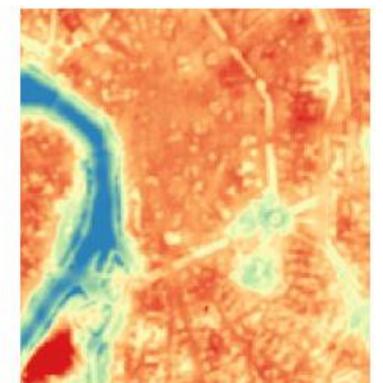
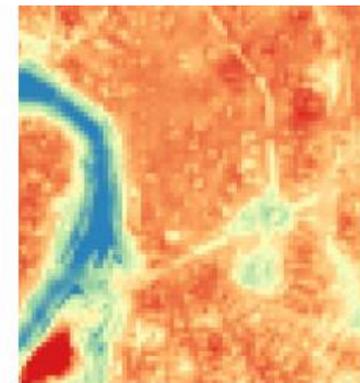
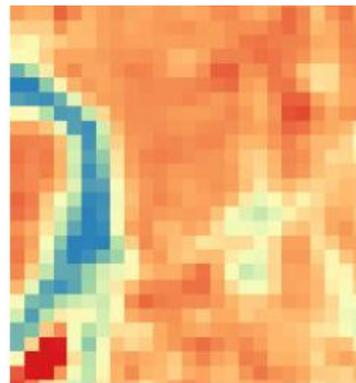


Missions spatiales et traitement de la donnée thermique



Aurélie Michel, Laure Roupioz, Xavier Briottet,
ONERA-DOTA, Toulouse
THEIA ART Occitanie, Séminaire OpenIG
13/06/2023



La télédétection en infrarouge thermique : principes

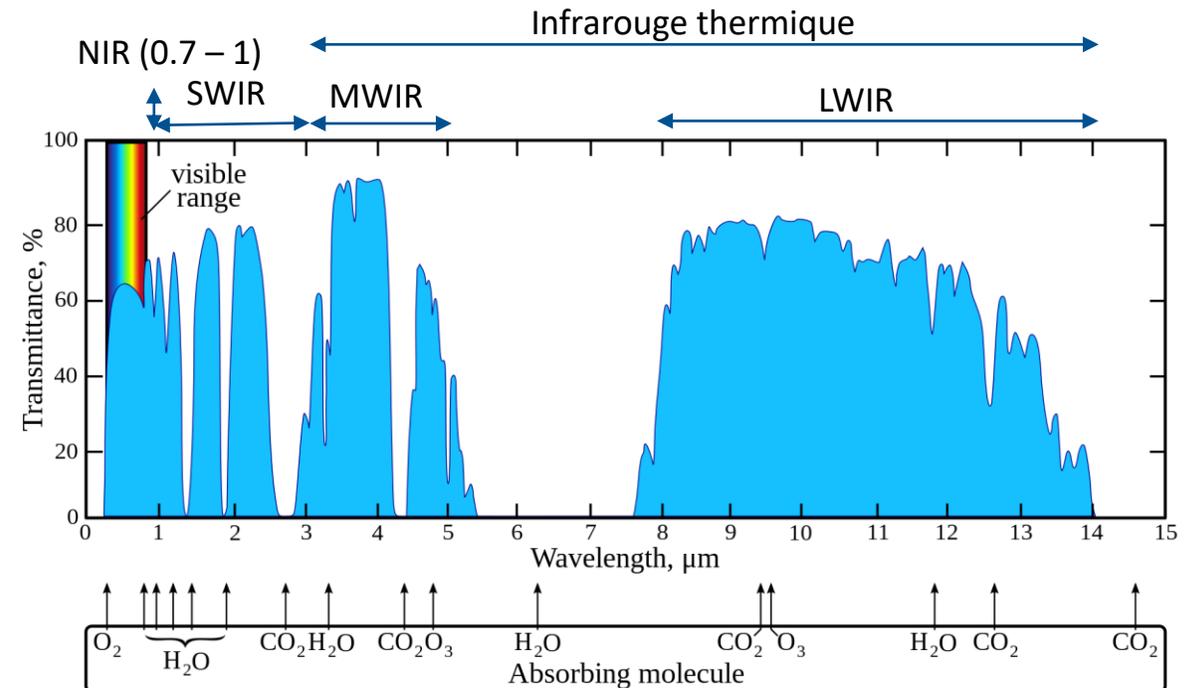
Mesure du rayonnement thermique émis par un corps. Ce rayonnement électromagnétique peut être modélisé par la loi de Planck dite loi du corps noir qui décrit son intensité en fonction de la longueur d'onde et de la température. Corps noir = corps idéal qui absorbe toute l'énergie reçue. La loi de Wien permet de déterminer la longueur d'onde à laquelle ce rayonnement est maximal.

