

Inspection d'un gazoduc par drone en mode BVLOS

Grâce à l'autorisation de vol «hors vue» (BVLOS) obtenue en début d'année 2017, les entreprises Gaznat et senseFly se sont associées pour la réalisation de l'inspection d'un gazoduc par drone sur une distance de 30 km à travers le canton de Vaud. L'opération d'un drone avec les performances nécessaires (autonomie, précision, flexibilité) est une condition nécessaire mais pas suffisante à la réalisation d'un tel projet. Les défis logistiques comme la planification avec les organes de régulation, les communications sur le terrain, les déplacements coordonnés, etc. ont rendu l'opération particulièrement intéressante et enrichissante. Le potentiel de l'application du BVLOS sur des objets linéaires (*corridor mapping*) est évident et cette première expérience est un pas vers la généralisation de ce procédé en toute sécurité.

Dank der Anfang 2017 erhaltenen Bewilligung für einen Flug ohne Augenkontakt (BVLOS) haben sich die Unternehmen GAZNAT und senseFly zusammengeschlossen, um die Inspektion einer 30 km langen Gasleitung im Kanton Waadt mit einer Drohne zu realisieren. Der Einsatz einer Drohne mit den erforderlichen Eigenschaften (Reichweite, Genauigkeit, Flexibilität) ist eine notwendige, aber nicht genügende Bedingung für die Verwirklichung eines solchen Vorhabens. Die logistischen Herausforderungen bei der Planung mit den Zulassungsbehörden, der Kommunikation im Feld, der koordinierten Verschiebungen usw. haben diese Operation ausserordentlich interessant und bereichernd gestaltet. Das Anwendungspotenzial des BVLOS für lineare Objekte (corridor mapping) ist augenfällig; diese erste Erfahrung ist ein Schritt zur allgemeinen Anwendung dieses Verfahrens in aller Sicherheit

Grâce à l'autorisation de vol «hors vue» (BVLOS) obtenue en début d'année 2017, les entreprises Gaznat et senseFly se sont associées pour la réalisation de l'inspection d'un gazoduc par drone sur une distance de 30 km à travers le canton de Vaud. L'opération d'un drone avec les performances nécessaires (autonomie, précision, flexibilité) est une condition nécessaire mais pas suffisante à la réalisation d'un tel projet. Les défis logistiques comme la planification avec les organes de régulation, les communications sur le terrain, les déplacements coordonnés, etc. ont rendu l'opération particulièrement intéressante et enrichissante. Le potentiel de l'application du BVLOS sur des objets linéaires (*corridor mapping*) est évident et cette première expérience est un pas vers la généralisation de ce procédé en toute sécurité.

F. Volluz, S. Dépraz, F. Gervais

Tout au long de la chaîne gazière, Gaznat s'engage à transporter et fournir du gaz naturel à ses clients et partenaires aux meilleures conditions de sécurité et de prix. Le gaz naturel représentant une part essentielle du futur mix énergétique suisse et mondial, il est essentiel pour Gaznat de valoriser et de promouvoir cette commodité afin qu'elle trouve sa juste place et puisse servir au mieux la sécurité

d'approvisionnement du citoyen. De par ses actions techniques, commerciales mais également en termes de recherche et développement, Gaznat s'engage à faire progresser le domaine gazier afin que ce dernier s'adapte au mieux à l'évolution de la technologie et notamment de la digitalisation de la société.

Fondée en 2009, senseFly développe et construit des drones civils pour rendre le travail des professionnels plus sûr et plus efficace. Ses solutions de drone éprouvées simplifient l'acquisition et l'analyse

de données géospatiales, permettant aux professionnels de la géomatique, de l'agriculture, de l'ingénierie et de l'aide humanitaire de prendre de meilleures décisions, plus rapidement.

La dernière évolution des drones à voilure fixe eBee Plus inclut quatre éléments novateurs: un temps de vol augmenté jusqu'à une heure, une caméra dédiée aux applications par drone et leurs conditions spécifiques, l'aide du GNSS précis en temps réel (RTK¹) et en post traitement (PPK²), ainsi que la troisième version du logiciel eMotion3 de planification, exécution et traitement des vols. Les conditions sont donc réunies pour des applications sur des surfaces et des distances plus grandes, au-delà de la portée visuelle. Le contexte permettant les vols «hors vue» (Beyond Visual Line of Sight, BVLOS) sont décrites dans l'encadré ci-dessous.

