouvoir de « traverser » la matière, mais les ondes laser s'insinuent dans tous les interstices de la canopée. Le couvert végétal peut varier localement sur un même terrain : essences différentes, santé des arbres développant un feuillage plus ou moins dense...

La pénétration du lidar étant a priori difficile à prévoir, il convient d'être réactif sur le terrain. Les plans de vol doivent être préparés minutieusement à l'avance, en prenant en compte la physionomie des lieux, et adaptés sur place. La visualisation, par un opérateur d'expérience, du nuage de points calculé sur le terrain, permet de confirmer la pénétration suffisante des ondes du lidar en cas de zones boisées très denses et en pleine végétation. ■

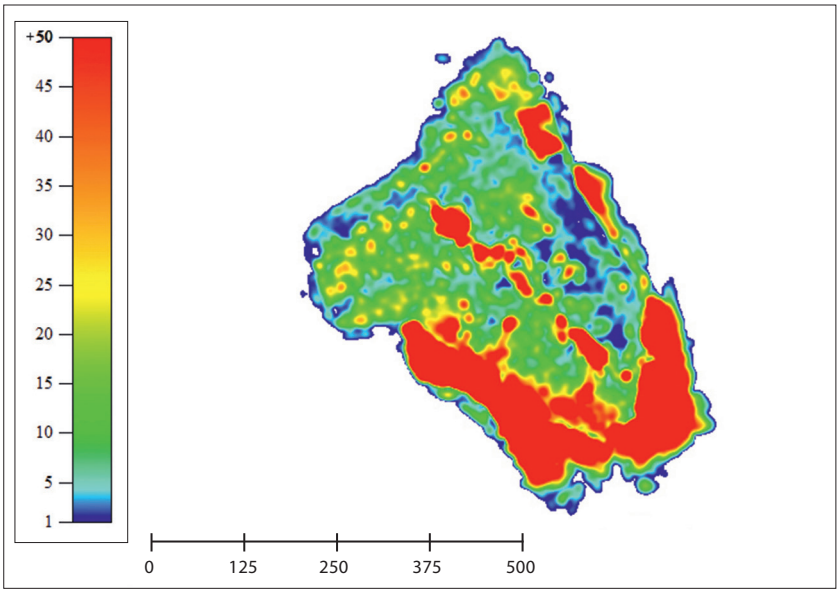
–Figure 7–
Coupe dans le nuage de points généré par une ligne de vol.



–Figure 8–
Coupe dans le nuage de points généré par sept lignes de vol.



–Figure 9–
Carte des densités entre 0 et 50 points « sol » au m².



RÉFÉRENCES

1. Arrêté du 18 mai 2018 relatif aux exigences applicables aux télépilotes qui utilisent des aéronefs civils circulant sans personne à bord à des fins autres que le loisir.

2. I. Heitz, D. Jagu, « Modélisation d'un oppidum sous couvert végétal dense, en Eure & Loir, par un lidar aéroporté par drone », *Revue xyz* n° 153, Association française de topographie (AFT), 2017.