

THERMOCITY : exploitation des données thermiques en ville

Nom et Sigle

Date et Signature

Préparé par	<p>Quentin Léturgie Damien Migel</p> <p>Thales Services Numériques pour DTN/CD/LOT</p>	<p>15/11/2022</p> 
Accepté par	<p>Vincent Lonjou</p> <p>DTN/CD/LOT</p>	<p>15/11/2022</p> 

DIFFUSION INTERNE		
Sigles	Noms	

DIFFUSION EXTERNE		
Sociétés	Noms	

Table des matières

1	<u>INTRODUCTION</u>	4
2	<u>ANOMALIES THERMIQUES</u>	5
3	<u>ANALYSE MULTI-ECHELLE DES LST</u>	8
3.1	LST PAR COMMUNES	8
3.2	LST À L'ECHELLE IRIS	9
3.3	LST PAR QUARTER	10
3.4	LST ET VEGETATION	11
3.5	LST ET PARC	13
3.6	LST ET RIVIERE	15
3.7	INDICATEUR DE VULNERABILITE A LA CHALEUR	17
3.7.1	ANALYSE DES HVI SUR TOULOUSE	19
4	<u>CONCLUSION</u>	24

1 INTRODUCTION

THERMOCITY est un projet du *Space Climate Observatory* qui consiste à étudier les ilots de chaleurs urbains et les déperditions thermiques à partir du développement d'outils d'analyses de la thermographie urbaine basé sur de l'image satellite. Ce projet se focalise sur 5 métropoles française : Toulouse, Paris, Marseille, Montpellier et Strasbourg. Plus d'informations sur le projet sont disponibles sur la page SCO du projet : <https://www.spaceclimateobservatory.org/fr/thermocity-toulouse>.

Avant de pouvoir exploiter les données thermiques, une première phase du projet a permis de recalibrer géométriquement les données satellites et de produire les cartes de température de surface. Ces prétraitements sont décrits dans les rapports sur la page du Centre d'Expertise Scientifique Température de surface et émissivité:

<https://www.theia-land.fr/ceslist/ces-temperature-de-surface-et-emissivite/>.

Les données ainsi produites sont librement disponibles dans le catalogue theia :

<https://thisme.cines.teledetection.fr/home>.

Les axes de travail à partir des LST et définis lors des ateliers utilisateurs sont les suivants :

- Anomalies thermiques
- Ilots de chaleur urbain, ICU, ICU-S, lien avec l'aménagement urbain en particulier la végétation, les rivières, la structure 3D.
- Evolution imperméabilité / artificialisation, ce dernier point n'est pas traité ici et fera l'objet d'un rapport séparé

2 ANOMALIES THERMIQUES

Ressources :

- *Code : [BlindAnomalyDetector/main.py](#)*

La motivation initiale de ce travail était de détecter les anomalies thermiques en hiver de manière automatique. Cependant, l'outil développé étant générique, il a été appliqué à toutes les images disponibles : en été, en hiver, de jour et de nuit. Les anomalies recherchées sont des zones où la LST est significativement supérieure ou inférieure à la LST environnantes. La valeur de cet écart est paramétrable et pour les illustration ci-dessous la valeur de 1°K a été retenue. On a donc développé un outil pour détecter les zones correspondant à une anomalie thermique en caractérisant la zone (les pixels) concernée, la température de surface moyenne et son écart-type ainsi que l'écart de température de surface par rapport à l'environnement proche. L'illustration ci-dessous montre la zone d'une anomalie détectée (à droite) à partir de la données thermiques LST (au milieu) correspondant à un centre commercial à Montpellier (OSM à gauche).

