



HAL
open science

Suivi par drone et caméra IR des effets thermiques d'une opération de désimperméabilisation et de végétalisation d'un parking urbain (Metz, France)

Nassima Hassani, Gilles Drogue, Luc Manceau

► To cite this version:

Nassima Hassani, Gilles Drogue, Luc Manceau. Suivi par drone et caméra IR des effets thermiques d'une opération de désimperméabilisation et de végétalisation d'un parking urbain (Metz, France). 36ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Association Internationale de Climatologie, Jul 2023, BUCAREST, Roumanie. hal-04102840v1

HAL Id: hal-04102840

<https://hal.science/hal-04102840v1>

Submitted on 23 May 2023 (v1), last revised 3 Oct 2023 (v2)

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.

SUIVI PAR DRONE ET CAMERA IR DES EFFETS THERMIQUES D'UNE OPERATION DE DESIMPERMEABILISATION ET DE VEGETALISATION D'UN PARKING URBAIN (METZ, FRANCE)

Hassani N.¹, Drogue G.¹, Manceau L.¹, nassima.hassani@univ-lorraine.fr

Centre de Recherche en Géographie (LOTERR EA 7304), Université de Lorraine.

Résumé : Cette étude porte sur la possibilité de reconstituer les effets thermiques d'une rénovation écologique à l'aide d'une caméra thermique infrarouge non calibrée, non refroidie, embarquée à bord d'un drone. L'analyse porte sur les températures de surface (Ts) estimées à partir de températures de brillance. Ce faisant, nous perfectionnons notre protocole d'acquisition des thermographies en intégrant un dispositif GPS à la caméra IR dans le but de simplifier le processus de photogrammétrie mis en œuvre pour générer des orthomosaïques de haute qualité à partir d'images thermiques à faible contraste. Nos résultats mettent en évidence un changement significatif du signal des Ts du fait de la réduction des surfaces très collectrices de chaleur; de l'implantation d'arbres d'alignement et de pavés poreux et réfléchissants. Toutefois des limites d'ordre métrologique obèrent les chances d'établir un diagnostic quantitatif précis sur les effets thermiques de cette rénovation.

Mots clés : télédétection par drone ; caméra thermique ; mesures avant/après ; parking urbain ; températures de surface.

Abstract: *MONITORING BY DRONE AND IR CAMERA OF THE THERMAL EFFECTS OF AN URBAN CAR PARK DEWATERING AND GREENING OPERATION (METZ, FRANCE)*

This study focuses on the possibility of reconstructing the thermal effects of an ecological renovation using an uncalibrated, uncooled infrared thermal camera on board a drone. The analysis focuses on surface temperatures (Ts) estimated from gloss temperatures. In doing so, we are refining our thermography acquisition protocol by integrating a GPS device with the IR camera in order to simplify the photogrammetry process used to generate high quality orthomosaics from low contrast thermal images. Our results show a significant change in the Ts signal due to the reduction of highly heat collecting surfaces, the implementation of alignment trees and porous and reflective paving stones. However, metrological limitations make it difficult to establish a precise quantitative diagnosis of the thermal effects of this renovation.

Keywords: remote sensing by drone; thermal camera; before/after measurements; urban parking; surface temperatures.

Introduction

La miniaturisation des caméras thermiques ouvre d'intéressantes opportunités en climatologie urbaine grâce à la télédétection par drone. Cette technique permet une acquisition de données plus répétitive dans le temps et plus fine dans l'espace par rapport à l'imagerie spatiale. Néanmoins, l'obtention de données de température de surface (Ts) précises à partir des caméras thermiques embarquées est complexe car elles sont très sensibles aux changements de température interne (risque de dérive), et les modèles à faible coût (2000 à 3000 €) ne sont pas calibrés (Drogue et al., 2020 ; Kelly et al., 2019). De fait, le recours à des capteurs refroidis et calibrés est plus avantageux, mais ils sont souvent onéreux et énergivores (Ribeiro-Gomes et al., 2017). Dans nos précédents travaux, nous avons caractérisé la variabilité des Ts à échelle fine en développant un protocole de correction radiométrique des images prises par une caméra thermique infrarouge « low cost » non calibrée, non refroidie, embarquée à bord d'un drone (Drogue et al., 2020). Notre objectif dans cette étude réalisée en partenariat avec les aménageurs de l'Eurométropole et de la ville de Metz (région Grand Est, France), est d'améliorer ce protocole en vue d'analyser les effets thermiques d'un projet de rénovation « écologique » d'un espace public choisi en concertation avec la gouvernance de la ville (parking rue de Méric/144 route de Thionville quartier Patrotte Nord) (figure 1) à partir d'une cartographie IR prise avant et après travaux. Pour cela, nous analyserons l'impact des bonnes pratiques d'adaptation au changement

