

Zeitschrift:	Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio
Herausgeber:	geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und Landmanagement
Band:	113 (2015)
Heft:	9
Artikel:	Planificateur de missions photogrammétriques pour drones ultra-légers (Micro Aerial Vehicle MAV)
Autor:	Gandor, Florian / Rehak, Martin
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-513924

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Planificateur de missions photogrammétriques pour drones ultra-légers (Micro Aerial Vehicle MAV)

L'émergence des petits drones civils a suscité un fort développement dans le marché de la cartographie de précision. En effet, l'écosystème créé autour de ces nouveaux outils d'acquisition géographique regroupe aussi bien des fabricants de drones (e.g. Sensefly¹) que des entreprises spécialisées dans le traitement des données recueillies par ces derniers (e.g. Pix4D²). Ces nombreux acteurs participent à l'élaboration d'applications qui répondent efficacement aux demandes croissantes des utilisateurs de données géographiques. Ces applications permettent d'utiliser des drones ultra-légers et très maniables ce qui augmente la souplesse d'acquisition. La précision et la résolution des données acquises sont également des paramètres qui connaissent une forte évolution. De surcroît, les coûts de mise en place conviennent parfaitement pour acquérir des images aériennes de surfaces petites à moyennes (quelques kilomètres carrés).

Das Aufkommen von kleinen zivilen Drohnen hat in der Präzisionskartografie eine starke Entwicklung ausgelöst. Um diese neuen Werkzeuge zur geografischen Erfassung entsteht ein Markt sowohl mit Drohnenherstellern (z.B. Sensefly) als auch mit Spezialfirmen für mit Drohnen erfasste Daten (z.B. Pix4D). Diese zahlreichen Akteure beteiligen sich an der Erarbeitung von Applikationen, die wirkungsvoll die zunehmende Nachfrage der Nutzer geografischer Daten erfüllen. Diese Applikationen ermöglichen die Verwendung superleichter und wendiger Drohnen. Die Genauigkeit und Auflösung der erfassten Daten sind ebenfalls Parameter, die einer stürmischen Entwicklung unterworfen sind. Zudem genügen die eingesetzten Finanzmittel vollauf für die Flugbildaufnahmen von kleinen bis mittelgrossen Flächen (einige Quadratkilometer).

L'insorgenza dei droni di piccole dimensioni ha incentivato un forte sviluppo del mercato della cartografia di precisione. Infatti, l'ecosistema creato attorno a questi nuovi strumenti di rilevamento geografico raggruppa sia i fabbricanti di droni (p. es. Sensefly¹) che le aziende specializzate nell'elaborazione dei dati raccolti con i droni (p. es. Pix4D²). Tutti questi attori partecipano alla creazione di applicazioni che rispondono attivamente alle richieste crescenti degli utenti di dati geografici. Queste applicazioni consentono di utilizzare dei droni ultra-leggeri e molto maneggevoli, un elemento questo che aumenta la propensione all'acquisto. La precisione e la risoluzione dei dati rilevati sono anch'essi dei parametri che registrano una forte evoluzione. In aggiunta, i costi di allestimento consentono di acquistare senza problemi delle immagini aeree di superfici di piccole e medie dimensioni (di alcuni chilometri quadrati).

F. Gандor, M. Rehak, J. Skaloud

Afin de créer un produit utilisable et qui se plie aux exigences de l'utilisateur, il est primordial que l'aspect photogrammétrique soit très rapidement intégré, c'est-à-dire dès la planification initiale

du vol comme présenté dans la thèse d'Henri Eisenbeiss³. Alors que de nombreux planificateurs de vols existent, ils sont rarement open-source car souvent liés à une solution matérielle. De plus, aucun planificateur open-source permet l'élaboration du plan de vol dans un envi-

ronnement en trois dimensions. Ce projet propose un planificateur de vol qui n'est pas restreint à une solution matérielle, comportant de nombreuses fonctionnalités aussi bien pour les trajectoires créées que pour la planification de la navigation ou encore pour l'importation de modèles numériques de terrain.