Objectif

Une des applications qui se déroulent sur de grandes distances, nécessitant autonomie et précision, est l'inspection d'infrastructures linéaires telles que routes, voies de chemin de fer, lignes à haute tension et pipeline. Ce dernier exemple est peut-être le moins immédiat en Suisse, c'est pourtant une activité qui est pratiquée régulièrement sur des gazoducs enterrés, par hélicoptère ou par méthodes terrestres. C'est une de ces tâches que Gaznat a choisi de réaliser à titre exploratoire en collaboration avec senseFly. L'ordonnance fédérale concernant les prescriptions de sécurité pour les installations de transport par conduites sur les pipelines (OSITC, RS 746.12) stipule à son art. 39 que «La conduite doit être enterrée. Le recouvrement doit être d'au moins un mètre mais de quatre mètres au plus à partir de la génératrice supérieure du tube». Il s'agit de contrôler a posteriori et régulièrement que la hauteur du modèle numérique de terrain (MNT) est comprise entre 1 et 4 m au-dessus de la conduite. Les variations peuvent être dues à l'érosion ou au dépôt naturel ou artificiel de matériaux.

Le but de la mission était donc de réaliser un corridor de MNT avec une précision



Fig. 1: Le nuage de points colorés résultant, où l'on reconnaît un panneau orange caractéristique et la forme en corridor suivant le tracé.

de 10 cm (1σ), sur une largeur d'environ 50 m (soit 25 m de part et d'autre du tracé de la conduite) afin de permettre la génération de profils en travers et d'un profil en long axé sur le gazoduc. Le tronçon utilisé pour ce test est le gazoduc G300 12'' Tolochenaz-Orbe, construit en 1973, d'une longueur de 30 km, qui relie les communes de Tolochenaz et d'Orbe dans le canton de Vaud.

Méthodologie

Une réalisation par tronçons de 1 à 2 km afin de respecter la condition de contact visuel aurait rendu l'opération peu rationnelle, cette mission se destinait donc naturellement à une première application du BVLOS dans un cadre de production. La méthodologie utilisée est le nouveau *mission block* «Corridor Mapping» de eMotion qui permet en quelques clics de planifier une succession de tronçons de trois lignes parallèles distantes de 25 m. Ces trois lignes s'expliquent simplement: le GNSS précis fournit la géolocalisation directe (position) mais pas le géoréférencement direct (position + orientation). Pour garantir la stabilité des images dans l'espace en particulier en roulis, deux lignes sont nécessaires. Or, comme le but est d'avancer de tronçon en tronçon, il était judicieux de réaliser un nombre impair de lignes, selon la séquence A → B

→ A → B → C → B → C → D, etc. Cette triple couverture, une fois à gauche de l'axe, une fois sur l'axe, une fois à droite de l'axe, permet une redondance bienvenue lors de la présence d'arbres ou bâtiments. Et plus généralement, la reconstruction photogrammétrique est plus précise et fiable avec des images de part et d'autre du corridor. Le drone est ainsi capable de parcourir jusqu'à 6 km de linéaire en 50 minutes environ, pour un total de 18 km de lignes de vol, auquel-

les il faut ajouter les manœuvres d'approche et entre les lignes. Ceci correspond à une utilisation optimale de l'autonomie du drone, sans prise de risque par rapport aux impondérables ou la nécessité d'une manœuvre d'attente ou de repli.

Résultats

Les résultats sont les suivants: en un jour, six vols depuis trois emplacements différents (Pilot in Command, PIC), une fois vers le sud, une fois vers le nord, parfois avec le même observateur (Visual Observer, VO) se déplaçant d'un secteur à l'autre. 2400 images de 20 Mpixels avec une taille de pixel au sol (GSD) de 2,5 cm ont été acquises selon le schéma en trois lignes parallèles expliqué précédemment. Ceci a permis la reconstruction à l'aide du logiciel Mapper de Pix4D et la génération de nuages de points pour un total de 600 millions de points (Fig. 1). Un modèle 3D texturé (mesh) a également été généré, pour des fins de visualisation uniquement. L'orthomosaïque n'était pas nécessaire pour ce projet, elle a néanmoins été générée à une résolution réduite afin de permettre une manipulation aisée. En effet, les traditionnels fichiers TIFF (ou autres) rectangulaires, orientés selon les

