HAL
open science

Acquisition d'images thermiques infrarouges par drone pour la caractérisation de l'ICU de surface à échelle fine : étude pilote dans une ZAE du territoire de Metz Métropole (le plateau de Frescaty

Gilles Drogue, Nassima Hassani, Luc Manceau, Litifu Paruke

To cite this version:

Gilles Drogue, Nassima Hassani, Luc Manceau, Litifu Paruke. Acquisition d'images thermiques infrarouges par drone pour la caractérisation de l'ICU de surface à échelle fine : étude pilote dans une ZAE du territoire de Metz Métropole (le plateau de Frescaty. 33ème Colloque de l'AIC, Jul 2020, Rennes, France. hal-02546728

HAL Id: hal-02546728

https://hal.univ-lorraine.fr/hal-02546728

Submitted on 22 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ACQUISITION D'IMAGES THERMIQUES INFRAROUGES PAR DRONE POUR LA CARACTERISATION DE L'ICU DE SURFACE A ECHELLE FINE : ETUDE PILOTE DANS UNE ZAE DU TERRITOIRE DE METZ METROPOLE (LE PLATEAU DE FRESCATY)

DROGUE G. (1), HASSANI N. (1), MANCEAU L. (1), et PARUKE L. (1)

(*1) Centre de Recherche en Géographie (LOTERR EA 7304), Université de Lorraine, Ile du Saulcy - BP 60228 57045 Metz cedex 01, France, gilles.drogue@univ-lorraine.fr*

Résumé : *Cet article décrit le test d'une caméra thermique infrarouge non refroidie (caméra FLIR Vue Pro 336, 35°FOV, 9 mm, 30Hz) embarquée à bord d'un drone quadricoptère (DJI Phantom 4 Pro) aux fins de cartographier à échelle fine (100 m x 100 m) la température de surface de la couche de canopée urbaine. Les images acquises sont corrigées radiométriquement par régression linéaire à partir des données thermiques collectées sur 3 cibles stables (une cible froide, une cible chaude, une cible intermédiaire) installées au sol lors de la mission thermographique. Ce test a permis d'obtenir une thermographie d'été, calibrée par l'utilisateur et servant à caractériser le comportement thermique du bâti existant (notamment en termes de gradients thermiques et d'énergie émise) lors d'une après-midi radiative. Nos résultats montrent que, malgré une marge d'erreur importante sur la température absolue, l'utilisation d'une caméra thermique miniature installée sur un drone, permet d'acquérir, après correction radiométrique des images infrarouges d'une qualité suffisante pour être exploitée en climatologie urbaine.*

Mots clés : *drone, caméra thermique infrarouge, température de surface, îlot de chaleur de surface, Metz Métropole*

Summary: *This paper describes a test of an uncooled thermal infrared camera (the FLIR Vue Pro 336, 35°FOV, 9 mm, 30Hz camera) installed on a quadcopter DJI Phantom 4 Pro UAV in order to map the surface temperature at a fine scale (100 m x 100 m) in the canopy layer. Images are radiometrically corrected by linear regression using ground temperature data recorded on stable plates (a cold one, a warm one and an intermediate) installed during the thermal mission. This test allows to get a summer infrared thermography, calibrated by the user and usable to characterize the thermal behavior of existing buildings (especially in terms of thermal gradients an emitted energy) during a radiative afternoon. Results show that, despite a poor accuracy of absolute temperature estimates, using an miniaturized thermal infrared camera mounted on a UAV is able to provide, after radiometric correction, infrared images of sufficient quality for being exploited in urban climatology.*

Key words: *UAV (drone), thermal infrared camera, surface temperature, surface heat urban island, Metz Métropole*

Introduction

Les images thermiques sont un excellent indicateur de l'énergie émise par les parois urbaines et un très bon descripteur spatio-temporel de l'ICU de surface. Celui-ci se situe à la base de la couche de canopée urbaine et se mesure à partir de la température de surface du sol (solide ou liquide) généralement déduite du rayonnement infrarouge enregistré par un capteur de satellite ou une caméra thermique. La miniaturisation des caméras thermiques permet aujourd'hui de les installer sur des drones. De ce fait, la télédétection par drone est en plein essor en climatologie urbaine (Naughton et al. 2019). Cette télédétection de proximité (faible distance caméra-cible) offre l'avantage d'une grande flexibilité (« pouvoir mesurer où et quand on veut ») par rapport à la télédétection satellitale ou à l'aéroporté par avion. En termes d'échelle spatiale, elle est complémentaire à ces deux approches dans la mesure où le champ d'une image drone (prise à basse altitude, ~ 50 m) est typiquement de l'ordre de 100 à 300 m².