Finalement, le code source ainsi qu'une version exécutable (environnement java) peuvent être obtenus pour créer un plan de vol ou même ajouter des fonctionnalités à l'outil Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

Objectifs principaux du projet

L'objectif principal de ce projet est de créer un outil pour planifier les vols en prenant en compte des paramètres environnementaux comme le terrain, les conditions de vent et la qualité du signal GPS. Cet outil doit contenir une interface simple augmentant les possibilités d'acquisition du drone. Parmi les objectifs généraux cités ci-dessus, les points suivants sont développés:

- Les trajectoires de vol créées doivent être optimisées lorsque l'on considère les positions d'atterrissement, de départ, mais également le recouvrement et la taille d'échantillonnage au sol souhaités, les conditions spatiales environnementales et le matériel utilisé.
- La disponibilité des satellites de la constellation GPS doit pouvoir être évaluée dans l'outil de planification.
- La visibilité entre le satellite et l'utilisateur/la station au sol doit être garantie afin de respecter les règles de vol et pour transmettre des corrections en temps réel pendant le vol.
- Les plans de vol créés sont compatibles avec d'autres programmes de planification de vol existants.
- La possibilité d'ajouter un Modèle Numérique de Surface de haute résolution qui permet d'intégrer des obstacles à la navigation (par exemple acquis par lidar aéroporté comme le MNS produit par swisstopo⁴).
- La possibilité de définir des paramètres

d'appareil photo comme la taille du capteur ou la vitesse de déclenchement maximale doit être intégrée à la solution logicielle.

Contexte du planificateur de vol

Législation

La législation en vigueur établie par l'Office Fédéral de l'Aviation Civile⁵ réglemente l'utilisation des drones. En effet, deux cas d'utilisation existent selon la nécessité d'obtenir une autorisation de vol (e.g. Illustration 1). Les paramètres qui influencent ces régimes d'autorisation sont résumés dans la figure suivante:

Ainsi les vols en rase campagne dans le champs de vision du pilote avec des drones de moins de 30kg ne nécessitent pas d'autorisation particulière. Contrairement aux États-Unis où la réglementation est très stricte, la réglementation helvétique permet aux institutions de recherche ainsi qu'aux entreprises ou aux particuliers d'accéder et d'utiliser sans grande contrainte ces nouvelles plateformes d'acquisition. De nombreux projets ont ainsi pu voir le jour comme le projet R-Pod⁶ dans le milieu académique ou encore le développement des ailes SenseFly dans le milieu privé. L'entreprise suisse SenseFly est devenue un leader mondial

dans la construction de drones ultra légers pour professionnels. En France, des régulations sous forme de scénarios ont été établies en s'appuyant notamment sur les paramètres suivants: le poids du drone, la distance et la visibilité entre le drone et le pilote, l'altitude de vol et la fréquentation de la zone de vol (Référence DGAC France⁷). En prévision d'une telle régulation, le planificateur de vol permet de contrôler la vision, la distance entre le pilote et le drone ainsi que la hauteur de vol avant la campagne de mesure.

Planificateurs de vol actuels

De nombreux planificateurs de vol existent et la plupart sont liés à une plateforme de drone à l'instar d'eMotion développé uniquement pour les ailes SenseFly. Certains planificateurs peuvent être utilisés librement comme APM missionPlanner⁸. Souvent, ces derniers sont aussi des stations de contrôle du vol et permettent de suivre et gérer une mission de vol en temps réel. Cet aspect concernant le contrôle en temps réel du drone n'a pas été abordé dans ce projet qui se limite à l'élaboration d'un planificateur de vol interactif dans un environnement 3D. De plus, les planificateurs actuels sont souvent limités à certains appareils photo avec une orientation fixe du capteur photo par rapport à la plateforme.

Méthodologie

Notions de base en photogrammétrie

Le plan de vol peut être calculé selon deux approches. La première approche consiste à spécifier les paramètres que le produit doit respecter (approche «bottom-up», paramètres en noir dans la figure ci-dessus) pour calculer les paramètres de vol comme la distance entre les lignes, entre les prises de vue et la hauteur de vol (en rouge sur l'illustration 2). La deuxième approche consiste à laisser l'utilisateur choisir ses paramètres de vol. Dans le premier cas, les exigences de l'utilisateur quant au produit final sont prises en compte pour créer automatiquement le plan de vol.