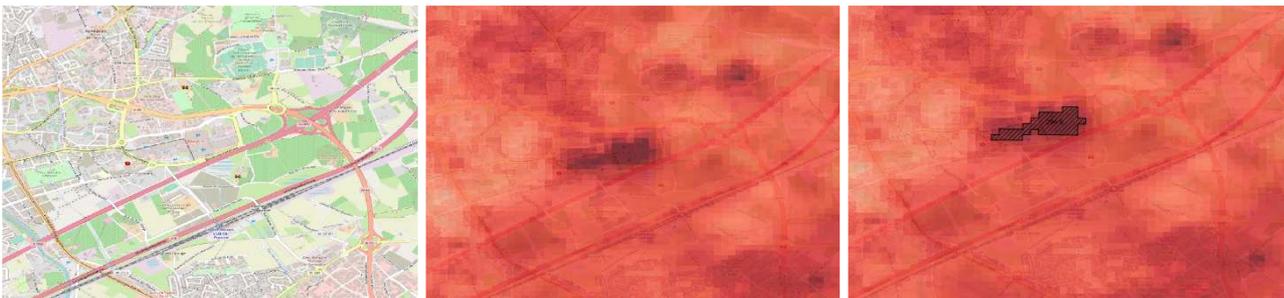


Figure 1 : Anomalie détectée (à droite) à partir de la LST (au milieu). OSM (à gauche)

Une fois les anomalies détectées, un croisement avec les données OpenStreetMap (OSM) est effectué afin d'identifier automatiquement le ou les bâtiment(s) à l'origine de cette anomalie thermique. Ainsi on détermine le nombre, la surface et le nom (si disponible) des bâtiments situés à l'endroit de l'anomalie. (Les données OSM ne couvrent pas forcément toute l'image LST mais couvrent au minimum de toute la métropole concernée)



Figure 2 : Anomalie positive en hiver de jour sur une zone d'activité commerciale

Les résultats montrent que en hiver, ce sont généralement les centres commerciaux et les zones d'activités qui sont les anomalies thermiques les plus récurrentes comme l'illustre la figure ci-dessous.