Cette technologie s'applique donc préférentiellement aux échelles fines (de la rue à l'îlot urbain).

L'objet de cet article est de présenter un premier test d'une caméra thermique infrarouge « low cost » (~ 2500 € TTC) non calibrée, non refroidie, embarquée à bord d'un drone aux fins de cartographier à échelle fine la température de surface dans une zone d'activité économique en cours de rénovation.

Les objectifs de cette expérimentation sont à la fois fondamentaux et appliqués : i) mettre en place un protocole de correction radiométrique des images thermiques à partir de données terrain qui soit reproductible; ii) caractériser une variabilité sous-maille de la température de surface (par comparaison à la température de surface donnée par la maille Landsat 8 à 100 m de résolution) ; iii) définir des jeux de données de référence pour caractériser le bâti existant vis-à-vis des acteurs de la rénovation (urbanistes, décideurs, bureaux d'études) ; et iv) valider des outils de modélisation du micro-climat urbain (modèle ENVI-met par exemple).

1. Matériel et méthodes

1.1 Acquisition des images

Notre dispositif d'acquisition d'images thermiques infrarouges est composé d'un drone DJI Phantom 4 Pro (aéronef quadricoptère généralement utilisé pour des applications en imagerie optique) et d'une caméra thermique FLIR Vue Pro 336, 35°FOV, 9 mm, 30Hz utilisée couramment pour le diagnostic thermique (Figure 1). La plage de températures de fonctionnement de cette caméra s'étend de -20 °C à +50 °C et sa bande spectrale se situe entre 7,5 et 13,5 µm (caméra dite à ondes longues). Différents outils et logiciels dédiés au paramétrage du vol et de la caméra sont utilisés lors de la mission : DJI Go 4 (gestion de vol et paramétrage drone), Pix 4D Capture (gestion de vol et paramétrage drone en scénario S1, S2 et S3), FLIR Tools (gestion, paramétrage, exploitation des données issues de la caméra thermique), FLIR UAS (paramétrage caméra thermique), une tablette Ipad servant d'écran de contrôle, Photoscan Pro (post-traitement photogrammétrie).

Figure 1. Dispositif d'acquisition d'images thermiques infrarouges. De gauche à droite : le drone, la tablette Ipad et les batteries ; la nacelle avec la caméra thermique ; le drone en vol avec la nacelle et la caméra thermique « sous abri ». Photographies prises lors de la mission drone du 8 juillet 2019 (Carré de l'Escadron, sur le Plateau de Frescaty).

1.2 Correction radiométrique à partir de données terrain

Comme le signalent Jolivot et al. (2014), « les caméras thermiques miniaturisées embarquées à bord de drones n'ont pas de système de contrôle de la température des microbolomètres, ce qui conduit à la dérive continue des données, avec la difficulté de mesurer correctement la température absolue des objets étudiés sur le terrain ». Ceci signifie que les images issues de la caméra thermique utilisée (récupérées en comptes numériques -CN- traduisant les valeurs de luminance) doivent être corrigées en CN pour obtenir une

cartographie en température de l'objet ou du site observé. Un protocole inspiré des travaux de Jolivot et al. (2014) et des préconisations de Kelly et al. (2019) a donc été mis en place afin : d'une part de corriger radiométriquement les images à partir de références terrain présentes dans l'image et dont la température est connue indépendamment et d'autre part, de limiter au maximum les dérives instrumentales. Les références terrain sont des plaques de polystyrène fixées sur un cadre en bois de 1 m², recouvertes de feuilles de canson blanches, noires ou grises, représentant respectivement une cible froide, une cible chaude et une cible intermédiaire (Figure 2 et Figure 3). Chaque cible est munie d'une sonde thermique *Tynitag* (thermistance de type perle) enregistrant en continu la température de surface de la cible. La perle est logée sous la feuille de papier canson au contact du polystyrène. Les températures des cibles chaude et froide correspondent aux températures extrêmes de la zone d'étude. Les mesures de température des *Tynitag* sont utilisées pour recalculer la valeur des autres objets présents dans l'image par l'intermédiaire d'une équation d'étalonnage reliant la température de surface mesurée par les *Tynitag* et la valeur moyenne de luminance (exprimée en CN) de chaque référence terrain pour chaque image brute. Ces références terrain sont facilement identifiables dans le visible et dans l'infrarouge thermique (voir Figure 3 et Figure 5) ce qui permet la création d'AOI (Area Of Interest) afin de calculer cette valeur moyenne. Notre protocole intègre également les bonnes pratiques suivantes : i) une protection de la caméra thermique visant à limiter au maximum la dérive découlant de l'instabilité de la température du capteur et l'effet des conditions de vol (effet de refroidissement éolien, radiation solaire) sur les données radiométriques enregistrées ; raison pour laquelle la caméra thermique a été placée dans un abri en polystyrène (Figure 1) ; ii) le préchauffage de la caméra (allumage 30 minutes avant le vol pour stabiliser la température interne de la caméra et éviter d'accentuer la dérive des micro-bolomètres).

