

**Projet de télédétection de problématiques
agroenvironnementales, à basse altitude avec un drone
Programme Prime-Vert - sous-volet 3.1 – Approche régionale**

FERTI-CONSEIL RIVE SUD
LOUIS PERREAULT, CHARGÉ DE PROJET
28 mars 2014

09/2013 - 03/2014

Projet de télédétection de problématiques agroenvironnementales, à basse altitude avec un drone

Louis Perreault¹, Alain Denault¹, Mélissa Lévesque-Dupont¹, Martin Breton¹, Patrick Mercier², Marcel Laberge³

Table des matières

RÉSUMÉ DU PROJET	2
POINT DE CONTACT POUR INFORMATIONS.....	2
OBJECTIFS, MÉTHODOLOGIE ET INDICATEURS RETENUS POUR LE PROJET	3
RÉSULTATS SIGNIFICATIFS DU PROJET ET SUIVI DES INDICATEURS RETENUS	5
APPLICATIONS POSSIBLES EN CHAUDIÈRE-APPALACHES ET SUIVI À DONNER AU PROJET	16
AUTRES TRAVAUX ET RÉFÉRENCES SUR L'UTILISATION DE DRONES ET DE L'IMAGERIE À HAUTE RÉOLUTION EN AGRICULTURE.....	18
REMERCIEMENTS	19
ANNEXE B : ÉLÉMENTS DU RAPPORT TECHNIQUE DU PLAN DE VOL À LA FERME 2 (LUMIÈRE VISIBLE)	20
ANNEXE C : ÉLÉMENTS DU RAPPORT TECHNIQUE DU PLAN DE VOL À LA FERME 2 (PROCHE INFRAROUGE) ...	24

¹ Ferti-Conseil Rive Sud

² Association des conseillers en agroenvironnement de Chaudière-Appalaches (ACAC)

³ Geomatech



Résumé du projet

L'acquisition d'imagerie à haute résolution dans le spectre de la lumière visible et du proche infra-rouge à l'aide d'un drone (véhicule aérien sans pilote - VASP) s'avère un outil précieux et novateur pour positionner, mesurer et diagnostiquer différents problèmes liés à la conservation et à la santé des sols agricoles. Sa capacité de survoler et photographier une partie ou la totalité d'une entreprise agricole, au moment désiré, en suivant de façon automatique un plan de vol prédéterminé par l'utilisateur, ouvre de nouvelles possibilités aux conseillers agricoles et à leur clientèle confrontée à gérer des superficies de plus en plus importantes. La souplesse d'utilisation, le faible coût, la rapidité d'intervention et d'acquisition des photos, leur haute résolution, distinguent ce moyen d'investigation des photos aériennes prises par avion, par satellite ou par LIDAR (*light detection and ranging*).

Le projet, réalisé à l'automne 2013, sur 5 entreprises agricoles de Chaudière-Appalaches, avec un drone de type eBee équipé d'une caméra de 16,5 mégapixels (lumière visible et proche infrarouge), visait à vérifier la faisabilité et le potentiel de ce type d'appareil, tout particulièrement de l'utilisation agroenvironnementale qui peut en être faite. Le drone, qui suit des plans de vol prédéterminés et géoréférencés en vol automatique, a capté les photos sur les cinq entreprises le 11 octobre 2013. Un passage a été fait pour prendre des photos aériennes en lumière visible, suivi d'un deuxième passage sur le même plan de vol pour capter des photos en proche infrarouge. Les données recueillies furent traitées et les images rassemblées en mosaïques géoréférencées. Ces mosaïques ont été ensuite importées dans des logiciels de système d'information géographique (SIG) comme gvSIG et Global Mapper. Une analyse a été finalement réalisée pour mesurer le potentiel de cet outil.

Les résultats des essais ont été à la hauteur des attentes et le potentiel de cette imagerie à haute résolution, captée au moment choisi par l'utilisateur, est extrêmement prometteur en agroenvironnement. La facilité d'utilisation de l'appareil, la rapidité pour capter l'ensemble des superficies d'une entreprise agricole, le délai très court, de l'ordre de 24 heures ou moins, pour obtenir les informations traitées et les utiliser pour un diagnostic, sont à souligner. Les utilisations potentielles sont nombreuses: modèle d'élévation numérique de précision pour réaliser des plans de nivellement des sols, diagnostic d'érosion des sols et des berges de cours d'eaux et fossés agricoles, diagnostic de compaction des sols à partir de la vitesse de percolation de sols après de fortes pluies. D'autres applications, à titre d'exemple, en stratégie phytosanitaire, en fertilisation des sols, en aménagement forestier, en aménagement du territoire sont également à considérer.

Point de contact pour informations

Louis Perreault
Agronome et chargé de projet Ferti-
Conseil Rive Sud
5410 Boul. de la Rive Sud, bureau 77, Lévis, G6V 4Z2
Tél : (418) 834-5678
Cell : (418) 808-0970
Fax : (418) 834-4628
Courriel : louisperreault@ferti-conseil.com

Patrick Mercier, B. Sc., M. ATDR
Géomaticien
Association des Conseillers et Conseillères en Agroenvironnement de Chaudière-Appalaches (ACAC)
Tél : (418) 998-8782
Courriel : patrickACAC@gmail.com

09/2013 - 03/2014

Objectifs, méthodologie et indicateurs retenus pour le projet

Avant de réaliser ce projet nous avons entrepris de tester différents drones (hélicoptère, aile volante...) pour photographier à basse altitude les cultures. Nos contacts nous ont amené à découvrir qu'il existait un drone (eBee) déjà configuré pour exécuter ce travail, un drone qui volait de façon automatique en suivant un plan de vol géoréférencé et captait des images en lumière visible ou en roche infrarouge. Les logiciels de traitement accompagnant ce drone pouvaient assembler les photos en mosaïques d'images géoréférencées. Ces mosaïques pouvaient par la suite être importées dans des logiciels de système d'information géographique, comme gvSIG, Global Mapper...et être mis en relation avec d'autres couches géoréférencées d'information, telle la pédologie, le cadastre, des cartes de rendement, etc...

FIGURE 1: DRONE eBEE



Certaines questions se posaient : quelle était la résolution des images, cette résolution permet-elle de distinguer des signes d'érosion des sols sur le terrain; quelles sont les performances et les limites de l'appareil; quelle superficie peut-il couvrir avec l'autonomie de sa batterie; dans une prairie, peut-on distinguer les zones en légumineuses des zones à prédominance de graminées; les images en proche infrarouge nous permettraient-elles de percevoir le différentiel de rendement dans le champ? Quel était donc le potentiel réel de cette méthode de captage d'imagerie numérique géoréférencée et quelle était la portée de l'utilisation possible en agroenvironnement?

Les objectifs du projet ont été définis comme suit :

- Développer l'utilisation agricole du drone, particulièrement l'utilisation agroenvironnementale;
- Développer l'expertise pour pouvoir faire voler le drone, faire la prise de photos et monter les mosaïques géoréférencées avec les logiciels de traitement de l'image;
- Développer l'utilisation des mosaïques géoréférencées avec les logiciels courants : Global Mapper, gvSIG, SIGA Champ;
- Transmettre cette expertise aux intervenants agricoles de la région.

Au départ le projet visait à photographier une douzaine de parcelle sur autant d'entreprises agricoles dans la région de Bellechasse et de Lotbinière. Nous souhaitions également photographier différentes cultures (prairie, soya, maïs-grain, blé...). Les possibilités de l'appareil et l'autonomie de sa batterie nous a amené à opter pour des passages permettant de photographier de plus vastes superficies, comprenant plusieurs champs de l'entreprise. La première étape a consisté à choisir et définir ces zones, puis de préparer les plans de vol pour obtenir l'autorisation de Transports Canada. Les plans de vol sont élaborés par le logiciel *eMotion 2*, qui est vendu avec le drone, permettant des vols entièrement automatisés. L'appareil suit les lignes de vol prédéterminés, décolle et atterrit de façon automatique. L'opérateur doit posséder un certificat d'opération aérienne spécialisé (COAS) de Transport Canada afin d'opérer l'appareil aussi dénommé véhicule aérien non habité (UAV).