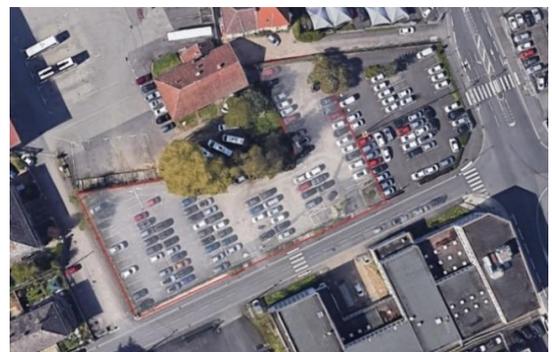


Figure 1 : Vue aérienne du parking urbain délimité par un polygone rouge (vue 2D prise de Google Earth).

climatique et de démarche ZAN¹ (plantation d'arbres, désimperméabilisation massive, pavés infiltrants, etc.) sur l'ambiance micro-climatique de ces espaces en évaluant leur capacité à atténuer les îlots de chaleur.

Matériel et méthodes

Le matériel utilisé se compose d'une caméra thermique infrarouge « *low cost* » non refroidie (caméra *FLIR Vue Pro 336*, 35°FOV, 9 mm, 30Hz) et non radiométrique (au sens où les paramètres d'étalonnage ne sont pas fournis par *FLIR*) embarquée à bord d'un drone de loisir *DJI Phantom 4 Pro* (aéronef quadricoptère généralement utilisé pour des applications en imagerie optique), ainsi que d'une caméra optique (FOV 84°, 8,8 mm / 24 mm).

Pour comparer les mesures avant / après, l'une des difficultés est d'effectuer cette prise d'images dans des conditions météorologiques stables et si possible similaires lors des deux survols. En effet des conditions météorologiques très différentes pourraient limiter l'intercomparaison des Ts des objets ciblés (variations du rayonnement solaire dues aux passages de nuages, rafales de vent, etc.) (Kelly et al., 2019). Pour évaluer les différences météorologiques entre les deux survols, nous avons enregistré les données météorologiques (température, humidité, vitesse et direction du vent et rayonnement) à l'aide d'une station *Vantage Pro Plus* installée sur un trépied de 2,5 m sur le site.

1. Protocole de correction radiométrique à l'aide des données de terrain

Etant donné que la caméra ne fournit pas directement une image radiométrique en température de brillance, un protocole a été mis en place pour la correction radiométrique des images thermiques à partir de données terrain (Drogué et al., 2020). Cela consiste à convertir la signature numérique (exprimée en CN) des images à partir de références terrain (cibles thermiques) dont la température est relevée pendant l'acquisition de l'images IR. Ces références terrain sont composées de trois cibles aux températures contrastées : deux cibles de températures extrêmes, qui représentent la température la plus chaude (cible noire) et la plus froide (cible blanche) de la scène, et une cible de température intermédiaire (cible grise).

Pour la phase *avant* travaux, les cibles sont construites en fixant des plaques de polystyrène sur un cadre en bois large de 1 m² (pour être facilement détectables) et revêtues de feuilles de canson blanches, noires et grises (figure 3a). Deux capteurs thermiques *Tinytag* ont été fixés sous les feuilles de chaque cible à l'aide d'un ruban adhésif afin de n'avoir aucune entrée d'air susceptible de fausser les données. Ces capteurs permettent de surveiller les températures comprises entre -40 et +85 °C et disposent d'une résolution de mesure 0.02°C. Ils ont été configurés pour enregistrer les températures au pas de temps de la minute. Lors du vol *après* travaux, nous avons souhaité renforcer la fiabilité des données de température de contact de nos cibles en éliminant tout risque d'infiltration d'air sous les feuilles. Nous avons alors remplacé les feuilles de canson par des feuilles d'aluminium adhésives revêtues d'une peinture mate (figure 3b).