Exemples :

- Soleil ≈ 5800 K : rayonnement maximal à $0.5 \mu\text{m}$
- Terre ≈ 300 K (27°C) : rayonnement maximal à $10 \mu\text{m}$
- Feux de forêt ≈ 800 K : rayonnement maximal à $3.6 \mu\text{m}$

Un capteur satellitaire mesure le rayonnement au dessus de l'atmosphère terrestre appelé luminance TOA (Top of Atmosphere) : il faut donc corriger des effets de l'atmosphère pour retrouver le rayonnement émis par la surface.

En réalité, aucun corps n'est un corps noir : l'émissivité permet de relier la température de surface (LST = Land Surface Temperature) au rayonnement émis par la surface.



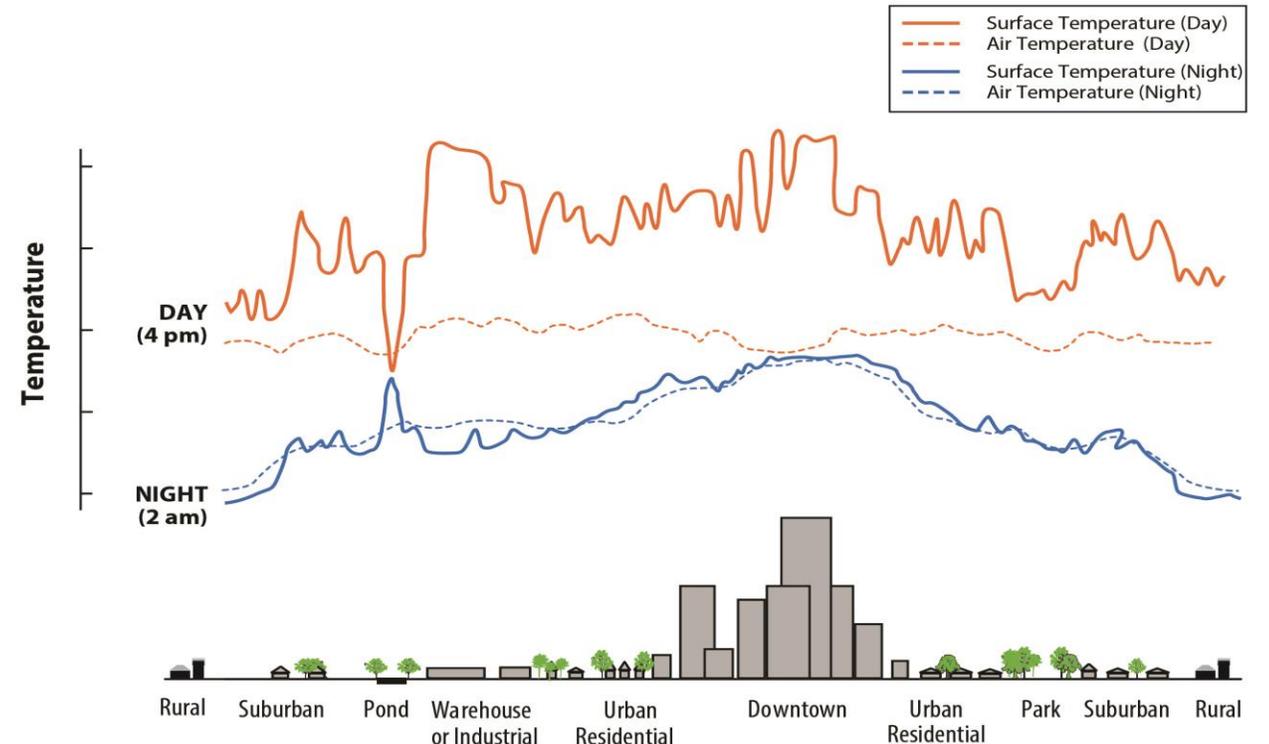
La télédétection en infrarouge thermique pour les villes