Figure 2. A gauche : les 2 ellipses blanches entourent les 3 cibles thermiques en polystyrène posées au sol (cible blanche, cible noire et cible grise) ; à droite : cible grise avec sonde *Tinytag*. Photographies prises lors de la mission drone du 8 juillet 2019 (Carré de l'Escadron, sur le Plateau de Frescaty).

1.3 Zone étudiée

La zone étudiée se situe sur le Plateau de Frescaty, une Zone d'Activités Economiques (ZAE) gérée par la Métropole de Metz à la périphérie sud-ouest de l'agglomération messine.

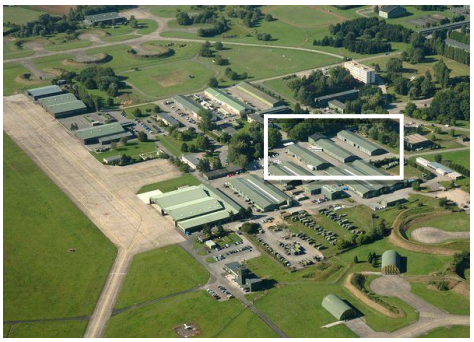

Figure 3. A gauche : La « Base Vie », qui comprend le « Carré de l'Escadron » (rectangle blanc), zone d'étude de la mission drone; à droite : vue aérienne (orthomosaïque de résolution 1.3 cm/pixel) de la zone d'étude où l'on distingue les trois cibles thermiques (ronds noirs) utilisées lors de la thermographie du 8 juillet 2019.

La zone couverte par la mission drone est un carré de 100 m x 100 m composé de hangars, d'un enrobé dégradé et de quelques grands arbres situés en périphérie (Figure 3). Il s'agit du « Carré de l'Escadron » situé dans le secteur de la « Base Vie », qui constitue une priorité pour la reconversion du site du Plateau de Frescaty, ancienne Base aérienne 128 Metz Frescaty[1]. La Base Vie comprend une trentaine de bâtiments (hébergements, bureaux, hangars techniques et aéronautiques), soit reconvertis, soit en cours de commercialisation (Figure 3). Agrémenté d'espaces verts, cet ensemble compose un cadre de vie agréable, de type campus d'activités.

Compte-tenu des caractéristiques de la zone à survoler, le drone a été utilisé en scénario S3. Préalablement au vol, il a fallu : obtenir les autorisations de la Préfecture et de Metz Métropole, mettre en place un protocole de vol avec la Section Aérienne de Gendarmerie (proximité d'un héliport), obtenir l'accord de l'aéroport Metz-Nancy Lorraine, préparer le matériel topographique (station totale et mires) et celui du drone (accessoires), obtenir le déblocage des zones de non vol DJI par DJI.

1.4 L'acquisition des images

Les images ont été acquises le 8 juillet 2019 par temps ensoleillé et vent faible (rafales inférieures à 20 km/h) à 50 m d'altitude de manière à garantir un taux de recouvrement élevé entre les images. La caméra thermique est calibrée pour prendre un cliché toutes les 2 secondes. L'heure des capteurs (sondes *Tinytag*, caméra thermique, caméra optique) est synchronisée sur l'heure universelle GMT. La zone à survoler étant de taille réduite, le site d'intérêt a pu être couvert en 1 vol. Celui-ci a commencé à 15:45 (heure locale) pour se terminer à 16:00 soit au moment le plus chaud de la journée (22°C sous abri). La faible durée du vol (15 mn) permet de limiter l'effet du déplacement du soleil sur l'horizon sur les variations thermiques dans la zone d'étude.

1.5 Post-traitement des images infrarouges

Les images acquises (81) doivent être orthorectifiées et mosaïquées pour créer une orthomosaïque géoréférencée précise. Cette opération a nécessité l'utilisation des relevés GPS des cibles thermiques (calage du site au GPS monofréquence et ensuite mesure des cibles avec la station totale ou tachéomètre) et la récupération des métadata des images optiques (coordonnées, oméga, phi, kappa, altitude) afin de les prescrire aux images thermiques, la caméra thermique n'étant pas équipée d'un GPS.