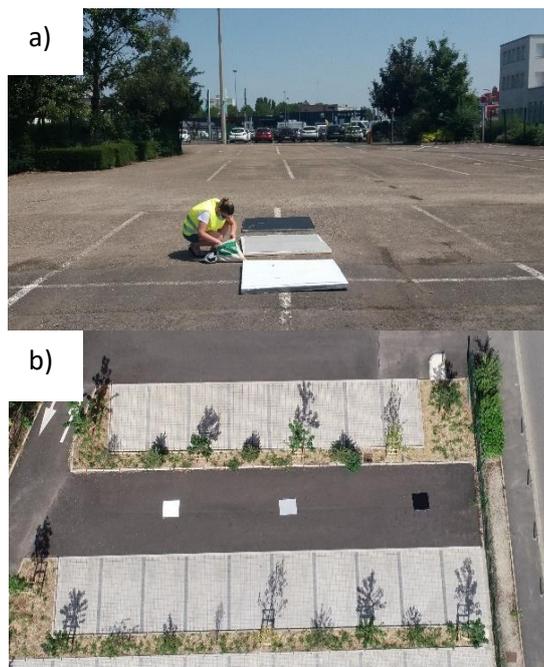


Figure 2 : a) les cibles thermiques revêtues de feuilles de canson blanches, noires et grises (parking avant travaux); b) les cibles thermiques revêtues de feuilles d'aluminium adhésives revêtues d'une peinture mate (parking après travaux).

2. Acquisition des images

Les deux vols ont été réalisés à 50 m d'altitude dans le but d'acquérir des images à très haute résolution, le 21 juillet 2021 à 17h30 et le 17 juin 2022 à 16h30 à la faveur d'une situation anticyclonique (temps chaud et radiatif) pour une durée de vol de 6 min et 4 min respectivement. Les températures de l'air étaient situées entre 28 °C et 29 °C avec des vents faibles (2 m/s à 13 m/s) lors du premier passage en 2021, et entre 29,5 °C et 31 °C avec des vents encore plus faibles (0 m/s à 9 m/s) lors du second passage en 2022.

¹ Zéro Artificialisation Nette.

3. Post-traitement des données

3.1. Mosaïquage des images et correction géométrique

Les images acquises sont d'abord triées et filtrées à l'aide du logiciel *FLIR Tools* pour ne garder que les images nettes. Dans l'étude de Drogue et al. (2020), la caméra thermique n'était pas équipée d'un GPS, ce qui nous imposait de récupérer les métadonnées des images optiques (coordonnées, oméga, phi, kappa, altitude) afin de les prescrire aux images thermiques. Cette étape étant très chronophage, nous avons décidé d'équiper notre caméra thermique d'un kit GPS. Les images sont ensuite mosaïquées 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 3D -par les images thermiques alignées-) ont permis d'obtenir une orthomosaïque en 2D et 3D.

3.2. Etalonnage radiométrique de la caméra

La moyenne des températures de contact des deux *Tinytag* de chaque cible ont été comparées aux valeurs moyennes de CN par cible. Dans la gamme de valeurs observées, les deux équations d'étalonnage présentent une allure linéaire et une certaine affinité (Figure 4). Ceci montre que la calibration est assez peu affectée par le changement de revêtement des cibles. Ces équations sont ensuite utilisées pour calculer la valeur de température de brillance de la scène grâce à l'outil « calculatrice raster » du logiciel *ArcGIS* en convertissant les CN en température absolue.

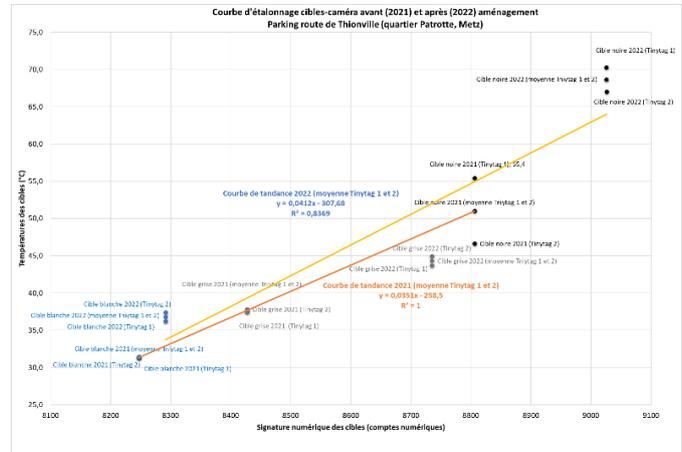


Figure 3 : Relation entre comptes numériques (CN) et Ts au niveau des trois cibles thermiques pour chaque mission.