L'appareil eBee, fabriqué par la compagnie *senseFly* et équipé de caméras de 16 mégapixels de marque *Canon* (lumière visible et proche infrarouge), loué à la compagnie *Geomatech*, a été utilisé pour photographier les zones choisies. Une journée entière a été réservée pour capter les photos aériennes. Les données ont ensuite été traitées avec le logiciel de photogrammétrie *Postflight Terra LT* pour créer les orthomosaiques. Ces orthomosaiques purent ensuite être importés dans des logiciels d'information géographique (Global mapper, gvSIG) pour être analysées.

FIGURE 2: CAMÉRA LUMIÈRE VISIBLE (À GAUCHE) ET PROCHE INFRAROUGE (À DROITE)



Les caméras ont été modifiées par le fabricant pour les synchroniser avec le drone. Le cerveau du drone commande la prise de photos aériennes lorsque le positionnement pour chaque photo est atteint. Le moteur du drone est coupé le temps de la prise de photo afin de réduire les vibrations.

Finalement, une fois l'information acquise et traitée, les indicateurs de résolution des images, de précision du positionnement ont été analysés. Toutefois, le coût élevé de location du drone ne nous a pas permis de tester le potentiel du drone pour relever le microrelief avec des marqueurs de référence au sol. Cela fera l'objet d'un futur projet de développement, très prometteur car il permettrait d'obtenir en tout point un modèle d'élévation

numérique extrêmement précis. Ce modèle d'élévation pouvant servir à générer des plans de nivellement des sols qui seraient ainsi acquis à moindre coût pour l'utilisateur.

Résultats significatifs du projet et suivi des indicateurs retenus

Tel que mentionné précédemment, les plans de vol couvraient de plus vastes superficies qui comprenaient le plus souvent plus d'un champ. Le survol des cinq entreprises agricoles a été fait le 11 octobre 2013, à une altitude d'environ 120 mètres (voir le Tableau 1). Pour certaines entreprises le drone a survolé deux fois la superficie sélectionnée, avec le même plan de vol, en lumière visible et en proche infrarouge. Les conditions météorologiques de cette journée étaient idéales. Il faut mentionner que la luminosité, la couverture nuageuse, la position du soleil selon l'heure de la journée et l'ombrage au sol, la vitesse du vent, la pluie, sont autant de paramètres à tenir compte pour obtenir des images de qualité.

TABLEAU 1: SUPERFICIES PHOTOGRAPHIÉES (HECTARE)

Nom de l'entreprise agricole	Municipalité	Superficie captée (ha) (lumière visible)	Superficie captée (ha) (proche infrarouge)
Ferme 1	Saint-Édouard	27,12	28,17
Ferme 2	Honfleur	98,51	106,49
Ferme 3	Sainte-Claire	24,72	24,69
Ferme 4	Honfleur	15,42	0
Ferme 5	Sainte-Croix	33,43	4,38
	TOTAL	199,2	163,7

Malgré les distances importantes entre certaines des entreprises agricoles, le drone a survolé 363 hectares durant cette journée d'essai. À cet égard l'appareil a dépassé nos attentes. Il pourrait facilement capter les photos aériennes d'une ferme de bonnes dimensions (200 à 250 ha) en une demi-journée d'opération. La batterie a une autonomie de 45 minutes environ. L'idéal est d'en posséder deux et de les recharger à mesure avec un chargeur de voiture, pour une autonomie complète toute la journée. Le drone peut couvrir entre 60 et 75 ha environ avec la charge complète d'une batterie, avec des paramètres de vol et de recouvrement des photos aériennes pour une résolution de 3 à 4 cm au pixel.

FIGURE 3: SURVOL DU DRONE À LA FERME 3



Une comparaison de différents systèmes de captage d'information géoréférencée nous permet de distinguer le potentiel du drone qui tient à trois principaux éléments :

- Le drone capte l'information au moment désiré. La contrainte majeure toutefois est la météo (pluie et fort vent). Les photos aériennes prises par avion sont disponibles à un échelon de plusieurs années et à un temps de la saison qui ne peut être choisi par l'utilisateur;
- Cette information est disponible dans les heures qui suivent le survol, contrairement aux images captées par avion ou par satellite;
- La meilleure résolution des photos aériennes prises par le drone est de l'ordre de 3 ou 4 cm au pixel. Les photos aériennes prises par avion sur les secteurs ciblés ont une résolution de 30 cm au pixel. La précision du drone serait autour de 3-5 cm pour les modèles d'élévation numérique mais cela rester à tester. Le système LIDAR a une précision de 15 cm environ, insuffisante pour établir des plans précis de nivellement des sols.

Les trois figures suivantes présentent de manière éloquent la qualité des images prises par le drone (3,94 cm au pixel) en comparaison des photos aériennes prises par avion sur les secteurs ciblés (résolution de 30 cm au pixel). Dans la comparaison qui suit, la résolution des images prises par le drone est donc 58 fois plus élevée que la résolution des photos aériennes prises par avion. La photo présente un cours d'eau, bordé d'un chemin de ferme (coin droit en bas). Au-dessus du cours d'eau l'image montre les derniers arbres d'un brise-vent et les bouts de champ. Il est à noter que la photo aérienne prise par avion n'est pas été réalisée à la même période et à la même année que les images captées par le drone. Les trois photos sont à une échelle de 1 :150

FIGURE 4: IMAGE CAPTÉE PAR LE DRONE DANS LE SPECTRE DE LA LUMIÈRE VISIBLE À LA FERME 2



FIGURE 5: IMAGE CAPTÉE PAR LE DRONE DANS LE SPECTRE DU PROCHE INFRAROUGE À LA FERME 2



FIGURE 6: IMAGE CAPTÉE PAR AVION DANS LE SPECTRE DE LA LUMIÈRE VISIBLE À LA FERME 2



Les données provenant du drone ont un potentiel de résolution en altitude (z) équivalent à la résolution originale de l'image, soit dans le cadre de l'étude se situant entre 3 et 5 cm par pixel. Ce haut niveau de précision se compare donc à celui obtenu par relevés GPS haute précision (1 à 3cm) mais avec une continuité et une étendue couverte beaucoup plus grande. De plus, la cohérence hydrographique sera aussi améliorée par cette haute

précision. Les données provenant du LIDAR aéroporté ont généralement une précision en (z) allant de 15 à 30cm, suivi par les photos aériennes et satellitaires allant de 50cm à 1m et plus dépendamment de la résolution originale. Notons aussi que les images aériennes et satellites induisent plusieurs erreurs en raison de la date de prise d'images. En effet, selon la date, des obstacles se présentent (neige, les cultures, le feuillage, etc.) faisant donc varier indûment le modèle numérique d'élévation et la cohérence hydrologique par la suite.

À chaque projet de survol aérien, un rapport de qualité fut généré automatiquement par le logiciel de plan de vol *eMotion 2* (à titre d'exemple, voir les rapports techniques de plans de vol à la Ferme René Lacasse et Fils inc aux annexes B et C). Le logiciel *eMotion 2* a produit un rapport technique pour chaque entreprise ayant participé au projet.

Le *Tableau 2: Paramètres des différents survols*, à la page suivante, résume les principaux indicateurs de qualité de chaque survol aérien, dans le spectre de la lumière visible (rgb) et du proche infrarouge (nir). La moyenne de résolution au sol (cm par pixel) s'établit à 3,9 cm par pixel. Celle de la surface couverte se situe à 33,47 ha. Le temps du traitement des données est rapide, soit environ 2 minutes par hectare traité.

Le pourcentage moyen du nombre d'images calibrées lors des survols s'établit à 92,4%, soit 880 sur 952 images au total. Donc, seulement 8% environ des images ne sont pas calibrées afin d'aider aux traitements et à l'assemblage des images vers des mosaïques.

Le système de référence géodésique et de coordonnées étaient en premier lieu le WGS84 (lat/long). Le système de coordonnées fut ensuite transposé vers le UTM (zone 18N) et finalement les données ont toutes été reprojctées vers le NAD83, MTM (zone 7).

La quantité de points uniques par image permettant la corrélation est très grande, soit 50000 points uniques en moyenne par image considérant qu'un minimum de 10000 points uniques par image doit être atteint afin que les traitements puissent produire un résultat de bonne qualité. Parmi ces points, environ 5000 seront jumelés, soit 10% des points uniques, avec des points similaires sur les images voisines. Ce nombre représente tout même une très haute densité de points jumelés considérant qu'un résultat de haute qualité est atteint avec 1000 points jumelés et plus.

