

# SUMMIT - Surchauffe Urbaine : approche Multi-échelle par Mesures Infrarouge Thermique

La surchauffe urbaine représente un défi majeur pour les politiques d'adaptation au changement climatique, compte tenu de la fréquence et de l'intensité croissantes des vagues de chaleur, et sa caractérisation repose sur de nombreuses études basées sur des mesures de la température de l'air et des surfaces à différentes échelles (satellitaire, aéroportés, mesures in situ fixes ou mobiles). Cependant, il existe très peu d'études où des données de thermographie infrarouge sont acquises à plusieurs échelles et analysées simultanément.

Renaud Nédélec<sup>1,5</sup>, Teodolina Lopez<sup>1,3</sup>, Nathan Salbégou<sup>1</sup>, Nicolas Oliveira Santos<sup>1</sup>, Julien Bouyer<sup>2</sup>, Remy Claverie<sup>2</sup>, Pierre Charbonnier, Philippe Foucher, Mathieu Mouton, Steve Antoine.

Dans ce cadre et pour permettre de mieux comprendre l'imbrication spatiale des causes de la surchauffe urbaine et de leur dynamique au cours du temps le projet SUMMIT compare des mesures de températures de surface à partir :


- d'un véhicule instrumenté, au plus près du piéton et dans différentes typologies urbaines,
- de satellites, avec de l'imagerie en vue de dessus, plus homogène, acquise de manière synchrone avec les parcours du véhicule.

(1) Cerema, Direction Occitanie, Satellite Team, Toulouse, France. (2) Cerema, Research team TEAM, Nancy, France. (3) Research team ENDSUM, Le Grand Quevilly, France. (4) Research team ENDSUM, Strasbourg, France. (5) Univ Toulouse, CNES, CNRS, INRAE, IRD, CESBIO, Toulouse, France.

teodolina.lopez@cerema.fr ; nicolas.oliveira-santos@cerema.fr

## 1. PROTOCOLE D'ACQUISITION

**Véhicule**




Caméra FLIR :  
- 640 x 480 pixels  
- 7,5 – 14,0 μm

Radiomètre ou « thermoroute »

La synchronisation des acquisitions des différents sous-systèmes est assurée par un odomètre de haute précision monté sur une roue, qui déclenche les acquisitions en fonction de la distance.

**Parcours**

Site d'étude : Nancy (ville)  
Longueur ~ 12 km



6 classes LCZ traversées


**Satellite**

- 5 acquisitions synchrones = 2 jours + 2 nuit.
- 3 capteurs différents

| Date       | Time  | Mobile measurements time | Satellite acquisition local time | Sat. / Sensor | Native resolution |
|------------|-------|--------------------------|----------------------------------|---------------|-------------------|
| 2025-07-02 | Day   | 11:13 → 11:56            | 11:14                            | SDGSAT - 1    | 30 m              |
| 2025-08-08 | Day   | 12:08 → 12:49            | 12:22                            | Landsat 9     | 100 m             |
|            | Night | 21:55 → 22:30            | 22:12                            | SDGSAT - 1    | 30 m              |
| 2025-09-05 | Night | 22:47 → 23:25            | 23:07                            | Landsat 8     | 100 m             |

## 2. IMAGES IRT VÉHICULE

Image source (48.69°N, 6.22°E)  
Date : 30/04/2025 15h15



Pour l'étude des thermographies mobiles, un protocole d'acquisition répliquable et une chaîne de traitement à base d'IA ont été construits.