4. Résultats et discussion

La figure 5 représente les orthomosaïques optiques (figure 5a et 5b) et thermiques (figure 5c et 5d) du parking avant et après réaménagement. L'orthomosaïque thermique c (avant travaux) met en évidence des Ts très élevées sur toute l'étendue du parking, surtout dans les zones asphaltées. Seules les zones arborées et ombragées affichent des Ts modérées (22°C-30°C). En revanche, sur l'orthomosaïque thermique d (après travaux), les Ts apparaissent plus hétérogènes. En particulier, une organisation en « bandes » est mise en évidence en fonction de la couleur et des matériaux constitutifs des surfaces.

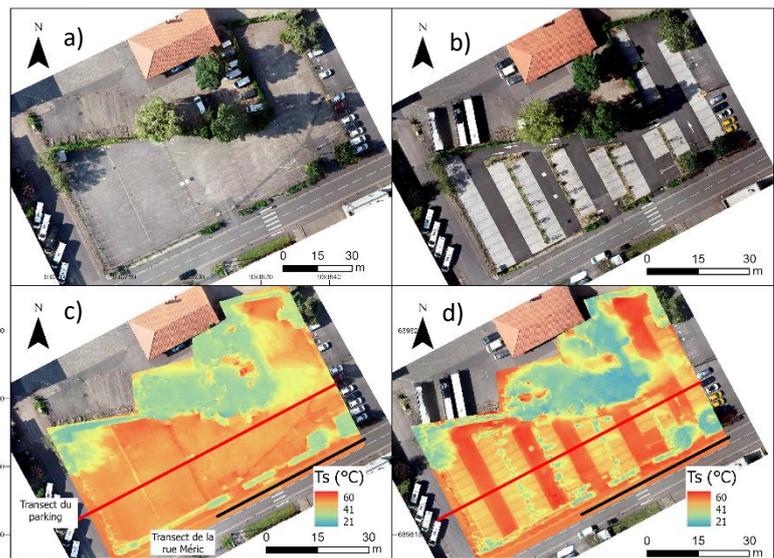


Figure 4 : a) ortho-photo du parking avant travaux (juillet 2021). b) ortho-photo du parking après travaux (juin 2022). c) ortho-mosaïque IR avant travaux (juillet 2021). d) ortho-mosaïque IR après travaux (juin 2022).

Pour limiter l'effet induit par le changement de conditions météorologiques entre les deux survols nous avons calculé les écarts de température entre le parking et la rue de Méric (partie de la scène non modifiée par les travaux et servant de référence commune). Ainsi la figure 6 représente les profils thermiques des transects tracés sur la figure 5. La rue est plus chaude d'environ 1°C le 17 juin 2022 par rapport au 21 juillet 2021 ce qui est cohérent avec les conditions météorologiques même si l'on aurait pu s'attendre à un écart plus important.

Dans le parking, les Ts avant travaux sont relativement stables sur l'ensemble du transect avec un écart de -2°C à -5°C par rapport à la rue de Méric. A l'inverse, après travaux, on constate des fluctuations importantes : les Ts relevées au niveau des surfaces pavées et des alignements d'arbres sont les plus basses (22°C et 38°C

soit un écart de -15°C par rapport à la rue), tandis que les Ts restent très élevées dans les espaces asphaltés, avec parfois des valeurs plus élevées dans la thermographie d'après travaux du fait notamment d'un asphalte neuf plus sombre.

Cette variation des Ts est d'abord liée à la mise en place de surfaces poreuses et claires (figure 5). La diminution des Ts constatée sur la thermographie après travaux est également liée aux alignements d'arbres présents entre les rangées de places de stationnement (effet d'ombrage). Mais il s'agit encore d'individus jeunes, souffrant de stress hydrique au moment de la prise de vue et qui n'ont donc pas atteint leur plein potentiel en termes d'effet « climatisant ».