La LST intervient dans les interactions surface-atmosphère. Elle permet notamment de calculer l'îlot de Chaleur Urbain de Surface (ICUS) et de caractériser l'environnement intra-urbain. La télédétection offre un suivi temporel et une couverture quasi globale pour l'étude des milieux urbanisés.

Les missions spatiales fournissent des produits de LST de manière opérationnelle. Néanmoins, les particularités des milieux urbanisés ne sont pas forcément prises en compte dans les chaînes de traitement.

Les objets urbains ont une largeur moyenne d'environ 10 m: importance de fournir une donnée de LST à haute résolution spatiale.

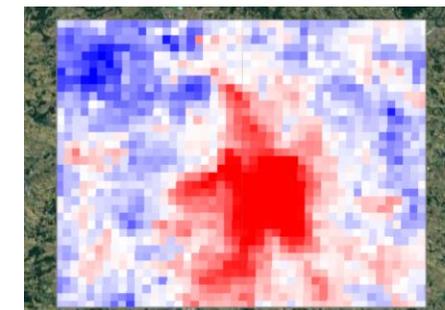
➔ Fournir des produits (cartes) de LST à qualité améliorée en milieux urbanisés et à haute résolution spatiale en se basant sur des méthodes de l'état de l'art



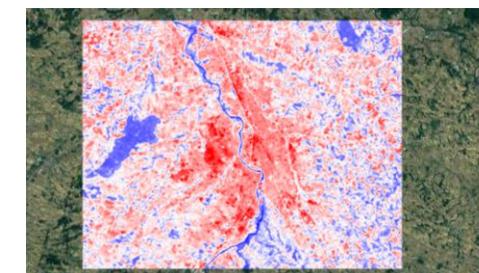
Crédits: <https://www.epa.gov/heatislands/learn-about-heat-islands>

Missions spatiales thermiques

Satellite / Instrument	Date de lancement	Résolution spatiale au nadir	Résolution temporelle	Heure de passage locale (UTC)	Nombre de bandes spectrales entre 8 et 14 μm
Terra / MODIS	1999	1 km	12 heures	10h30 (am/pm)	2
Aqua / MODIS	2002	1 km	12 heures	1h30 (am/pm)	2
Sentinel-3 / SLTSS	2016 (3A) 2018 (3B)	1 km	12 heures	10h (am/pm)	2
NASA NOAA Suomi / VIIRS	2011	750 m	12 heures	1h30 (am/pm)	3
LANDSAT 8 / TIRS	2013	100 m (30 m après rééchantillonnage)	16 jours	10h (am/pm)	2
LANDSAT 9 / TIRS-2	2022	100 (30 m après rééchantillonnage)	16 jours	10h (am/pm)	2
Terra / ASTER	1999	90 m	16 jours	10h30 (am/pm)	5
ECOSTRESS / PhytIR	2018	70 m	Orbite dérivante (Station Spatiale Internationale ISS)	Variable	5 (3 depuis 2018)
TRISHNA	2025	57 m	3 fois sur 8 jours	1h (am/pm)	4



LST moyenne de nuit sur Toulouse issue de MODIS été 2018 [25 – 50°C]



LST moyenne de jour sur Toulouse issue de LANDSAT 8, été 2018 [25 – 50°C]

- Compromis résolution spatiale / résolution temporelle
- La couverture nuageuse va réduire le nombre d'images disponibles
- Missions retenues pour THERMOCITY : ASTER et ECOSTRESS

Le traitement de la donnée thermique dans THERMOCITY : prétraitements

Choix d'ASTER et ECOSTRESS : résolution spatiale plus fine pour l'étude des milieux urbanisés, longue période de disponibilité des données (ASTER), nombre de bandes spectrales permettant l'estimation conjointe de la LST et de l'émissivité, caractéristiques proches de la future mission TRISHNA.