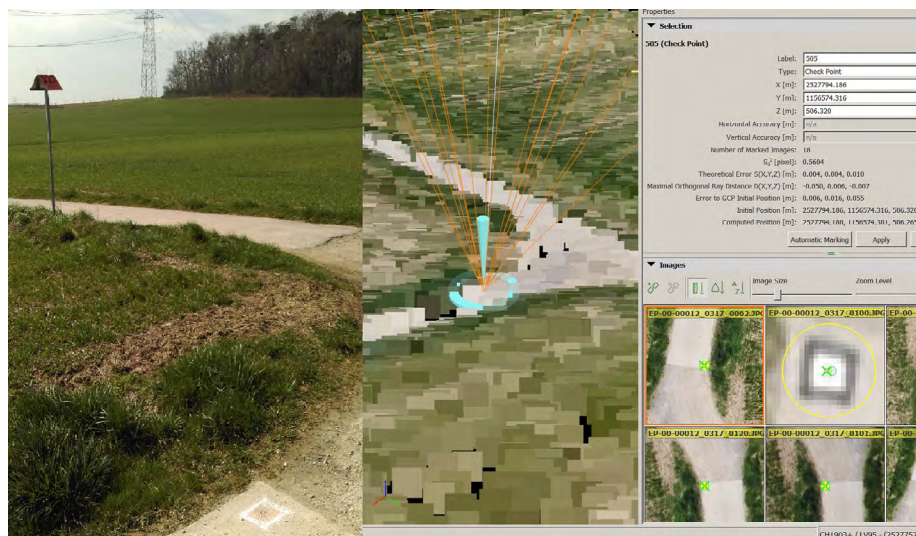


Fig. 2: La mesure d'un PPF3 3D disponible sur le tracé, à titre de contrôle uniquement, la géolocalisation se faisant sur la base du GNSS précis en mode RTK et PPK. A gauche, le point avant signalisation; à gauche, la vue 3D du faisceau de rayons; à droite, les multiples mesures monoscopiques et les écarts résultants.