La qualité de l'optimisation de la caméra se situe en moyenne à 0,55%, soit en dessous du seuil de 5%. La longueur focale est une propriété de la caméra, et de son capteur optique. Elle varie avec la température, les chocs, l'altitude et l'heure. Le processus de calibration commence à partir d'un modèle de caméra initiale et l'optimisation varie en fonction de chaque image. Il est normal que la longueur focale soit légèrement différente pour chaque projet de survol aérien. La valeur initiale doit être à moins de 20% de la valeur optimisée pour garantir une optimisation rapide et robuste.

TABLEAU 2: PARAMÈTRES DES DIFFÉRENTS SURVOLS

Paramètres/survol	Ferme 1 rgb ⁴	Ferme 2-1 rgb	Ferme 2-2 rgb	Ferme 3 rgb	Ferme 4 rgb	Ferme 5 rgb	Ferme 2-1 nir ⁵	Ferme 2-2 nir	Ferme 3 nir	Ferme 5 nir	moyenne
Résolution au sol (cm par pixel)	5.07 cm	4.86 cm	3.94 cm	3.1 cm	2.84 cm	3.87 cm	4.88 cm	3.89 cm	3.15 cm	3.06 cm	3,9
Surface couverte	27.12 ha	38.41 ha	60.1 ha	24.72 ha	15.42 ha	33.43 ha	45.5 ha	60.99 ha	24.69 ha	4.38 ha	33,47
Système de coordonnées (image)	WGS84	WGS84	WGS84	WGS84	WGS84	WGS84	WGS84	WGS84	WGS84	WGS84	00:52
Système de coordonnées (sortie)	UTM 19 / WGS84	UTM 19 / WGS84	UTM 19 / WGS84	UTM 19 / WGS84	UTM 19 / WGS84	UTM 19 / WGS84	UTM 19 / WGS84	UTM 19 / WGS84	UTM 19 / WGS84	UTM 19 / WGS84	92,4
Durée du traitement (minutes:secondes)	34m:04s:	01h:03m: 27s:	01h:54m: 28s:	01h:06m: 55s:	16m:24s:	20m:20s:	15m:30s:	01h:49m: 21s:	57m:01s:	31m:21s:	53m
Médiane des points uniques détectés par image	52068	51777	43951	49713	49325	67874	48761	41554	50023	68610	52366
Qualité de l'optimisation de la caméra (% de différence entre la distance focale initiale et optimisée)	0,37%	1,34%	0,49%	0,45%	0,44%	0,28%	0,95%	0,70%	0,28%	0,15%	0,55%
Médiane des points jumelés par image	4932	4688	4186	4668	5542	4786	4783	4590	6957	4434	4957
Nombre d'images calibrées	48 sur 48 (100%)	80 sur 87 (91%)	151 sur 162 (93%)	97 sur 98 (98%)	68 sur 97 (70%)	73 sur 73 (100%)	81 sur 88 (92%)	165 sur 171 (96%)	95 sur 96 (98%)	22 sur 32 (68%)	92,40%
Nombre d'images géotagées	48 sur 48 (100%)	87 sur 87 (100%)	162 sur 162 (100%)	98 sur 98 (100%)	97 sur 97 (100%)	73 sur 73 (100%)	88 sur 88 (100%)	171 sur 171 (100%)	96 sur 96 (100%)	32 sur 32 (100%)	100%
Écart-type de la différence entre la position initiale et optimale de la caméra (direction en mètres x)	0,151621	0,164421	0,243771	0,226292	0,276532	0,1577	0,213079	0,274707	0,285995	0,293698	0,2287816
Écart-type de la différence entre la position initiale et optimale de la caméra (direction en mètres y)	0,185528	0,218124	0,263677	0,23459	0,26858	0,194491	0,257728	0,360707	0,255204	0,264127	0,2502756
Écart-type de la différence entre la position initiale et optimale de la caméra (direction en mètres z)	0,579704	0,435808	0,763347	0,472172	0,536389	0,514795	0,590375	0,64454	0,613959	0,521935	0,5673024

⁴ rgb : spectre de la lumière visible

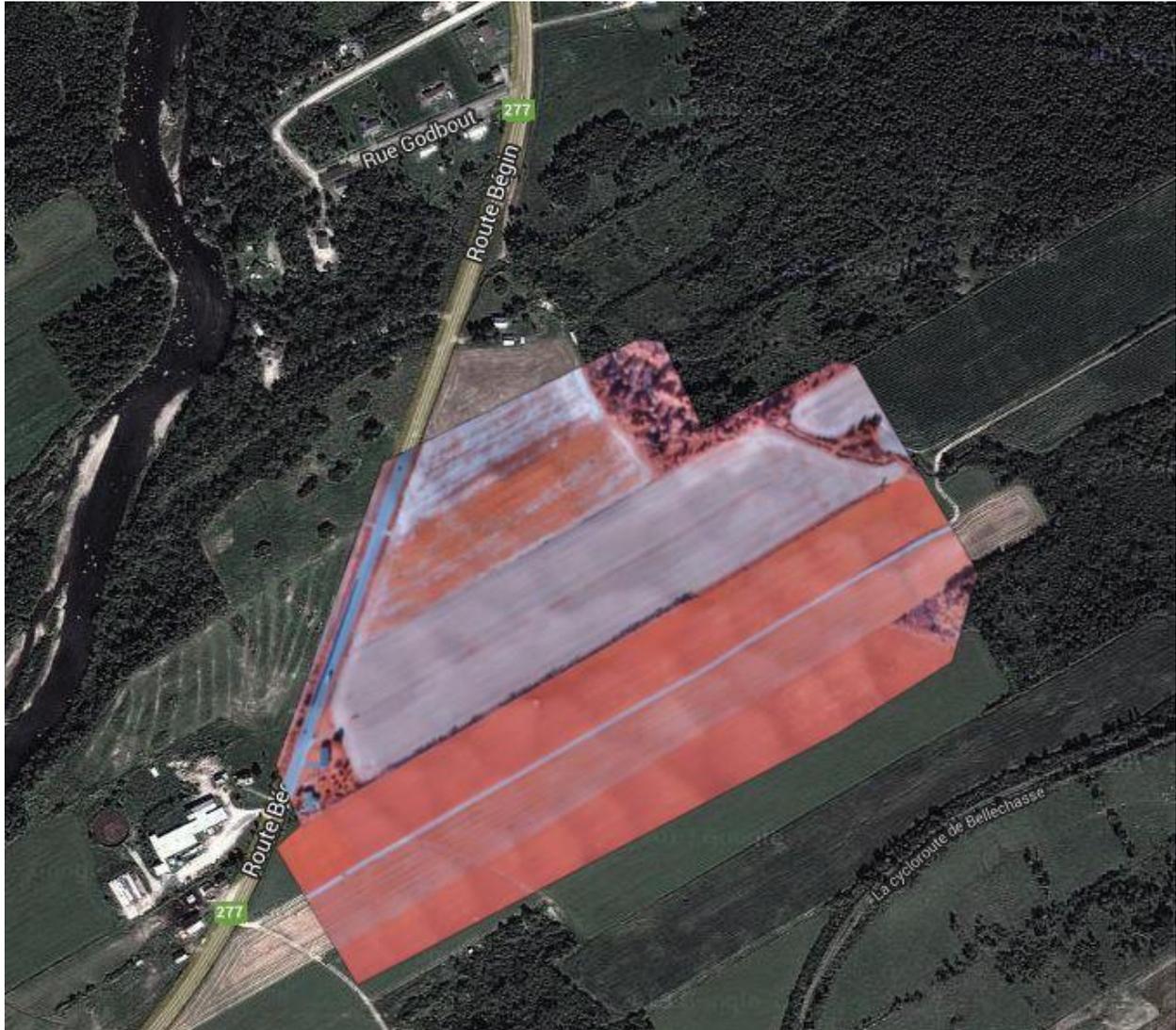
⁵ nir : spectre du proche infrarouge

Les différentes images sont traitées afin de redresser la géométrie, soit corriger l'inclinaison de la prise de vue et aplanir le terrain. Ensuite, toutes les images sont fusionnées afin de créer une mosaïque. Cette fusion prend en compte le recouvrement des images entre elles afin de minimiser les effets de bordure. Ainsi, chaque secteur survolé est représentée par une seule image. Finalement, les mosaïques d'images sont reprojetees dans le système de référence géodésique (ex : WGS84, NAD83) et le système de coordonnées désirés (ex : lat/long, UTM, MTM). Dans le cadre de cette étude, les données ont toutes été reprojetees vers le NAD83, MTM (zone 7).