- Critères de sélection : jour, nuit, été, hiver, faible couverture nuageuse, dates d'acquisition proche entre chaque métropole
 - Environ 50 images, période 2003-2020 pour ASTER, 2018-2020 pour ECOSTRESS
- Découpage des images des produits sur des régions d'intérêt de 100 km par 100 km autour des métropoles considérées (CNES)



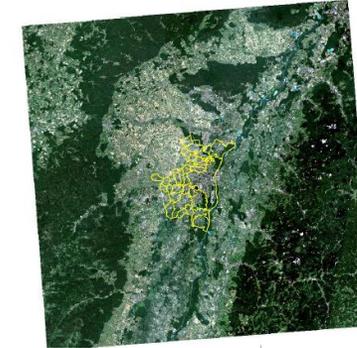
Aix-Marseille



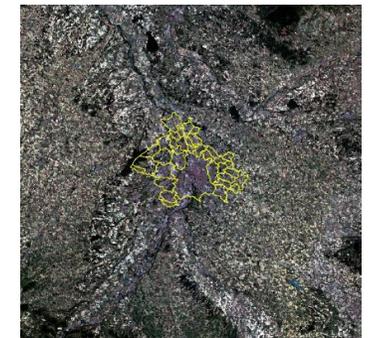
Montpellier



Paris



Strasbourg



Toulouse

- Conversion des formats des images en geotiff monobande (CNES)
- Recalage géométrique sur Sentinel-2 (CNES)
 - Indispensable pour croiser avec d'autres données géoréférencées et générer des séries temporelles

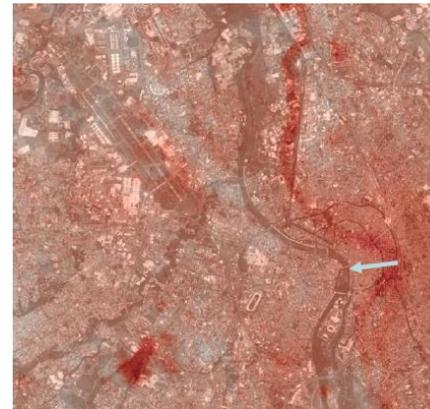
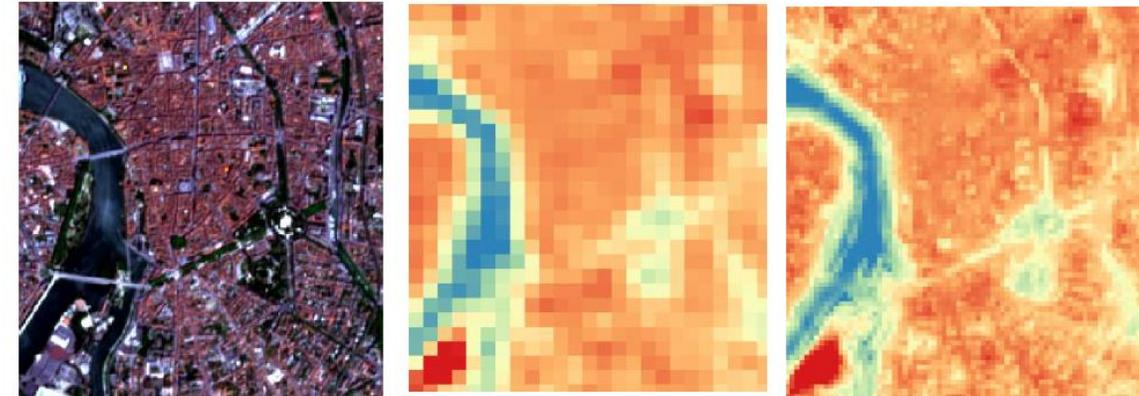