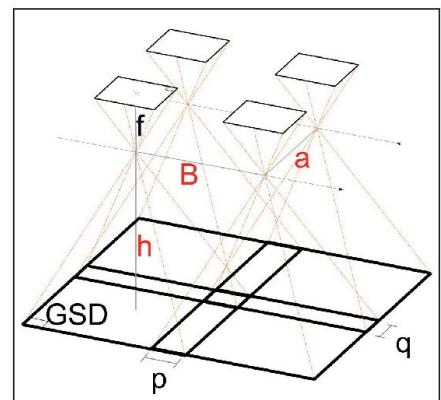


Fig. 2: f correspond à la distance focale, B la base (distance entre deux prises de vue), à la distance entre deux lignes consécutives, GSD est la taille d'échantillonage (taille d'un pixel sur le terrain), p est le recouvrement longitudinal et q le recouvrement latéral.

Admis sans autorisation



Télépilotage de multicoptères d'un poids total de moins de 30 kg pour autant que le pilote maintienne un contact visuel direct avec l'appareil



Multicopter exploité sur des aérodromes pour aéromodélisme ou participant officiellement à une manifestation aéronautique



Evolution de multicoptères en plein air et dans les zones résidentielles à l'écart de rassemblements de personnes (concentration de plus de 24 personnes). Veiller à respecter la sphère privée!

Contact OFAC

e-mail: rpp@ofac.admin.ch
Tél. OFAC: 021 85 80 3940
www.ofac.admin.ch > services

Admis uniquement avec autorisation



Multicopter piloté à l'aide de lunettes vidéo sans qu'un deuxième télépilote conserve le multicopter dans son champ de vision



Multicoptères d'un poids total supérieur à 30 kg



Evolutions de multicoptères à moins de 100 m d'un rassemblement de personnes en plein air, sauf dans le cadre d'une manifestation aéronautique publique ou sur une base d'aéromodélisme



Evolutions de multicoptères à moins de 5 km d'un aérodrome militaire ou civil. L'autorisation dans ce cas est délivrée par le chef d'aérodrome ou Skygauge (service de la navigation aérienne).

Ajout d'un modèle de terrain personnel (WGS84)

Initialement, le modèle numérique de terrain mondial Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) est déjà disponible dans l'environnement standard World Wind Java SDK⁹. Cet environnement de développement a été utilisé pour le présent outil. Actuellement, la résolution du modèle numérique de terrain SRTM est de 1 arc seconde, ce qui représente ap-

Fig. 1: Infographie concernant les régimes d'autorisation de l'Office Fédéral de l'Aviation Civile.

proximativement 30 mètres pour le territoire Suisse. Les altitudes utilisées sont orthométriques, c'est-à-dire qu'elles sont calculées à partir d'un géoïde. Le géoïde utilisé est le modèle Earth Geodetic Model 1996 (EGM96) qui a été défini à partir d'équipotentiels de gravité à l'échelle mondiale.

Afin d'augmenter la précision du modèle, il est possible d'ajouter un modèle numérique de terrain sous forme de raster (TIFF) en utilisant l'ellipsoïde de référence WGS84. Afin de prévoir les obstacles potentiels à la navigation, il est notamment possible d'importer un modèle numérique de surface qui comporte la hauteur des arbres, des bâtiments et tout mobilier hors sol. Ce type de produit est notamment disponible avec une hauteur donnée pour deux mètres carré chez swisstopo.

Paramétrage des trajectoires

Afin de laisser à l'utilisateur du planificateur de vol plus de liberté, les points de passage peuvent être déplacés interactivement dans l'environnement 3D. Quelques types de trajectoires pré-établies permettent de gérer le plan de vol plus rapidement. En effet, il est possible d'alterner l'ordre des lignes, d'ajouter des points de passage en fin de ligne pour contraindre le drone à un certain virage, d'aplatir le plan de vol à une certaine hauteur ou encore de créer un vol avec deux étages. Cette dernière option de vol est utile pour garantir une taille d'échantillonage au sol requise pour le vol bas et de garantir un recouvrement suffisant avec le vol haut pour l'aérotriangulation des images.

Selon la pente moyenne du terrain, un outil permet aussi de calculer l'inclinaison optimale de l'appareil photo afin de simuler une prise de vue au nadir (e.g. Illustration 3). Cela est seulement possible pour une plateforme qui permet d'orienter le capteur photo.