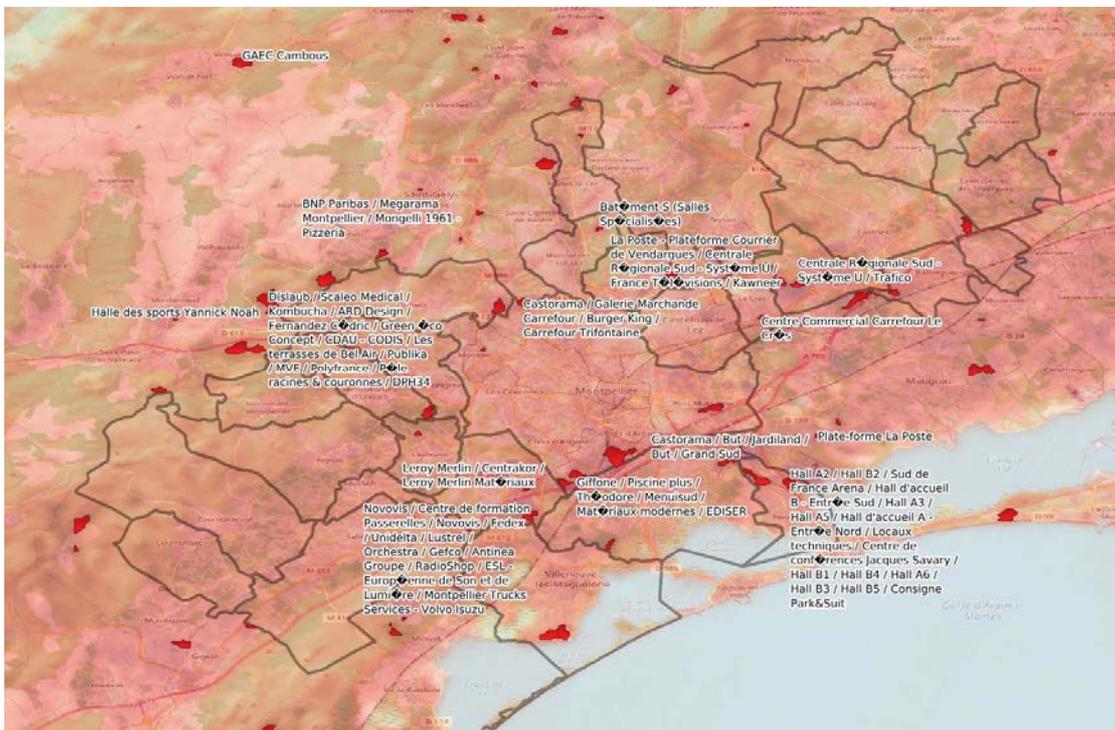


Figure 3 : Anomalies détectées en hiver de jour sur la métropole de Montpellier

Les fichiers générés par cet outil sont des données vectorielles au format shapefile. Un premier shapefile contient l'ensemble des anomalies détectées sur la LST comme illustré ci-dessus avec chacune comme attribut :

- **index** : l'index de l'anomalie
- **LST_moyenne** : La LST moyenne dans l'anomalie (en °K)
- **LST_std** : L'écart-type de la LST dans l'anomalie (en °K)
- **LST_delta** : L'écart de LST moyenne entre l'anomalie et son environnement proche (en °K)
- **S_anomalie** : La surface de l'anomalie (en m²)
- **Nb_pixel** : Le nombre de pixel de LST qui forment l'anomalie
- **Nb_batiment** : Le nombre de bâtiment présent à l'endroit de l'anomalie
- **S_batiment** : La surface de bâtiment présent à l'endroit de l'anomalie (en m²)
- **%S_batiment** : Le pourcentage de surface de bâtiment présent à l'endroit de l'anomalie
- **Nom_batiment** : La liste des noms des bâtiments lorsque disponible dans OSM
- **mask_URBAN** : 1 si l'anomalie est sur la zone urbaine , 0 sinon
- **any_has_building** : 1 si l'anomalie présente des bâtiment , 0 sinon

Pour aider à l'interprétation des résultats, les anomalies liées à un ou plusieurs bâtiments, un shapefile spécifique est généré contenant l'ensemble des bâtiments liés aux anomalies avec leurs attributs OSM disponibles. Deux autres shapefile ont été générés permettant de supprimer les anomalies en zone

naturelle : un shapefile contenant uniquement les anomalies présentes sur la tache urbaine (cf. 3.1) et un shapefile contenant uniquement les anomalies intersectant des bâtiments tels que définis dans OSM.



Figure 4: Superposition des toutes les anomalies hautes détectées à partir des 9 images disponibles sur Toulouse, combinant donc des images en été, en hiver, de jour et de nuit. Toutes les anomalies sont affichées avec un niveau de transparence de 50% et avec une table de couleur propre à chaque image de sorte que plus l'anomalie est foncée, plus elle est forte. De manière générale, les anomalies hautes se situent sur les zones commerciales et d'activités. On reconnaît les grandes zones commerciales du bassin Toulousain (Roques, Portet, Labège, Saint-Orens, Gramont, Fenouillet...), ainsi que les grandes zones d'activités (zone aéroportuaire, En Jacca, Fondeyre...). On note certaines anomalies plus étonnantes comme le cimetière de la Gloire en été de nuit, ou la rive gauche de la Garonne vers Saint Cyprien en hiver de nuit, probablement un artefact du traitement liée à la présence de la Garonne plus chaude à cette période.

Au-delà des grandes tendances qui se dégagent sur les zones industrielles et commerciales, on constate régulièrement des anomalies que l'on peine à expliquer. L'origine de ces anomalies incomprises peut être variée : artefact de traitement en particulier près des surfaces en eau, sol nu, effet d'orientation du terrain... Pour confirmer la présence et la nature de l'anomalie, nous considérons que l'analyse de l'image thermique source est indispensable.

3 ANALYSE MULTI-ECHELLE DES LST

3.1 LST PAR COMMUNES

Ressources :

- *Présentation : 20220610_THERMOCITY_Echelle_communes_Damien.pdf*

Afin de comparer les comportements des communes d'une même métropole, on a comparé leur température de surface moyenne. Une première étape du traitement consiste à définir la tâche urbaine de chaque commune, de manière à caractériser la température là où les gens vivent. Cette tâche urbaine a été définie à l'aide du produit Copernicus imperviousness qui caractérise la perméabilité des sols en effectuant un seuillage à 20% puis une opération de fermeture morphologique.