FIGURE 7: ORTHOMOSAÏQUE DANS LE SPECTRE DE LA LUMIÈRE VISIBLE DE LA FERME 2



FIGURE 8: ORTHOMOSAÏQUE DANS LE SPECTRE DU PROCHE INFRAROUGE DE LA FERME 3

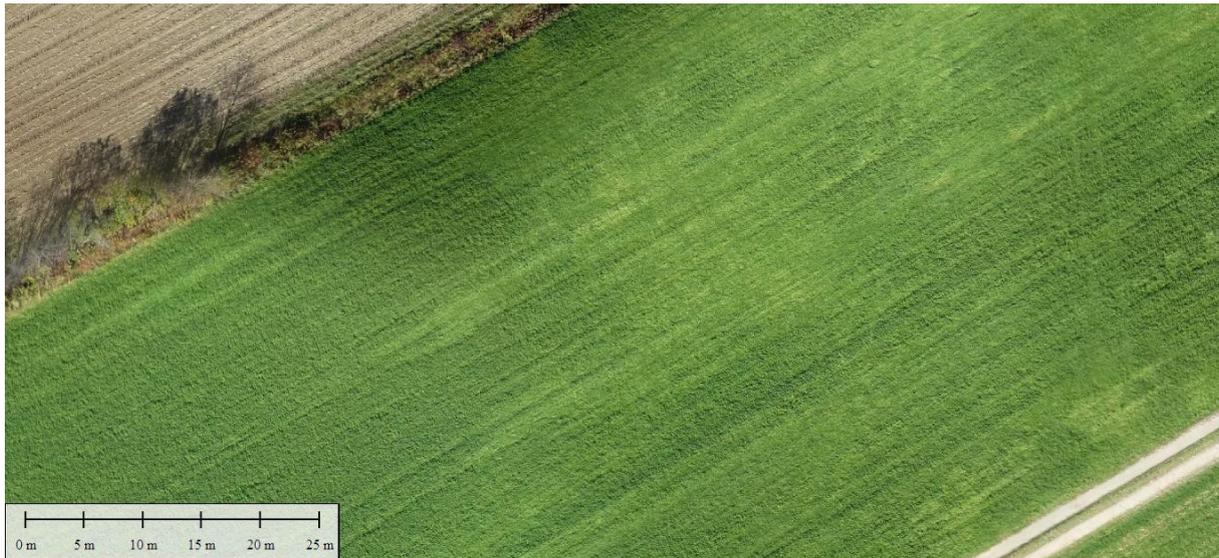


Les images étant désormais traitées et géoréférencées, elles peuvent être intégrées dans un système d'information géographique (SIG) afin de bénéficier des avantages de superpositions de couches, des calculs de distances et de surfaces, etc. La superposition de couches permet d'afficher plusieurs autres thématiques (routes, hydrographie, cultures, etc.) au-dessus des images prises durant les survols. Il est aussi possible d'insérer d'autres images provenant de différentes sources et de différentes années et ainsi permettre d'effectuer des analyses historiques d'un même secteur. Le drone, en raison du choix précis des dates et heures de survols par l'opérateur, offre des possibilités accrues d'analyses temporelles. L'opérateur peut choisir le moment idéal de survol mais surtout refaire un survol du même secteur à plusieurs occasions au cours d'une année ou sur plusieurs années afin de se constituer une base de données temporelles.

Les images ajoutées dans un SIG peut aussi être paramétrées afin d'améliorer l'apparence de celles-ci via différents outils d'effets visuels. Parmi les outils les plus communs, notons la luminosité et le contraste permettant de corriger une image un peu sombre ou terne ainsi que la transparence permettant une opacité complète jusqu'à une transparence complète de l'image afin que les couches se trouvant en-dessous puissent transparaître aisément.

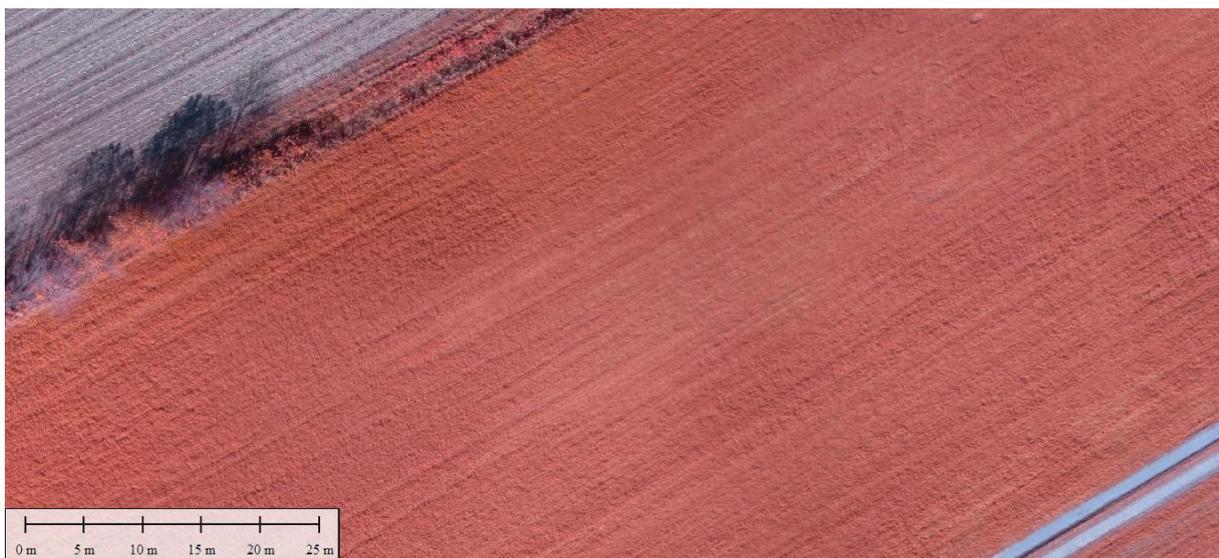
La résolution des photos captées par le drone permet de distinguer des éléments très précis sur le terrain comme le démontre la *Figure 9: Photo aérienne prise par le drone dans le spectre de la lumière visible à la Ferme 3* . Il est possible de visualiser les zones en luzerne (vert foncé) des zones en graminées (vert pâle). Avec cette application il est serait donc possible de déterminer précisément la position des drains agricoles dans les champs qui présentent des problématiques de compaction et où la luzerne ne se développe bien qu'au-dessus des drains. Avec les logiciels SIG il serait également possible d'évaluer des dommages hivernaux, mesurer des pourcentages de couverture en légumineuses et graminées pour améliorer la gestion des prairies...

FIGURE 9: PHOTO AÉRIENNE PRISE PAR LE DRONE DANS LE SPECTRE DE LA LUMIÈRE VISIBLE À LA FERME 3



La photo aérienne en proche infrarouge présente des résultats similaires pour la distinction des légumineuses et graminées en prairie *Figure 10: Photo aérienne prise par le drone dans le spectre du proche infrarouge à la Ferme 3*).