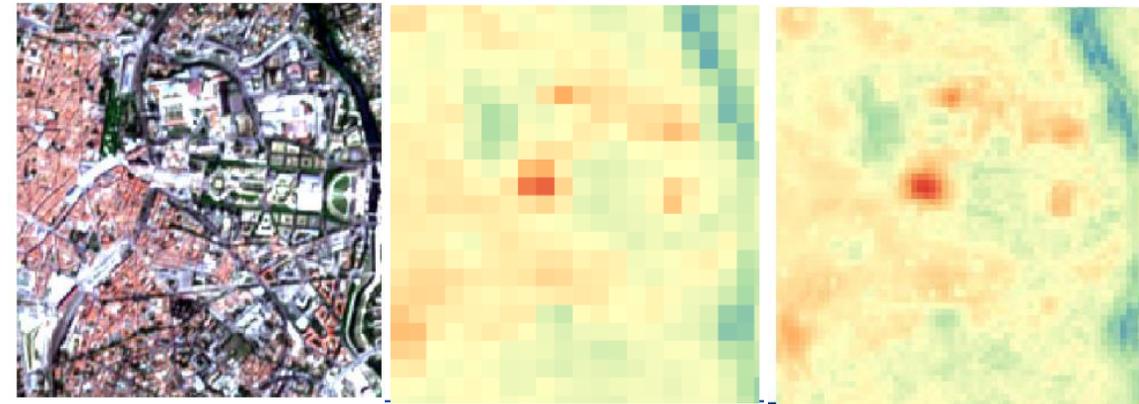
Illustration de la correction géométrique sur une image ECOSTRESS, Toulouse. Crédits: Leturgie et al., note technique.

Le traitement de la donnée thermique dans THERMOCITY : obtention de la LST

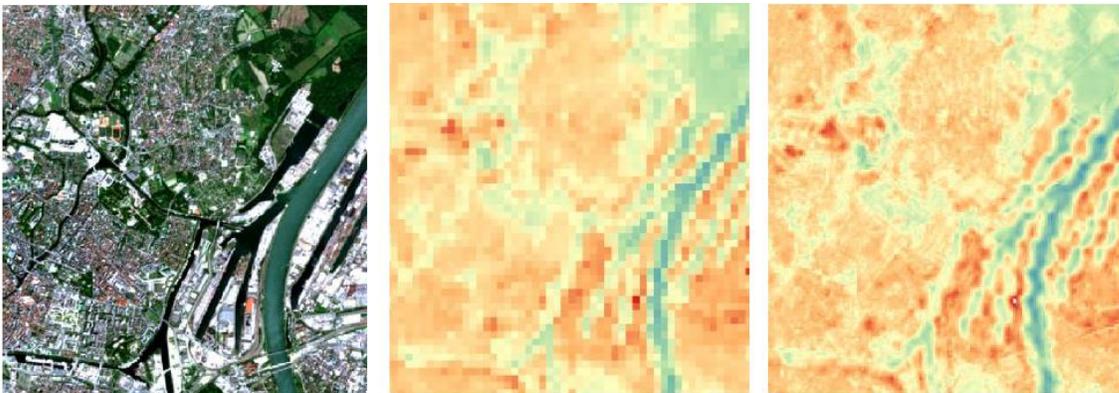
- Correction atmosphérique (seulement ECOSTRESS) à partir de profils atmosphériques fournis par Météo France.
- Séparation température – émissivité : basée sur l'algorithme TES (Temperature and Emissivity Separation) développé pour ASTER, modifié par l'ONERA pour l'orienter matériaux urbains avec l'utilisation du produit Copernicus Imperviousness Density (rééchantillonné de 10 m à 70 m et 90 m par le CNES).
- Désagrégation (seulement ASTER) : amélioration de la résolution spatiale de la LST obtenue de 90 mètres à 30 mètres en se basant sur une relation empirique linéaire entre la LST et le NDVI (Normalized Differential Vegetation index) d'ASTER.
- Couche qualité basée sur les 5 indicateurs suivants : qualité de l'algorithme TES, valeurs physiques de la LST, valeurs physiques de l'émissivité, qualité de la luminance en entrée du TES, impact de la structure 3D à travers le Sky View Factor (calculé grâce à la BD Topo de l'IGN).