5. Conclusion

Cette étude présente le suivi par caméra IR *low cost* embarquée sur un drone d'un parking urbain ayant subi une rénovation écologique. Elle met en évidence un bénéfice thermique notable de cet aménagement puisque, grâce aux nouveaux aménagements, les Ts sont a priori beaucoup plus hétérogènes et baissent, par endroit, de 10 degrés par rapport à celles observées dans la thermographie décrivant l'état initial. Outre les changements d'état de surface, les écarts observés entre les deux dates sont à mettre en relation avec les différences d'énergie radiative incidente et de température de l'air. Ces observations sont cohérentes avec celles de Naughton et McDonald (2019) par exemple. Notre chaîne d'acquisition des Ts comportent néanmoins plusieurs faiblesses qui en limitent la portée opérationnelle et incitent à la prudence quant à la précision de nos résultats : des tests d'intercomparaison avec une caméra radiométrique *Flir A655sc* ont montré par exemple qu'il y avait un auto-échauffement des sondes *Tinytag* et que la méthode de calibration linéaire adoptée dans notre protocole était susceptible d'entraîner des valeurs de Ts systématiquement supérieures de plusieurs degrés à celles que l'on aurait obtenu avec une caméra radiométrique. Pour ce qui est de la caméra utilisée, le fabricant estime sa sensibilité thermique à $\pm 5^{\circ}\text{C}$, car les microbolomètres la composant ne sont pas refroidis (Kelly et al., 2019). Malgré le respect de bonnes pratiques cette incertitude est irréductible. La non prise en compte de l'émissivité des matériaux présents dans la scène ajoute aussi de l'incertitude dans l'estimation des Ts. Le changement de conditions météorologiques et de date de vol compliquent également l'interprétation des mesures avant/après. Au total, notre expérimentation suggère que l'estimation précise de ce paramètre à l'aide d'un drone supposerait de disposer d'une caméra radiométrique embarquée plus performante et donc plus coûteuse.

Remerciements

A Monsieur le Maire de Metz et aux usagers du parking route de Thionville, à Franck Rogovitz et Samia Smaallah de la Mission Transition Ecologique Solidaire de la Ville de Metz, Sébastien Douche de l'Eurométropole de Metz, l'ADEME Grand Est et le CPER ARIANE pour l'achat du drone et de la caméra IR.

Bibliographie

- Droge, G., N. Hassani, L. Manceau, and L. Paruke, 2020: *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, Rennes, France.
- Kelly, J., N. Kljun, P.-O. Olsson, L. Mihai, B. Liljeblad, P. Weslien, L. Klemedtsson, and L. Eklundh, 2019: *Challenges and Best Practices for Deriving Temperature Data from an Uncalibrated UAV Thermal Infrared Camera*. Remote Sensing, 11, 567, <https://doi.org/10.3390/rs11050567>.
- Naughton, J.; McDonald, W. Evaluating the Variability of Urban Land Surface Temperatures Using Drone Observations. Remote Sensing 2019, 11, 1722. <https://doi.org/10.3390/rs11141722>
- Ribeiro-Gomes, K., D. Hernández-López, J. F. Ortega, R. Ballesteros, T. Poblete, and M. A. Moreno, 2017: *Uncooled Thermal Camera Calibration and Optimization of the Photogrammetry Process for UAV Applications in Agriculture*. Sensors, 17, 2173, <https://doi.org/10.3390/s17102173>.

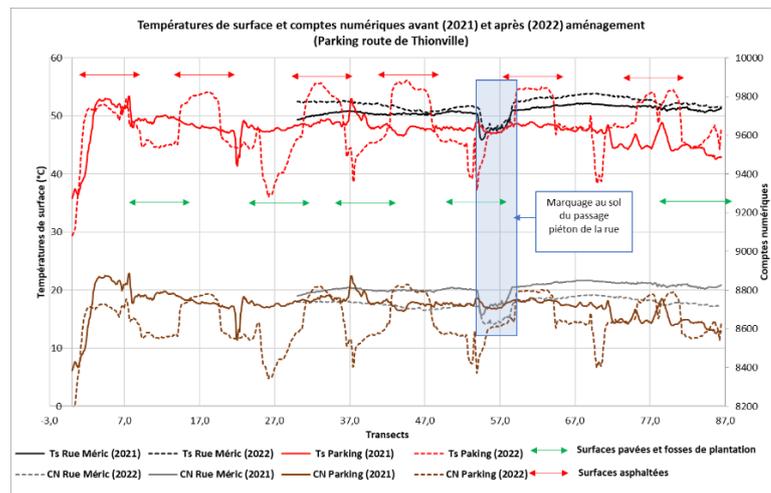


Figure 5 : Profils de TS et de CN avant et après réaménagement des transects au niveau du parking et de la rue adjacente (rue de Méric).