FIGURE 10: PHOTO AÉRIENNE PRISE PAR LE DRONE DANS LE SPECTRE DU PROCHE INFRAROUGE À LA FERME 3



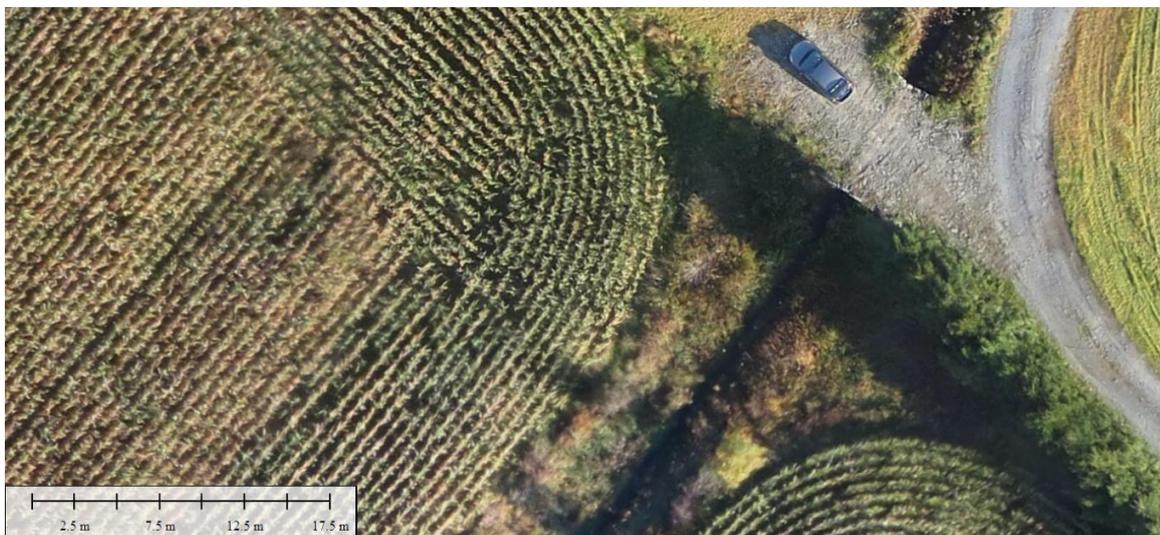
La Figure 11: Photo aérienne captée par le drone dans le spectre de la lumière visible à la ferme 2 permet de visualiser les bandes riveraines le long des confluent de fossés et de cours d'eau. À cette résolution les signes d'érosion hydrique seraient donc identifiables. Il faut mentionner qu'un utilisateur, avec un logiciel SIG, peut zoomer encore cette photo pour mieux discerner les zones problématiques. Un avantage de la technologie du drone consiste en la capacité de survoler et photographier tôt au printemps, après la fonte des neiges, ou après une forte pluie estivale, pour diagnostiquer et positionner les zones d'érosion, malgré des chemins de ferme souvent impraticables à ce moment. Le travail de sol au printemps vient masquer et corriger ces zones. Le passage permettrait de photographier une entreprise agricole ou les abords d'un cours d'eau avant que les zones érodées soient corrigées et de pouvoir faire les interventions nécessaires par la suite. Comme mentionné précédemment la rapidité d'acquisition des photos aériennes, à l'échelle d'une entreprise agricole, facilite cette opération, et ce à moindre coût.

FIGURE 11: PHOTO AÉRIENNE CAPTÉE PAR LE DRONE DANS LE SPECTRE DE LA LUMIÈRE VISIBLE À LA FERME 2



La photo aérienne suivante (Figure 12: Photo aérienne captés par le drone dans le spectre de la lumière visible à la ferme 2) montre des champs de maïs-grain, semés aux 76 cm, à l'intersection d'un cours d'eau. La voiture présente sur la photo nous donne une excellente idée des dimensions générales des objets sur la photo aérienne.

FIGURE 12: PHOTO AÉRIENNE CAPTÉS PAR LE DRONE DANS LE SPECTRE DE LA LUMIÈRE VISIBLE À LA FERME 2

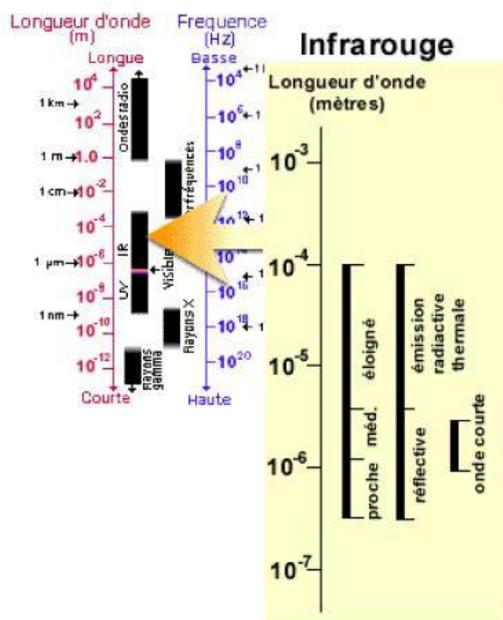


La résolution des photos prises par un drone permet de distinguer les rangs de céréales semés aux 18 cm. Rappelons que le drone était équipé d'une caméra de 16 mégapixels, mais que la technologie des caméras est en pleine évolution. La limite de résolution de ce type de photo aérienne, prise à basse altitude (moins de 120 mètres), n'est donc pas encore connue, mais est extrêmement prometteuse. Chaque gain à ce niveau va multiplier les possibilités de télédétection. Les limites actuelles de ce drone ne permettent pas, en raison de la vitesse minimale de vol de l'appareil et du recouvrement nécessaire entre les différentes prises de clichés, de survoler à des altitudes beaucoup plus basses. Un drone de type hélicoptère, pouvant porter des caméras plus lourdes et performantes, ouvrira de nouvelles possibilités.

Dans le projet, nous avons dû changer de caméra et faire un survol dans le spectre de la lumière visible et un deuxième passage dans le spectre du proche infrarouge (voir la figure suivante) induisant un décalage entre les survols. Le développement de caméra multispectrale ouvrira également de nouveaux horizons et permettra l'acquisition de différentes couches spectrales en un seul passage et que chaque couche spectrale se superpose parfaitement contrairement aux deux passages, visible et proche infrarouge où un décalage important est observé. La mise en relation des différentes bandes spectrales pixel par pixel permettront de produire des indices faisant ressortir des traits particuliers du secteur à l'étude. La mise en relation entre la bande visible du rouge R (longueur d'onde de 620-700 nm) et celle du proche infrarouge PIR (longueur d'onde de 780-1400 nm) permet de produire des indices de végétation. Par exemple, l'indice de végétation par différence normalisé (Normalized Difference Vegetation Index- NDVI) calcul la différence de la réflectance entre le PIR et le Rouge ((PIR-R)/(PIR+R)). L'indice met en évidence la variabilité spatiale de la densité et de la vigueur de la végétation, soit la l'activité chlorophyllienne. L'indice pourrait aussi permettre d'estimer le pH des sols. D'autres indices de

végétation peuvent aussi être générés comme l'indice de brillance (pour mieux distinguer les sols à nus. Une prudence face à l'interprétation de ces indices doit cependant être prise en compte.

FIGURE 13: SPECTRE DU PROCHE INFRAROUGE⁶



⁶ Tiré de « Notions fondamentales de télédétection », Centre canadien de télédétection, Ressources Naturelles Canada, p. 11 09/2013 - 03/2014

Le coût d'acquisition de cette technologie est élevé, de l'ordre de \$25000 à \$30000 pour le drone utilisé dans ce projet, ce prix comprenant toutefois les logiciels de plans de vol (*eMotion 2*) et de traitement des données (*Postflight Terra LT*). Ce coût élevé et ce type d'opérations entraîne l'obligation d'acquiescer une assurance pour les biens et la responsabilité. Le développement de cette technologie, prévu à court et moyen terme par les experts, tout particulièrement dans le secteur agricole, va nécessairement entraîner une baisse des coûts d'acquisition en raison de la compétition.

Le projet prévoyait des survols du drone avec des marqueurs de référence au sol, assez gros pour être photographiés par le drone. Les marqueurs ayant été préalablement positionnés avec un équipement GPS de précision, nous aurions été en mesure de dresser des modèles d'élévation numérique propres à réaliser des plans de nivellement des sols. En raison du délai court avec le drone, une seule journée, du coût de location de l'appareillage GPS, cette opération pourra se concrétiser dans une phase subséquente d'essai.

Finalement une journée de démonstration était prévue dans le cadre de ce projet. Compte tenu du fait que le projet a permis d'obtenir des informations très intéressantes, il nous apparaît quand même plus opportun de la réaliser après la phase subséquente d'essai mentionné précédemment.