Contrôle de la disponibilité des satellites

Une part importante du projet est la prédiction de la visibilité des satellites de

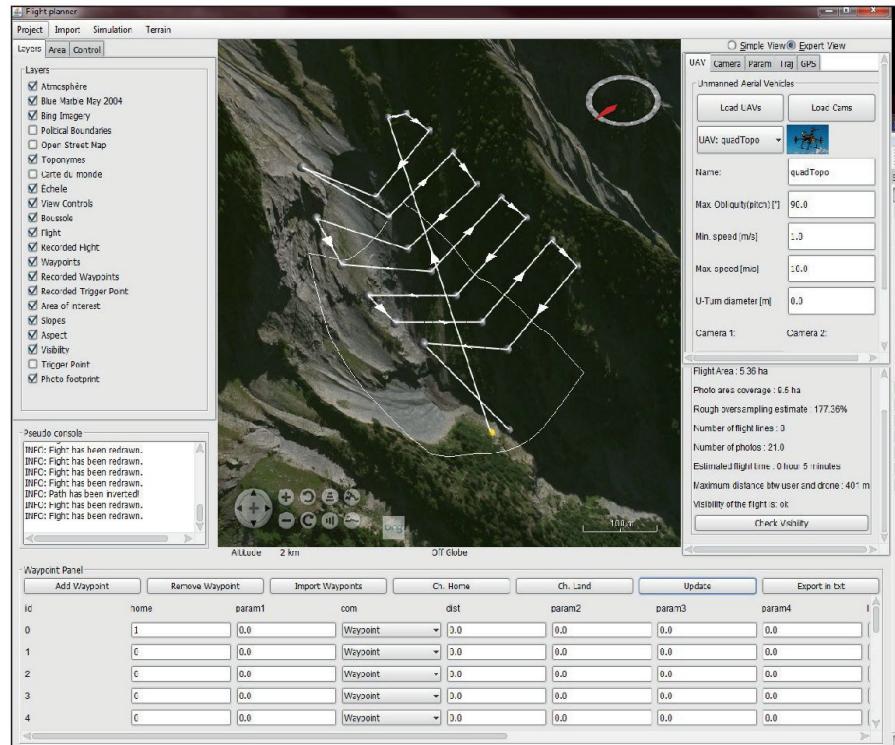


Fig. 3: Plan de vol pour un vallon.

navigation (e.g. Illustration 4). En effet, le positionnement absolu du drone est obtenu grâce à son récepteur GPS embarqué. Ces informations sur la qualité du signal GPS sont primordiales pour la navigation, le contrôle de la mission mais surtout pour estimer la qualité de l'orientation directe des capteurs^{10,11}. Dans un premier temps, il est nécessaire d'entrer la date et la plage horaire de la mission. À l'aide de cette date, des paramètres de l'almanac, du modèle numérique de terrain et des points de passage du drone, la visibilité peut être contrôlée. Les équations de positionnement de satellite peuvent être obtenues dans le document d'explication pour le positionnement avec la constellation GPS Navstar¹².

Visibilité du drone

Afin de prévoir la visibilité du drone pendant la mission de vol, un outil a été mis en place qui prend en compte le modèle de terrain le plus précis ayant été importé. En effet, comme décrit dans la partie législation, la visibilité vers le drone doit être garantie. Il s'agit de vérifier si la ligne de vision se trouve sous le terrain ou

au-dessus. Si elle se trouve sous le modèle de terrain alors la vue est masquée. Avec l'utilisation d'un MNS, les obstacles sont pris en compte.

Interface implémentée

Comme cité précédemment, l'environnement de développement utilisé est World Wind Java SDK qui est disponible en licence libre. Une interface simple et interactive est développée afin de pouvoir gérer toutes les options du plan de vol. Elle comprend des panneaux pour gérer les paramètres suivants: les couches représentées, la zone d'intérêt, les points de passage, les paramètres du drone utilisé, la caméra, les paramètres de vol, la trajectoire et le contrôle des satellites pour le positionnement GPS. Enfin, un panneau d'information permet de fournir des informations sur le plan de vol.

La navigation sur le globe virtuel s'effectue dans la fenêtre principale. Les plans de vols peuvent être aisément exporté en fichier texte en respectant le standard Mavlink¹³.