Toulouse, 23/06/2018, ≈ 13h [20-45 °C]

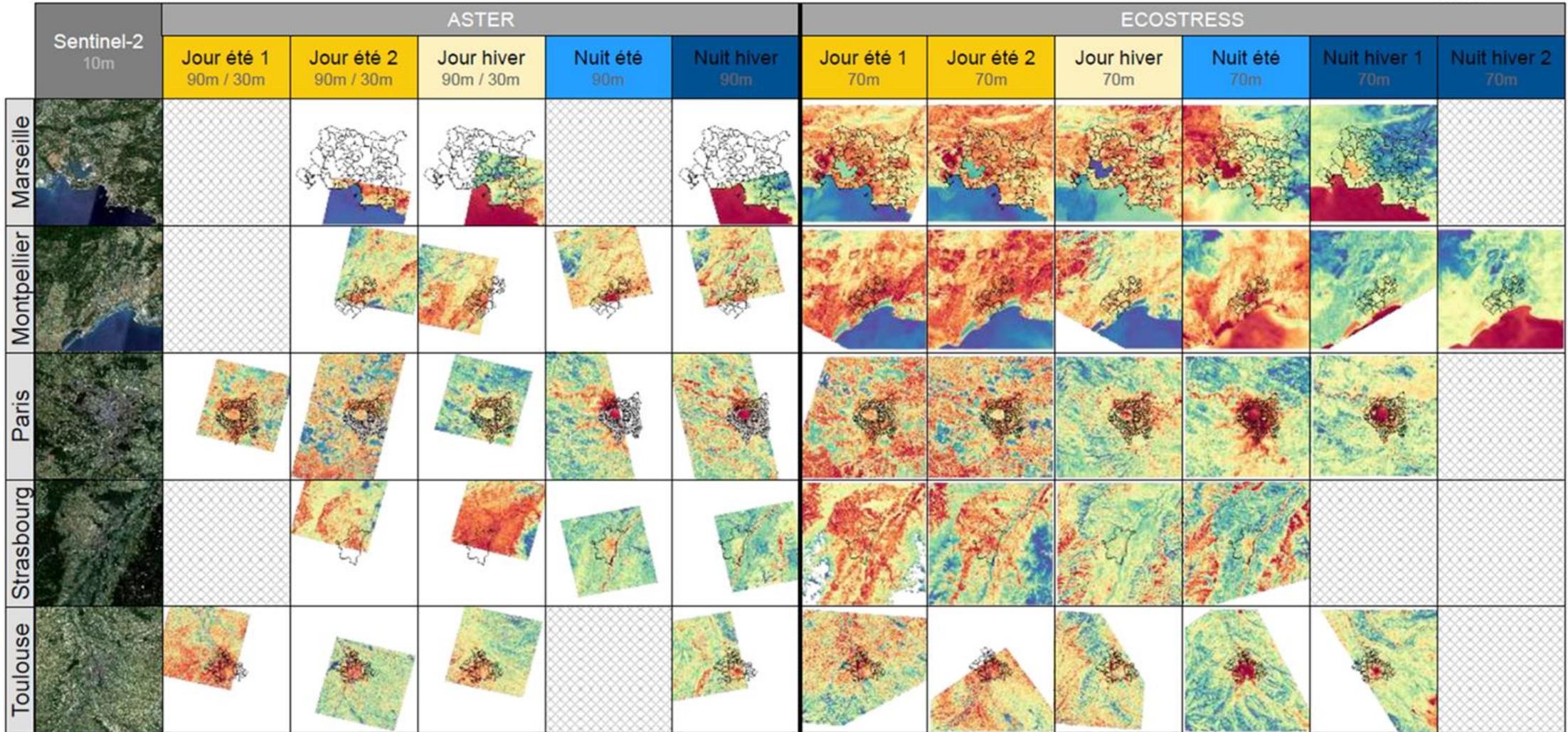


Montpellier, 29/08/2015, ≈13h [20-45 °C]