Applications possibles en Chaudière-Appalaches et suivi à donner au projet

Nous avons réunis pour ce projet les différentes ressources, technologies et compétences pour le mener à bien. Nous considérons que la technologie du drone a répondu entièrement à nos attentes et objectifs, malgré certaines appréhensions que nous avions au départ. Le développement de cette technologie est en pleine expansion actuellement, il nous apparaît clairement que leur utilisation deviendra incontournable à court et moyen terme. Bien que les technologies existantes soient performantes pour certaines applications (photo aérienne par avion, image satellite, données LIDAR...), l'imagerie à haute résolution, acquise en temps réel et disponible dans un délai très court après le survol, ouvre des possibilités nouvelles pour les conseillers agricoles et leur clientèle.

À l'échelle de l'entreprise agricole la technologie du drone dépasse donc nettement les autres technologies, qui sont davantage destinées à des applications à une échelle régionale ou nationale, en aménagement du territoire par exemple. De plus les coûts d'acquisition des données sont nettement inférieurs aux photos aériennes prises par avion, même si cette technologie peut réaliser des photos avec une résolution semblable aux images captées par un drone à basse altitude. Il serait intéressant d'estimer le coût d'utilisation à l'hectare qui pourrait être facturé à une entreprise agricole, qui tiendrait compte de l'amortissement d'un drone et de ses logiciels, ainsi que des coûts d'opérations. Une étude économique poussée pourrait faire l'objet de la phase 2 de ce projet.

Notre essai démontre que la technologie du drone offre de nombreux avantages et recèle certaines limitations.

Présentons d'abord les principaux avantages:

- Facilité (pilotage automatique par plan de vol géoréférencé) et rapidité d'utilisation, acquisition des données en temps réel, choisi par l'utilisateur. L'appareil vole à une vitesse pouvant varier entre 36 et 57 km/heure, à haute résolution il peut photographier environ 100 hectares en une heure;
- Disponibilité très rapide des données, permettant des interventions dans un court délai au besoin. L'utilisation potentielle du drone dans la stratégie phytosanitaire (mauvaises herbes, insectes, maladies des cultures...) en est un exemple;
- Résolution très élevée permettant les diagnostics d'érosion des sols. L'amélioration des caméras portées par les drones augmentera encore cette résolution. Une phase subséquente d'essai permettrait de faire un survol après de fortes pluies et de positionner les zones où la percolation est lente par la présence de flaques d'eau (zones potentielles de compaction ou d'égouttement de surface déficient);
- Capacité de mettre en relation des couches d'information captées à différents moments et périodes selon les besoins de l'utilisateur;
- Ces couches d'information peuvent être mis en relation avec d'autres couches (pédologie, cartes de rendement...) dans des logiciels SIG;
- Possibilité de réaliser des modèles d'élévation numérique (avec des marqueurs de référence au sol), en tout point sur l'axe des z et avec une résolution de 3 à 5 cm, permettant l'élaboration de plans de nivellement des sols très précis et acquis à moindre coût;
- Le développement de caméras multispectrales va permettre de capter une grande quantité d'informations en un seul passage et de mettre en relation les différentes bandes spectrales.

En contrepartie cette technologie a également certaines limitations :

- Malgré les plans de vol automatique, l'utilisateur doit être expérimenté. Ce n'est pas un appareil qui peut être utilisé sans une bonne formation. Ces appareils sont performants, fragiles, légers (0,7 kg) et relativement dispendieux, ils nécessitent l'acquisition d'assurances bien et responsabilité;
- L'exigence d'un certificat d'opération aérienne spécialisé (COAS) de Transport Canada pour opérer un véhicule aérien non habité (UAV) engendre un délai d'obtention de ce certificat. Cette exigence limite donc l'utilisation des UAV à des personnes préalablement autorisées;
- Les survols nécessitent des autorisations de Transports Canada, donc un délai de quelques jours entre la demande et le survol photographique. Des assouplissements sont attendus prochainement aux U.S.A. et au Canada pour ce type d'utilisation à des fins civiles;
- Les conditions météorologiques doivent être au rendez-vous pour obtenir des photos aériennes de qualité : bonne luminosité, peu de couverture nuageuse, absence de pluie lors du vol, vent doux à modéré. Il est à noter que les conditions de vent au sol et à 120 mètres d'altitude sont différentes. L'appareil peut opérer, à l'altitude de vol, jusqu'à des vents de 45 km.

La région de Chaudière-Appalaches présente des problématiques environnementales qui demande des interventions rigoureuses et bien ciblées. Dans un contexte où le prix des terres est élevé et où le prix de vente des grains est intéressant, pouvoir développer des outils de diagnostic performants devient primordial, permettant d'allier protection de l'environnement et rendements. La technologie de l'imagerie à haute résolution acquise par un drone ouvre des possibilités nouvelles, en offrant des données de précision, géoréférencées, à l'échelle de l'entreprise agricole, disponibles rapidement et à moindre coût. De fait cette technologie présente un fort intérêt régional et provincial.

Autres travaux et références sur l'utilisation de drones et de l'imagerie à haute résolution en agriculture

La liste de références qui suit n'est pas exhaustive, mais constitue un bon point de départ pour poursuivre une recherche plus poussée. Quelques projets, dont certains dans le secteur agricole, sont en cours actuellement au Québec. Le lien suivant www.sensefly.com est le site web de la compagnie *senseFly*, qui a développé le drone eBee, utilisé dans le projet.

BOUABDALLAHS, 2007, Design and control of quadrotors with application to autonomous flying.

CENTRE CANADIEN DE TÉLÉDÉTECTION, *Notions fondamentales de télédétection*, Ressources Naturelles Canada, 266 p.

CHOGNARD SÉBASTIEN, 2013, *Drone et agriculture : aspect généraux et étude de cas*, 55 p.

CORBANE CHRISTINA, 2006, Reconnaissance des états de surface en milieu cultivé méditerranéen par télédétection optique à très haute résolution spatiale, 264 p.

DE PINEL DE LA TAULE, MORISSETTE SAMUEL, MÉNARD PATRICK, JEAN KARINE, Agrinova 2011, *L'imagerie multispectrale comme outil d'analyse et de diagnostic pour la productivité des sols en agriculture de précision*, 4 p.

EGAND, C.L., A.J. RICHARDSON D.E., ESCOBAR, and A.H. GERBERMANN, 1991, Vegetation indexes in crop assessments, *Remote Sensing of Environment*, p. 35;105-119.

GERBET THOMAS, 2013, Un premier drone pour les agriculteurs du Québec.

JUBELIN, G, 2006, *Évaluation du potentiel de la télédétection par drone pour l'agriculture : cas du blé*, 98 p.

HANS-PETER THAMM, 2006, *Utilisation expérimentale d'un aéronef ultraléger (UAV) pour une télédétection à haute résolution*, 92 p.

JÉROME LEJOT, HERVÉ PIÉGAY, PETER DAVID HUNTER, BERTRAND MOULIN, MATHIEU GAGNAGE, 2010, *Utilisation de la télédétection pour la caractérisation des corridors fluviaux : exemples d'applications et enjeux actuels*, p. 157-172

RACLOT DAMIEN, PUECH CHRISTIAN, MATHYS NICOLLE, ROUX BRUNO, JACOME ANDRES, ASSELINE JEAN, BAILLY JEAN-STÉPHANE, 2005, *Photographies aériennes prises par drone et modèle numérique de terrain*, 37 p.

THÉAU JÉROME, 2010, *Un avion sans pilote au service des agriculteurs*, Université de Sherbrooke

TUCKER, C.J., 1979, *Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation*, *Remote Sensing of Environment*, p.127-150.

VÉZINA ANDRÉ, SAVOIE CHARLES, DESMARAIS CAMILLE, LEMIEUX NICOL, CLOUTIER LOUISE-MARIE, DION JEAN-PIERRE, 2003, *Utilisation de l'imagerie numérique infrarouge pour évaluer la performance agroenvironnementale d'entreprise agricole*, 58 p.

Remerciements

La réalisation de ce projet a nécessité la collaboration et l'appui de plusieurs collaborateurs et organismes que nous remercions grandement :

La direction régionale de la Chaudière-Appalaches du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec pour sa contribution financière dans le cadre du programme Prime-Vert, sous-volet 3.1-approche régionale;

Mme France L., propriétaire d'une entreprise de la région et productrice en grandes cultures, qui nous a mis sur la piste de l'utilisation des drones en agriculture et qui nous a aidés à définir les besoins pour les entreprises agricoles;

M. Nicholas Préfontaine, étudiant au programme de génie électrique, qui nous a aidés à définir les paramètres nécessaires concernant les drones dans le contexte d'une utilisation agricole;

Les entreprises agricoles de Ferti-Conseil Rive Sud qui ont participé au projet, pour leur disponibilité et leur intérêt soutenu pour le développement de l'application de cette technologie en agriculture.