1. Modèle FTNET pré-entraîné sur la base d'images IRT de la base de données SODA (Li et al. 2019).

2. Fine-tuning sur des images annotées (problèmes de contraste et angles de vue différents).

3. Correction avec « Segment Anything Model » (SAM) pour améliorer les contours des classes sémantiques.

Image classifiée

ARRIÈRE PLAN  
 BATIMENT (IOU : 0,36→0,51)  
 ARBRE (IOU : 0,40→0,42)  
 HERBE (IOU : 0,88→0,96)  
 ROUTE  
 CIEL  
 VOITURE  
 POTEAU  
 BARRIÈRE  
 FENÊTRE  
 MARQUAGE

Image de température de surface

Image de température de surface

$f_i = \text{proportion de } i \text{ dans le pixel satellitaire}$

$T_{\text{Ground}} = \left( \frac{\sum f_i \cdot \varepsilon_i \cdot T_i^4}{\sum f_i \cdot \varepsilon_i} \right)^{\frac{1}{4}}$

## 4. CROISEMENT SATELLITAIRE & VÉHICULE

Ground surf. T° deviation / day

LST deviation / day

2025-07-02 11:14 / SDGSAT  
 2025-08-08 12:22 / Landsat 9  
 2025-08-08 12:15 / ECOSTRESS

2025-07-02 11:14 / SDGSAT  
 2025-08-08 12:22 / Landsat 9  
 2025-08-08 12:15 / ECOSTRESS

2025-08-08 22:12 / SDGSAT  
 2025-09-05 23:07 / Landsat 8

2025-08-08 22:12 / SDGSAT  
 2025-09-05 23:07 / Landsat 8

LCZ

2  
 2/3/5  
 6/9  
 8  
 A  
 D

Departure from mean [K]

Jour : le contraste thermique de  $T_{\text{Ground}}$  est inversé par rapport à la température de surface (LST) pour la zone LCZ 2. La zone LCZ 2 est une île de fraîcheur en termes de température au sol.

Nuit : le contraste thermique  $T_{\text{Ground}} \sim 3,6 \text{ K}$  >  $\sim 1,9 \text{ K}$  de contraste thermique de la température de surface (LST).

Modélisation mathématique

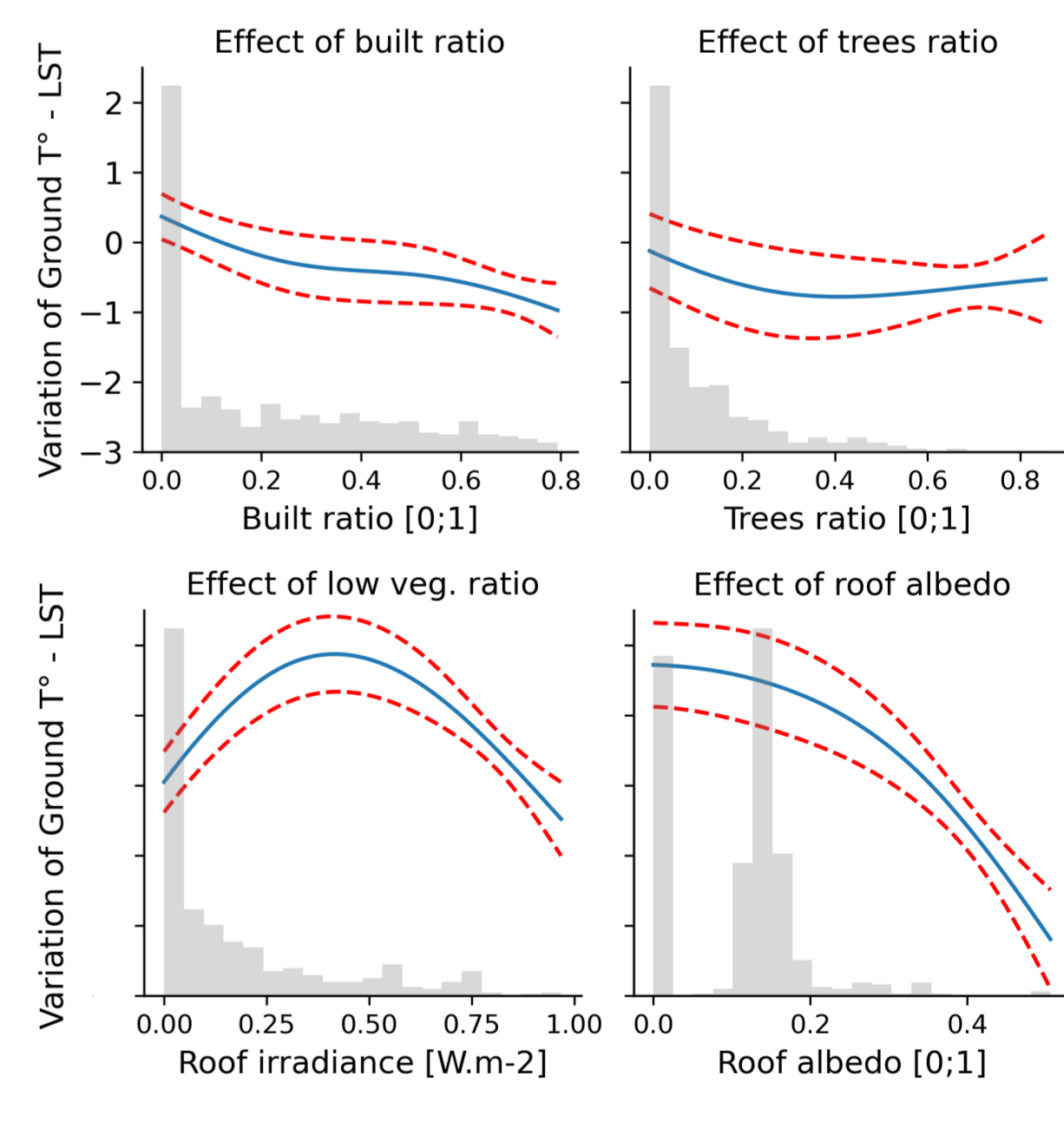
→ acquisition nocturne (08/08/2025, ~1 h après le coucher du soleil, SDGSAT 22:12).  
 → modélisation de l'écart centré entre LST satellite et  $T_{\text{Ground}}$ .