Strasbourg, 12/08/2003, ≈13h [25-50 °C]

Jeu de données THERMOCITY d'images thermiques



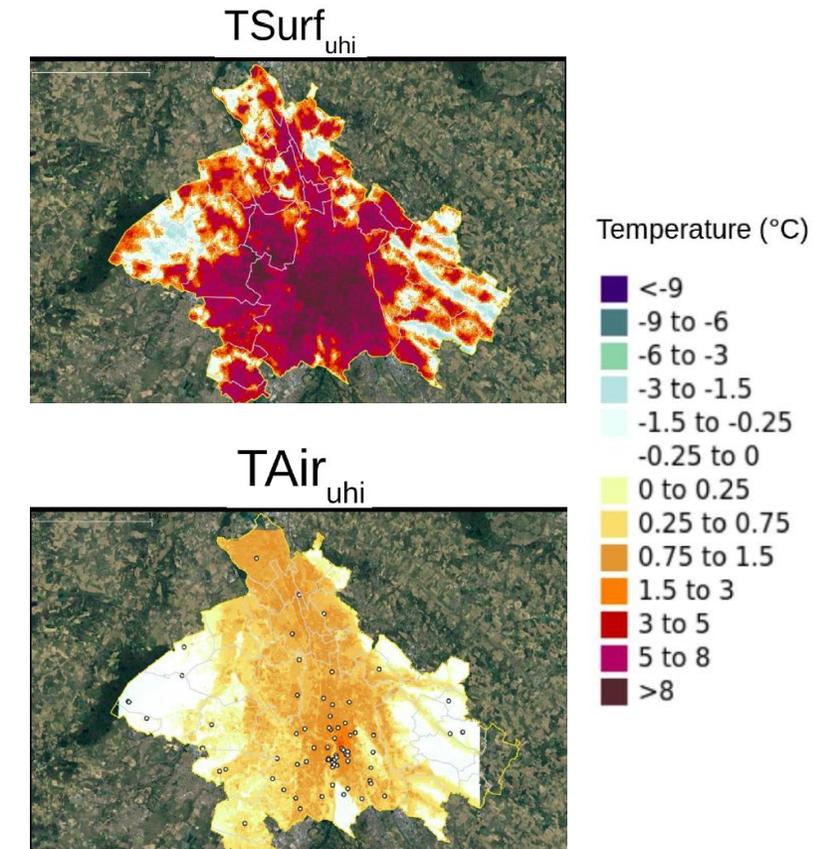
Conclusions

Mise à disposition d'un Analysis-Ready-Dataset issu de prétraitements et traitements adaptés aux milieux urbanisés, utilisation d'un large panel de données.

Les comparaisons avec les produits LST ASTER et ECOSTRESS de la NASA montrent une bonne cohérence et une LST plus élevée sur les sols nus et surfaces de bâtis. Des problèmes radiométriques ont été relevés sur les données ECOSTRESS.

Travaux pour améliorer la cartographie de la LST : impact de la structure 3D, prise en compte des effets directionnels liés à l'angle de vue, passage température de surface – température de l'air – confort thermique, prise en compte d'autres indicateurs dans le processus de désagrégation ...

Pour aider aux enjeux liés à la chaleur, il est important d'utiliser la LST avec d'autres données → suite présentation par Vincent !



ICUS / ICU 15/07/2019, 21h55 UTC, Toulouse.
Crédits: Dumas et Michel