M. Patrick Mercier, géomaticien pour l'Association des conseillers en agroenvironnement de Chaudière-Appalaches (ACAC), pour sa collaboration tout au long du projet, pour l'analyse des données géomatiques des survols aériens et sa participation à la rédaction et à la révision du rapport final;

M. Marcel Laberge, géomètre et directeur de la géomatique à la compagnie Aéro-Photo (1961) inc., pour sa collaboration précieuse et son expertise dans le domaine de la photo aérienne;

Le conseil d'administration de Ferti-Conseil Rive Sud qui a supporté le projet depuis le début et l'équipe de conseillers qui s'y est investi entièrement pour sa réalisation.

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

09/2013 - 03/2014



Annexe B : Éléments du rapport technique du plan de vol à la Ferme 2 (lumière visible)

Quality Report



See [Quality Report Help](#) for detailed explanations. Generated with version 2.2.2 (build 2.2.16)

Summary

Project:	laccasse_2_rgb
Camera name:	CanonIXUS125HS_4.3_3456x4608
Average Ground Sampling Distance (GSD):	3.94 cm
Area covered:	0.6 sq. km / 60.1 ha / 0.23 sq. mi.
Image coordinate system:	WGS84
Output coordinate system:	UTM19 / WGS84
Processing type:	full (scale 1)
Time for Initial Processing (without report):	01h:54m:28s.

Quality Check

Images:	median of 43951 keypoints per image	✓
Dataset:	151 out of 162 images calibrated (93%)	⚠
Camera optimization quality:	0.49% relative difference between initial and final focal length	✓
Matching quality:	median of 4186 matches per calibrated image	✓
Georeferencing:	no GCP	⚠

Preview

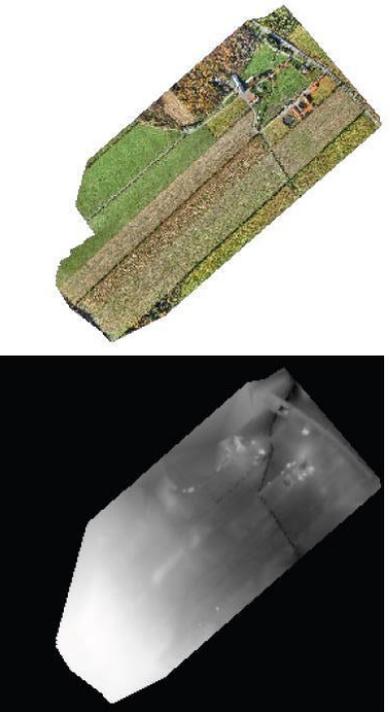
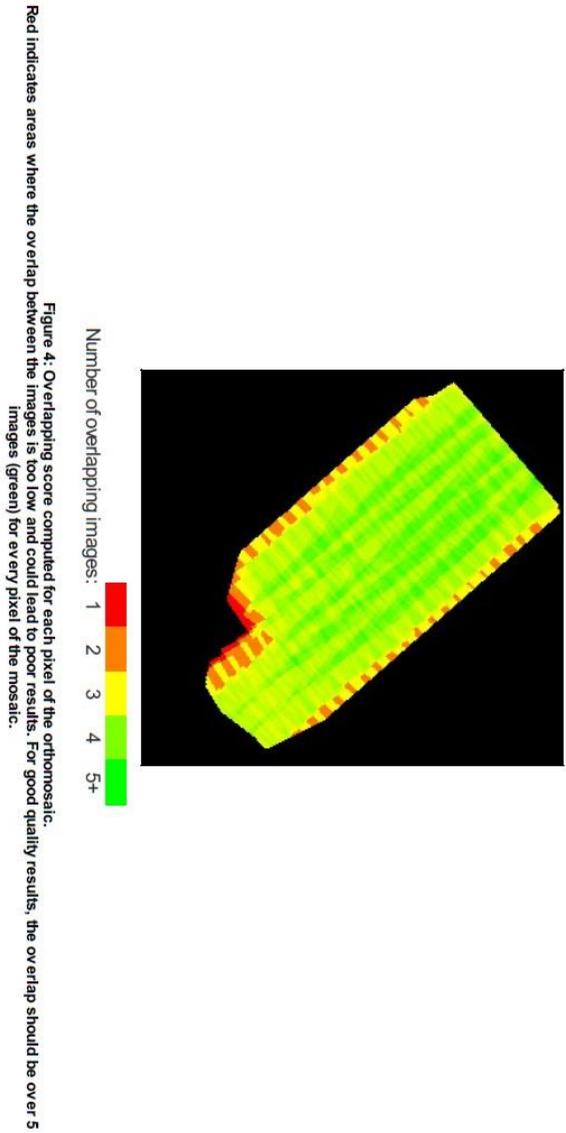


Figure 1: Ortho mosaic and the corresponding sparse digital surface model (DSM) before densification.

Calibration details

Number of calibrated images:	151 out of 162
Number of geotagged images:	162 out of 162

Overlap



Bundle Block Adjustment details

number total keypoint observations for bundle block adjustment	602508
number total 3D points for bundle block adjustment	259028
mean reprojection error	0.194557 [pixels]

Internal Camera Parameters CanonIXUS125HS_4.3_3456x4608 sensor dimension: 6.17 4.63 [mm]

	Focal length	Principal point X	Principal point Y	RD 1	RD 2	RD 3	TD 1	TD 2
initial values	3274.810 [pix]	2304.000 [pix]	1728.000 [pix]	-0.048	0.045	-0.016	-0.003	0.008
optimized values	4.386 [mm]	3.086 [mm]	2.315 [mm]	-0.051	0.060	-0.034	0.000	-0.000

2D Keypoints Table

	Number of 2D keypoints per image	Number of matched 2D keypoints per image
Median	43951.000	4186.000
Mfn	17028.000	171.000
Max	67119.000	9131.000
Mean	45756.066	3990.119

3D points from 2D keypoints matches

	Number of 3D points observed
ln 2 images	198336
ln 3 images	42731
ln 4 images	13240
ln 5 images	3850
ln 6 images	680
ln 7 images	175
ln 8 images	16

2D Keypoints Graph

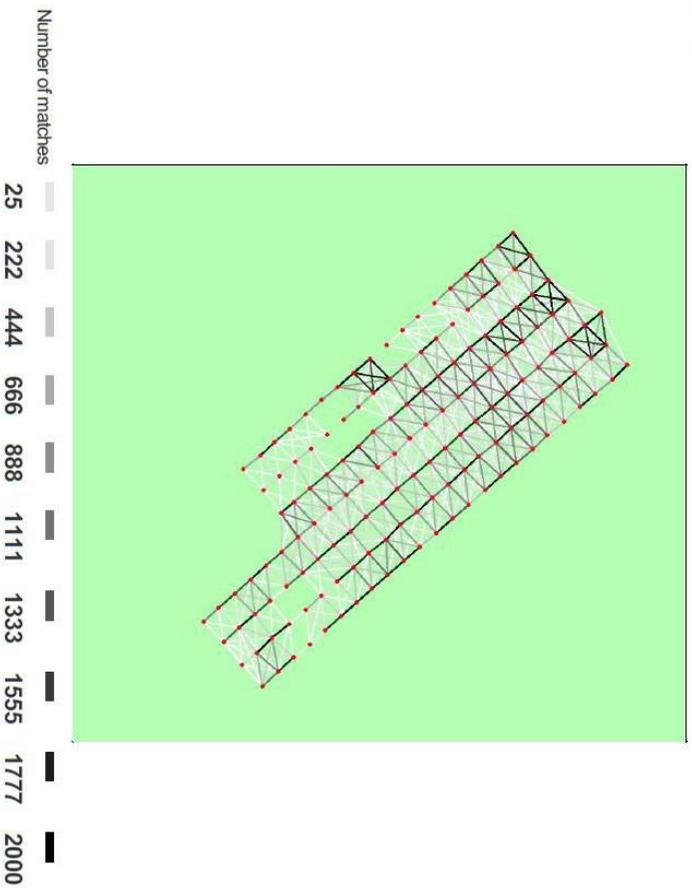


Figure 5: Top view of the geotags with a link between matching images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate low confidence and would require more overlap between the images or better quality images.