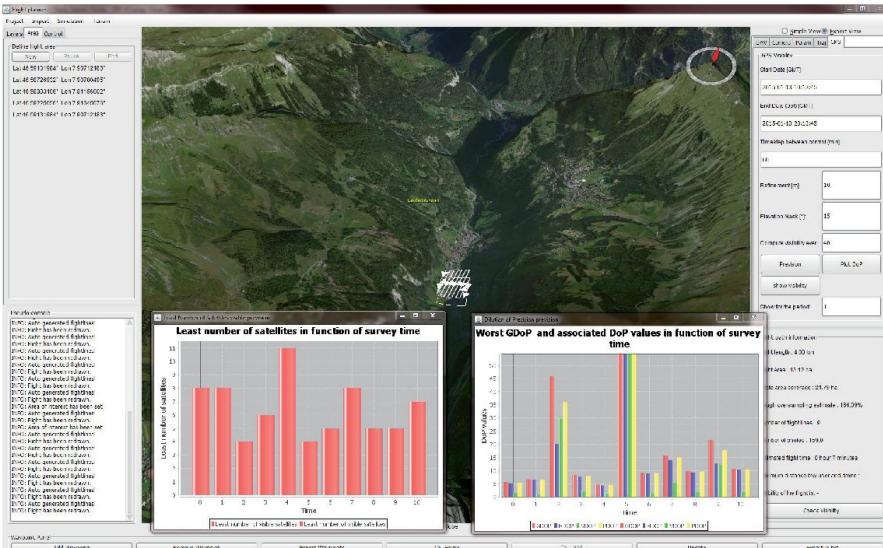


Fig. 4: Prévision de la disponibilité des satellites de la constellation GPS sur les points de passage. Ici, visibilité des satellites dans la vallée très encastrée de Lauterbrunnen pour le 13 Janvier 2015 entre 10:13 et 20:13 à une heure d'intervalle.

Quelques réalisations concrètes

Dans le cadre de ce projet de master, des expérimentations sur le terrain ont été effectuées pour tester les différentes trajectoires et l'adéquation des paramètres de vols. Les tests ont été réalisés sur des drones à ailes fixes et à rotors. Certaines options de trajectoires visent notamment à contraindre les drones à ailes fixes de suivre un trajet dans les virages (e.g. Illustration 5). Le point important ressortant des expérimentations est l'importance de la direction et l'intensité du vent sur la réalisation du plan de vol. Les aspects photogrammétriques n'ont pas pu être inspectés dans le laps de temps accordé pour ce projet mais seront étudiés ultérieurement¹¹. L'outil comporte des fonctions pour vérifier les différences entre la distance parcourue et la distance prévue. L'outil étant modulable, l'implémentation de contrôles supplémentaires est aisée à condition de s'intéresser à l'implémentation du code Java.

Conclusion

L'outil présenté permet de planifier des vols et de les visualiser une fois la mission

peuvent être définis par l'utilisateur. De nombreuses améliorations sont encore à apporter à l'outil, notamment le contrôle des recouvrements longitudinaux et latéraux des images sur le terrain ainsi que le contrôle pré-vol de la taille d'échantillonnage au sol. Grâce à la grande interactivité et souplesse de cet outil, il est possible de préparer des plans de vols pour des zones très escarpées et dont les reliefs doivent être pris en compte.

Ressource:

Accessible sous <https://goo.gl/yw8v2F>.

Bibliographie:

1. Page internet de SenseFly, <https://www.sensefly.com/home.html>, consultée le 19.05.2015.
2. Page internet de Pix4D, <https://pix4d.com/>, consultée le 19.05.2015.
3. Eisenbeiss H., 2009, UAV Photogrammetry, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie ETHZ, Zürich, 203 pages.