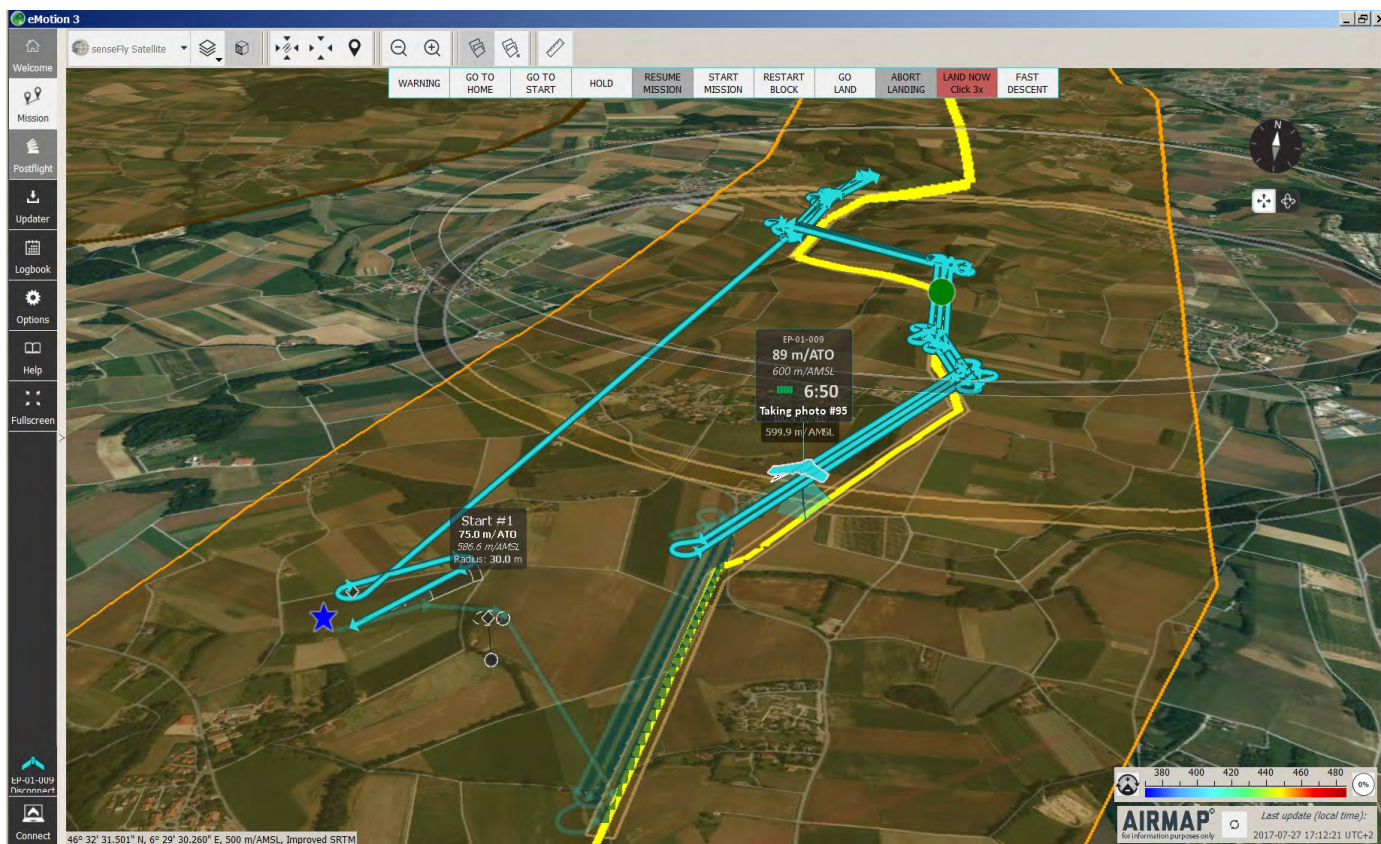


Fig. 3: Une partie de l'interface du PIC, avec le tracé du gazoduc en jaune, le corridor réservé pour le BVLOS en orange, la trajectoire du drone en cyan, la position du PIC en bleu et celle de l'observateur en vert et son espace d'observation (rayon = 2 km) en grisé.

Vols «hors vue»: BVLOS

La vaste majorité des autorités de l'aviation civile au niveau mondial considèrent deux principaux types de risques pour les opérations de drones: le risque de *collision aérienne* et le risque de *collision avec des tiers au sol*. Les réglementations nationales se sont mises en place avec pour objectif de limiter ces principaux risques à un niveau *acceptable*. L'opérateur doit donc garder le drone *en vue* – Visual Line of Sight (VLOS) afin de justement réduire les risques à un niveau *acceptable*. C'est également le cas en Suisse, selon l'Ordonnance du DETEC sur les aéronefs de catégories spéciales (RS 748.941).

Cette contrainte de vol VLOS est bien entendu très limitante pour les applications nécessitant des missions sur de grandes distances ou de grandes superficies. C'est pourquoi plusieurs pays, et notamment la Suisse qui a fait oeuvre de pionnier grâce à l'attitude in-

novante de l'Office Fédéral de l'Aviation Civile (OFAC), ont donc rapidement développé des conditions permettant d'opérer à distance plus grande de l'opérateur. On trouve deux principales terminologies: *Extended Visual Line of Sight (EVLOS)* qui repose en général sur l'introduction d'observateurs ou de systèmes optiques pour aider l'opérateur dans sa tâche d'évitement de collision aérienne et *Beyond Visual Line of Sight (BVLOS)* qui est le terme le plus souvent rencontré pour qualifier le vol «hors vue».

Ces opérations hors vue sont possibles en introduisant des contraintes opérationnelles supplémentaires ou des mesures de sécurité pour garantir que le risque reste *acceptable*. En Suisse, senseFly a été le premier opérateur à obtenir de l'OFAC une autorisation de vols hors vue pour tous les modèles eBee permettant alors à ses clients d'obtenir plus facile-

ment – via l'OFAC toujours – leur propre autorisation: l'opération repose sur le principe que le drone doit rester en permanence dans un rayon de 2 km autour de l'opérateur ou d'un observateur (donc techniquement, il s'agit d'EVLOS, mais le terme BVLOS est utilisé) et sur le fait que le drone ne doit pas voler plus haut que le niveau minimum autorisé pour l'aviation à vue hors des aéroports (150 m/sol en campagne, 300 m/sol en ville). De plus, afin de limiter les risques pour les hélicoptères et l'armée à basse altitude, l'opération doit leur être annoncée 24 heures au préalable par email pour le moment, et prochainement via des systèmes automatisés et intégrés. Pendant l'opération, une coordination verbale et instantanée entre les équipiers par la combinaison de postes radio et de téléphones est nécessaire. Au final ce dispositif plus complexe nécessite une bonne

axes du système de coordonnées, ne sont pas pratiques pour ces objets linéaires et tortueux. Un tuilage adapté à la forme du corridor est nécessaire mais n'a pas été réalisé dans ce projet.