Modèle : Generalized Additive Model (GAM)  
 Formule :  $\Delta T_{\text{Ground}} - T_{\text{LST}} = s(\text{built\_ratio}) + s(\text{trees\_ratio}) + s(\text{low\_veg\_ratio}) + s(\text{roof\_albedo})$   
 où  $s()$  = fonctions lissées non linéaires

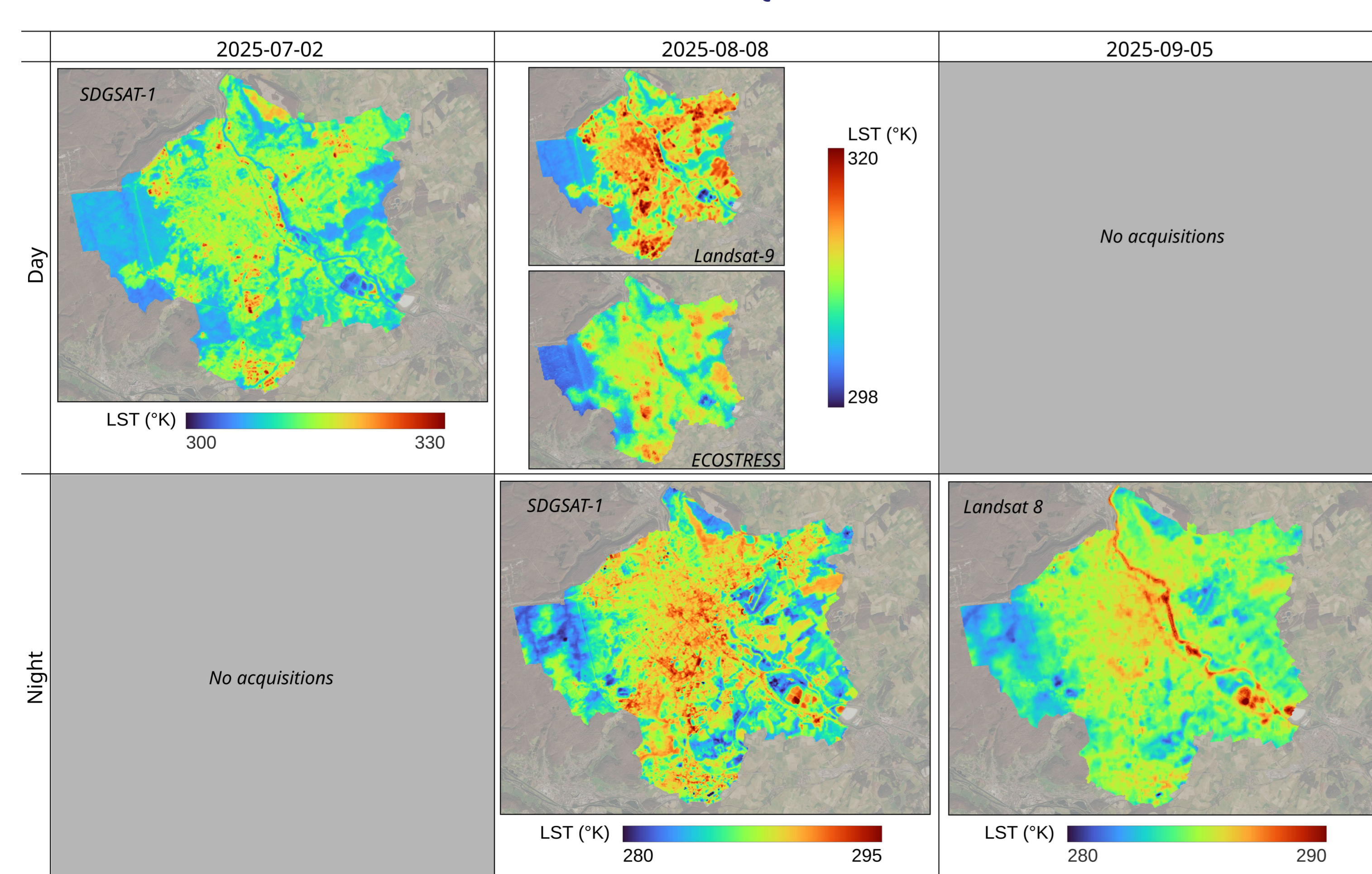
Performance : Pseudo  $R^2 \approx 0,33$ , indiquant une explication partielle mais significative des variations.

Observations générales :

- les types de surface urbaine (densité du bâti, végétation) expliquent une part notable des écarts entre LST satellite et températures au sol la nuit.
- L'albédo des toits et la présence d'arbres apparaissent comme des facteurs influents, suggérant des mécanismes radiatifs et d'inertie thermique à l'échelle locale.



## 3. IMAGES IRT SATELLITAIRE SYNCHRONES ACQUISES DURANT SUMMIT



## CONCLUSION

- Première estimation, à l'échelle du quartier, des différences d'amplitude thermique selon que l'on tient compte ou non des toitures, et de la canopée des arbres.
- Étude des principaux facteurs déterminants de la différence entre la température de surface (LST) satellitaire et la température au sol  $T_{\text{Ground}}$ .

Difficulté pour mettre en évidence des relations statistiques suffisamment solides entre la LST satellitaire et  $T_{\text{Ground}}$  pour expliquer les variations à petite échelle :

- Forte variabilité locale des températures de surface (en particulier pendant la journée) ;
- Forte incertitude globale liée aux différentes sources de mesure.

## PERSPECTIVES

- Pousser l'analyse des données en travaillant sur la réduction des incertitudes.
- Mobiliser un drone IRT pour une étude à plus fine échelle de l'influence des toitures.
- Passage de la LST 2D à la LST 3D = projet CNES MISTIC (ONERA/Cerema/LETG).