Ensuite il a fallu créer des repères sur la modélisation 3D optique afin de les importer sur la modélisation 3D thermique (référentiel de 245 points générés). Cette opération a été réalisée dans l'environnement du logiciel Photoscan Pro dont les fonctionnalités (processus en patchwork, mosaïquage, importation de modèle 3D - issu de la modélisation optique-, texture et tuilage de modèle 3 D -par les images thermiques alignées-) ont permis d'obtenir une orthomosaïque thermique.

[1] https://www.metzmetropole.fr/innover-entreprendre/grands-projets/plateau-de-frescaty/les-zones-d-activite/base-vie-339.html

2. Résultats

Les données de température des cibles, facilement identifiables et homogènes dans le visible (Figure 3) comme dans l'infrarouge (Figure 5), ont été comparées aux valeurs moyennes de CN par cible (Figure 4).

L'équation de la droite de régression qui ajuste très bien les trois cibles a été utilisée pour convertir les CN en température absolue (Figure 5). Ce géotraitement a été réalisé dans l'environnement du logiciel ArcGIS grâce à l'outil « calculatrice raster ». Le post-traitement photogrammétrique réalisé dans Photoscan a permis d'orthorectifier et de géoréférencer chaque image issue de la caméra thermique, puis de mosaïquer les images de façon à obtenir une orthomosaïque thermique (Figure 5).

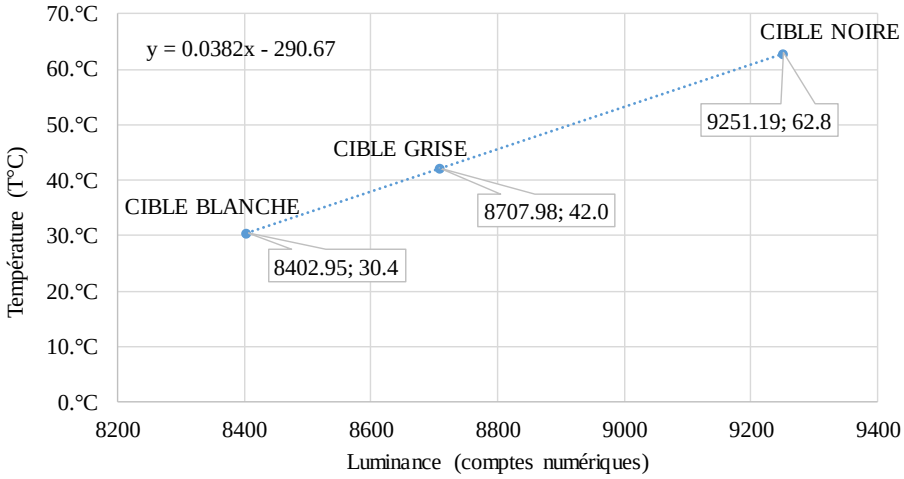

Figure 4. Relation entre comptes numériques (CN) et températures de surface au niveau des trois cibles thermiques (mission drone du 8 juillet 2019, Base Vie Frescaty).

Celle-ci fait clairement ressortir les zones les plus chaudes (pans de toit des hangars orientés à l'ouest et parties d'enrobé plus sombres) qui dégage le plus d'énergie par rayonnement IR et où la température de surface (Ts) excède 60°C. A l'inverse, des zones de fraicheur ressortent nettement : il s'agit des zones ombrées (façades de hangar à l'ombre des arbres, enrobé à l'ombre des hangars) et de la canopée située au sud et à l'ouest de la zone étudiée (Figure 3). La Ts y est inférieure à 30°C voire 20°C pour les endroits les plus frais (au même moment la température sous abri est de 22°C). Les zones au comportement thermique intermédiaire (Ts comprise entre 40°C et 50°C) correspondent principalement aux pans de toit des hangars orientés à l'est et à des parties d'enrobé plus réfléchissantes (Figure 3).