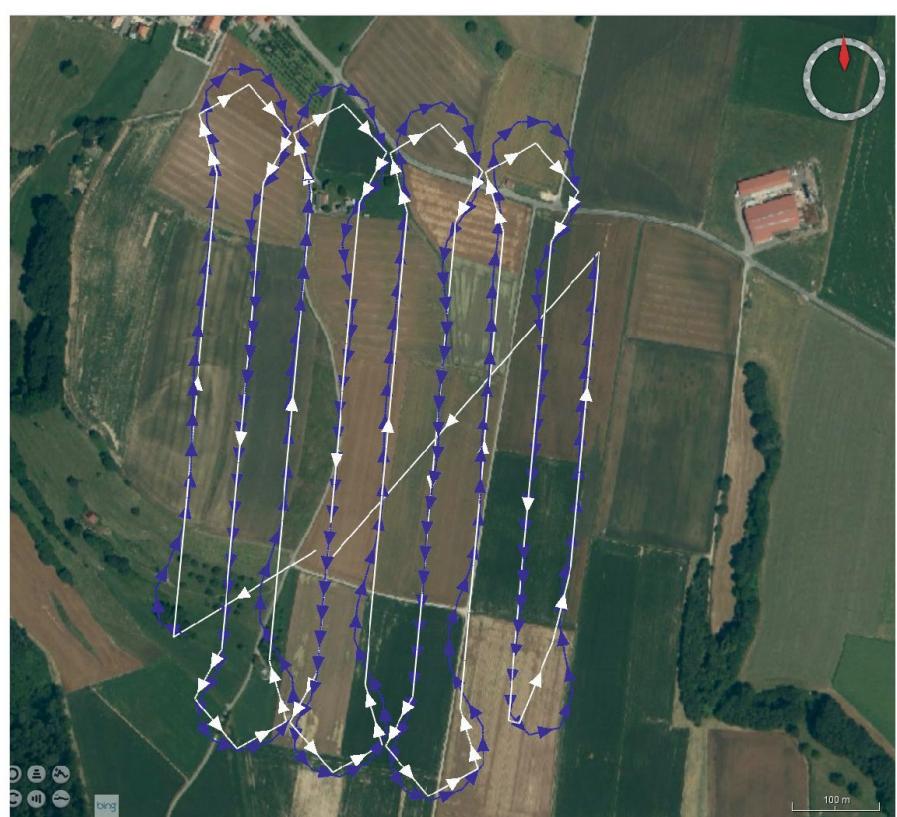


Fig. 5: Vue de haut d'une trajectoire réalisée en bleu par rapport à la trajectoire planifiée en blanc.

4. Page internet des produits altimétriques Swisstopo, <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/products/height.html>, consultée le 19.05.2015.
5. Page internet de l'Office Fédérale de l'Aviation Civile, <http://www.bazl.admin.ch/>, consultée le 19.05.2015.
6. Page internet du projet R-Pod, <http://www.r-pod.ch/>, consultée le 19.05.2015.
7. Page internet de la Direction Générale de l'Aviation Civile, <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Secteur-Aérien,1633-.html>, consultée le 19.05.2015.
8. Page internet du projet APM, <http://planer.ardupilot.com/>, consultée le 19.05.2015;
9. Page internet du projet WorldWind, <http://worldwind.arc.nasa.gov/java/>, consultée le 19.05.2015.
10. Rehak M., Mabillard R., Skaloud J., A Micro Aerial Vehicle with Precise Position and Attitude Sensors, Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (PF6), vol. 4, p. 239-251, 2014.
11. Rehak M., Skaloud J., Fixed-wing Micro Aerial Vehicle for Accurate corridor mapping, Accepted for annals of ISPRS of UAV-g Conference Toronto Canada, 30.08-02.09.2015.
12. Global Positioning system, standard positioning service, signal specification, GPS Navstar, 2 June 1995, 46 pages.
13. Page internet des messages selon le standard Mavlink, <https://pixhawk.ethz.ch/mavlink/>, consultée le 19.05.2015.

Florian Gandor
 Martin Rehak
 Dr. Ing. Jan Skaloud
 École Polytechnique Fédérale de Lausanne
 CH-1015 Lausanne
 florian.gandor@epfl.ch

Fordern Sie noch heute die Mediendaten 2016 an.



www.geomatik.ch

DIENSTLEISTUNG GEODATEN

geoProRegio

Wir haben die Lösung.

Topobase 2 nach Autodesk® AutoCAD Map 3D

Regionalwerke mit innovativer Datenmigrationslösung.
 Profitieren Sie von unserem Vorsprung.

Regionalwerke AG Baden, Haselstrasse 15, 5401 Baden,
 Telefon 056 200 22 22, Mail gis@regionalwerke.ch
www.regionalwerke.ch, www.geoporegio.ch



**Regionalwerke
Baden**