Most visible 2D keypoints



Figure 6: Cropped area of 10 3D points arising from 8 2D keypoints. Each cropped area should represent the same object on the ground.

Annexe C : Éléments du rapport technique du plan de vol à la Ferme 2 (proche infrarouge)

Quality Report



Summary

See *Quality Report Help* for detailed explanations. Generated with version 2.2.2 (build 2.2.16)

Project:	laccasse2_nlr
Camera name:	CanonPowerShotELPH110HS_4.3_3456x608
Average Ground Sampling Distance (GSD):	3.89 cm
Area covered:	0.61 sq. km / 60.99 ha / 0.24 sq. mi.
Image coordinate system:	WGS84
Output coordinate system:	UTM 19 / WGS84
Processing type:	full (scale 1)
Time for Initial Processing (without report):	01h:49m:21s

Quality Check

Images:	median of 41554 keypoints per image	✓
Dataset:	165 out of 171 images calibrated (96%)	✓
Camera optimization quality:	0.7% relative difference between initial and final focal length	✓
Matching quality:	median of 4590 matches per calibrated image	✓
Georeferencing:	no GCP	⚠

Preview

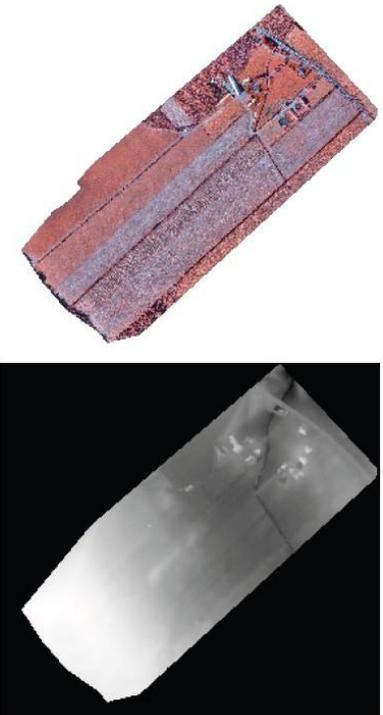


Figure 1: Ortho mosaic and the corresponding sparse digital surface model (DSM) before densification.

Calibration details

Number of calibrated images:	165 out of 171
Number of geotagged images:	171 out of 171

Overlap

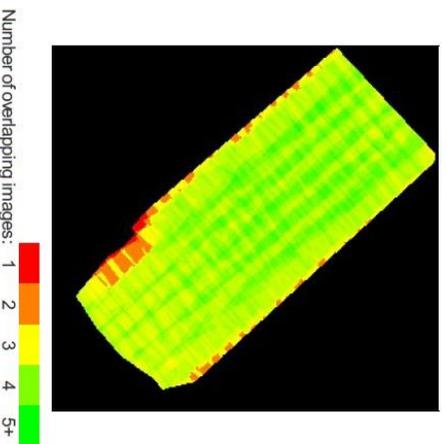


Figure 4: Overlapping score computed for each pixel of the orthomosaic. Red indicates areas where the overlap between the images is too low and could lead to poor results. For good quality results, the overlap should be over 5 images (green) for every pixel of the mosaic.

Bundle Block Adjustment details

number total keypoint observations for bundle block adjustment	802935
number total 3D points for bundle block adjustment	330726
mean reprojection error	0.19488 [pixels]

Internal Camera Parameters CanonPowerShotELPH110HS_4.3_3456x4608 sensor dimension: 6.17 4.63 [mm]

	Focal length	Principal point X	Principal point Y	RD 1	RD 2	RD 3	TD 1	TD 2
initial values	3263.368 [pix]	2324.386 [pix]	1793.153 [pix]	-0.049	0.056	-0.034	0.005	0.002
optimized values	3240.480 [pix]	2340.357 [pix]	1781.588 [pix]	-0.054	0.061	-0.037	0.003	0.001

2D Keypoints Table

	Number of 2D keypoints per image	Number of matched 2D keypoints per image
Median	41554.000	4590.000
Mn	10859.000	24.000
Max	66404.000	12495.000
Mean	42482.758	4866.273

3D points from 2D keypoints matches

	Number of 3D points observed
In 2 images	236180
In 3 images	61526
In 4 images	22551
In 5 images	7880
In 6 images	1927
In 7 images	485
In 8 images	157

2D Keypoints Graph

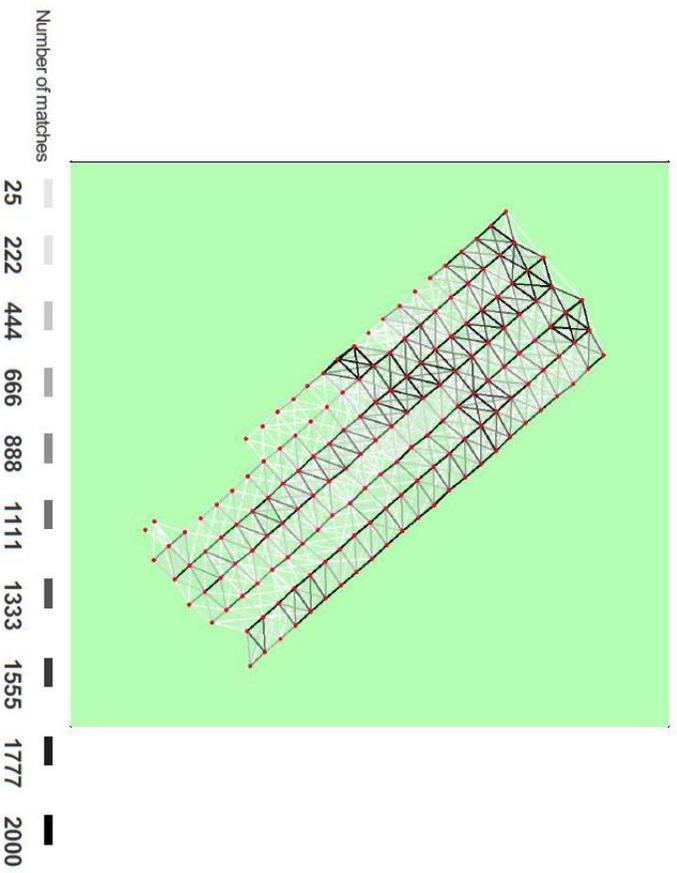


Figure 5: Top view of the geodogs with a link between matching images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate low confidence and would require more or larger overlap between the images or better quality images.

Most visible 2D keypoints

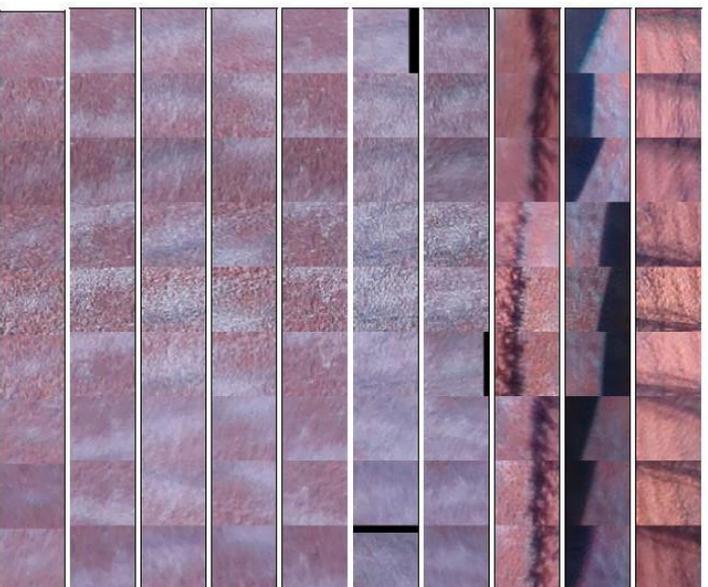


Figure 6: Cropped area of 10 3D points arising from 9 2D keypoints. Each cropped area should represent the same object on the ground.