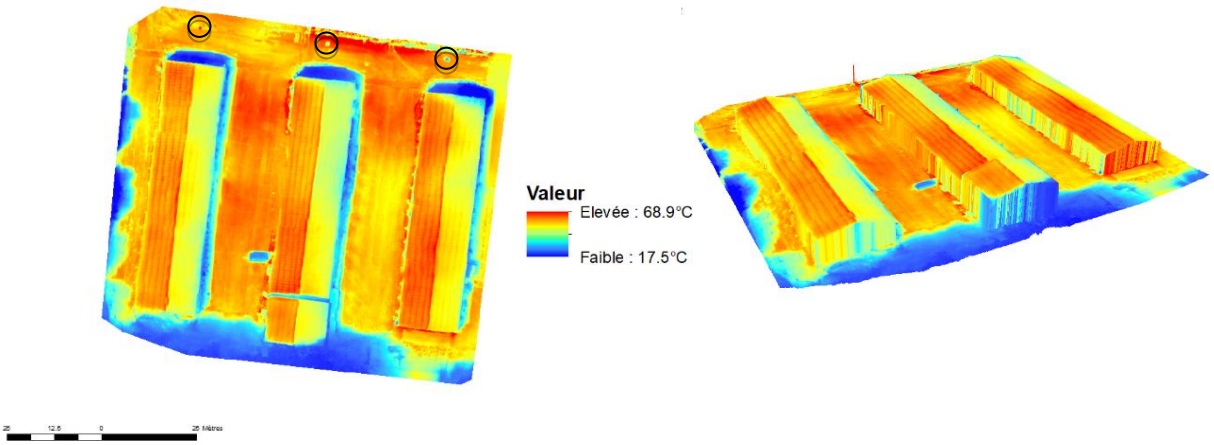

Figure 5. Thermographie d'été du Carré de l'Escadron, sur le Plateau de Frescaty, réalisée à l'aide d'un drone DJI Phantom 4 Pro et d'une caméra FLIR Vue Pro 336 (8 juillet 2019, milieu d'après-midi). A gauche : vue 2D. A droite : vue 3D. Taille de la zone : 80 m x 80 m. Résolution de l'orthomosaïque 2D : 8,48 cm/px. Les ronds noirs indiquent la localisation des cibles thermiques.

Conclusions et Discussion

Nos premiers résultats de thermographie de surface par drone à l'aide d'une caméra thermique non calibrée et non refroidie sont encourageants. La méthode de correction radiométrique semble efficace et restitue des gradients thermiques cohérents sur l'orthomosaïque thermique. Des investigations complémentaires (mesure des Ts par radiomètre au sol par exemple) seraient utiles pour valider les calculs de Ts effectués par étalonnage cible-image et pour vérifier la précision des mesures de Ts effectuées avec les sondes *Tinytag*. Ceci permettrait en outre d'évaluer plus précisément la marge d'erreur de nos estimations. Quoiqu'il en soit, notre étude montre que l'utilisation d'une caméra thermique miniature non calibrée installée sur un drone apporte une information micro-climatique utile en raison : i) de la flexibilité apportée par le drone (plusieurs vols possibles à horaire « libre » au cours de la journée aéronautique) ; ii) de la possibilité de voler à basse altitude (50 m), ce qui garantit une haute résolution spatiale des images (grain centimétrique) ; iii) de la possibilité de survoler des zones peuplées en scénario S3 ; iv) de la bonne restitution, sur les images thermiques, des forts contrastes thermiques qui existent en milieu urbain à une échelle fine. Le traitement des images reste néanmoins une étape chronophage qui requiert une certaine technicité ainsi que des connaissances spécialisées en thermographie infrarouge et dans les logiciels de photogrammétrie. Enfin, le montage d'un kit GPS sur la caméra thermique est indispensable pour simplifier et accélérer le post-traitement des images.

Remerciements

Les auteurs remercient Metz Métropole (en particulier S. Douche et M. Riboulot) pour son soutien logistique et pour l'accès au Plateau de Frescaty, la préfecture de Moselle et la Section Aérienne de Gendarmerie de Metz pour les autorisations de vol, ainsi que Dominique Brion pour la couverture photographique de la mission drone.

Bibliographie

Jolivot A., Gomez-Candon D., Labbé S., Virlet N., & Regnard J.L., 2017. Acquisition d'images thermiques par drone : corrections radiométriques à partir de données terrain. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection (213-214)*, n.spéc. Drones : 117-123.

Kelly, J., Kljun, N., Olsson, P.-O., Mihai, L., Liljeblad, B., Weslien, P., Klemedtsson, L., & Eklundh, L. 2019. Challenges and Best Practices for Deriving Temperature Data from an Uncalibrated UAV Thermal Infrared Camera. *Remote Sensing*, **11**, 567.

Naughton, J.B., McDonald, W.M. 2019. Evaluating the variability of urban land surface temperatures using drone observations. Remote Sensing, 11, 1722.

Paruke L., 2019. La thermographie par drone, un outil d'aide à la réhabilitation urbaine. Mémoire de Master 2 Département de Géographie, Metz, Université de Lorraine, 2019, 58 p.