La précision, en particulier en altimétrie, a été contrôlée sur quelques PFP3 3D disponibles sur le tracé du gazoduc (Fig. 2). À nouveau, le fait d'avoir trois lignes de vol parallèles et un peu de marge par rapport à la largeur de 50 m demandée, permet de mesurer de façon fiable des points de contrôle légèrement en dehors de l'axe du tracé. Elle s'établit à 4 cm en XY et 8 cm en Z, ce qui est conforme aux spécifications et respecte le cahier des charges. Seule la géolocalisation directe par GNSS précis a été utilisée. Il est intéressant de souligner que sur de telles distances (plus de 3 km entre le PIC et le drone, grâce au dispositif BVLOS), les corrections RTK ne peuvent plus être garanties et la précision se dégrade alors rapidement, passant de *RTK fixed* à *RTK float* à *standalone*. Il a été recouru systématiquement au post traitement PPK afin de contrôler les résultats en RTK et les améliorer le cas échéant. Toute la mission

a été réalisée en utilisant le service Swipos de Swisstopo, soit en RTK VRS³, soit en PPK VRS, soit en PPK CORS⁴.

Conclusion

Ce projet pilote a permis de mettre à l'épreuve le matériel, le logiciel et la logistique. Le matériel doit être parfaitement autonome et fiable car la sécurité doit être garantie, et les possibilités de contrôle et d'ajustement sont limitées, voire inexistantes durant l'opération. Le logiciel doit être lui aussi fiable, mais également flexible afin de s'accommoder aux conditions des vols en BVLOS. Par exemple, des informations spécifiques en fond de carte sont très utiles, ou la visualisation du drone sur plusieurs écrans connectés au même réseau par GSM est un confort bienvenu. La logistique d'un vol en BVLOS est encore relativement complexe et ne peut souffrir aucune approximation. La planification, la coordination et la communication sont essentielles au bon déroulement de la mission. Ce supplément de complexité est largement compensé par le gain d'efficacité et donc de produc-

tivité. Les innovations et évolutions continues des drones et des dispositifs BVLOS vont permettre d'évoluer rapidement et de progresser encore sur ce terrain prometteur.

Remarques:

¹ RTK: Real Time Kinematic

² PPK: Post Processing Kinematic

³ VRS: Virtual Reference Station

⁴ CORS: Continuously Operating Reference Station

Fabrice Volluz
Responsable Section infrastructures,
Gaznat SA
f.volluz@gaznat.ch

Samuel Dépraz
Regulatory Project Manager, senseFly SA
samuel.depraz@sensefly.com

François Gervais
Product Manager Geospatial, senseFly SA
francois.gervais@sensefly.com

organisation et demande une formation du personnel plus poussée afin de garantir un fonctionnement sûr et efficace sur le terrain. Avec ce type d'opération, une distance linéaire totale d'environ 12 km peut être couverte, soit environ 6 km de chaque côté de la station sol qui doit garder le lien avec le drone en tout temps (Fig. 3). Pour une équipe entraînée et un dispositif bien rôdé, le temps nécessaire sur le terrain par rapport à une opération VLOS est divisé environ par trois ou quatre, ce qui rend le BVLOS très compétitif et surtout un potentiel d'amélioration très intéressante.

Les évolutions futures sont nombreuses: à l'échelle globale, c'est la mise en place de l'UAS Traffic Management (UTM) qui constitue un ensemble de services et d'infrastructures qui vont permettre d'assurer l'échange d'information entre les usagers de l'espace

aérien et les autorités. Le but est d'assurer la sécurité et de réguler le trafic aérien des drones et leurs interfaces avec l'aviation dite «traditionnelle». L'association *Global UTM Association* (GUTMA) a été créée pour coordonner les diverses initiatives UTM qui sont en place ou émergent au niveau mondial. D'autres organisations comme Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems (JARUS) mettent en place un cadre et une méthodologie pour évaluer la sécurité des opérations et permettre, à terme, de rendre plus routinières et sûres les opérations plus complexes comme le BVLOS, les survols de public ou les vols en espaces aériens contrôlés. Le développement des systèmes de services UTM collaboratifs tel qu'*AirMap* et des systèmes anti-collision actifs et passifs va être crucial. Ces derniers étant plus complexes à mettre au point car un drone ayant une

vitesse relative faible par rapport aux appareils traditionnels, la détection doit être assurée dans toutes les directions de l'espace, non pas seulement vers l'avant. Un système passif demande également des performances de calcul embarqué très élevées. Des systèmes actifs ou collaboratifs existent déjà pour l'aviation traditionnelle et certains sont adaptables aux drones. C'est le cas de l'Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) qui repose sur la diffusion individuelle par les usagers de l'espace aérien de données de position notamment, et leur réception en l'air ou au sol.

Le rôle de la technologie (batteries, systèmes anti-collision, connection longue-distance, etc.) et du cadre réglementaire de l'UTM va donc être essentiel pour soutenir ce développement que de nombreuses branches économiques attendent avec impatience.