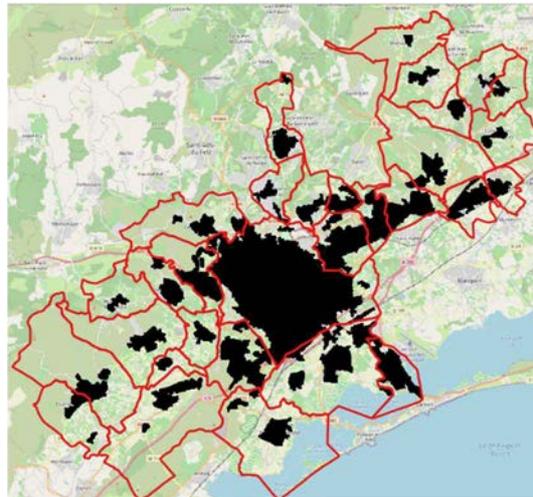


Figure 5 : Tâche Urbaine pour la métropoles de Montpellier

On a pu ensuite mesurer les LST moyenne pour chaque commune dans leur tâche urbaine et ainsi pour toutes les données thermiques en été.

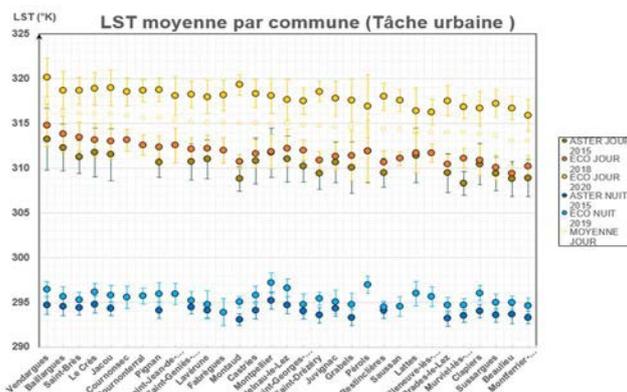


Figure 6 : Graphique des LST moyennes par commune sur tâche urbaine sur pour 5 dates

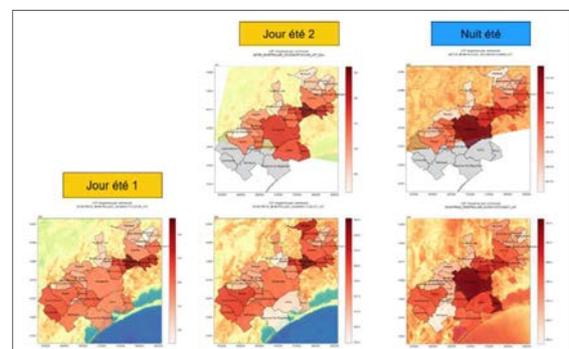


Figure 7 : Carte des LST moyenne par communes sur tâche urbaine pour 5 dates

Cette étude semble montrer que les communes à l'Est de Montpellier autour de Vendargues apparaissent comme étant les communes ayant une LST moyenne par commune sur la tâche urbaine la plus élevée de jour. Cependant, de nuit, Montpellier apparait comme étant la commune ayant la LST moyenne sur sa tâche urbaine moyenne la plus élevée. L'écart de température de surface entre la nuit et le jour est l'un des plus faible pour la commune de Montpellier.

3.2 LST À L'ECHELLE IRIS

L'étude a également été transposée à l'échelle de l'IRIS (Ilots Regroupés pour l'Information Statistique). Pour rappel, le découpage en IRIS forme un maillage infra-communal de la France largement utilisé lors d'études statistiques par l'INSEE. Les contours forment des zones géographiques avec des contours identifiables sans ambiguïté, stables dans le temps et dont la démographie est semblable (environ 2000 habitants par maille).

A l'image de ce qui a été fait sur les études précédentes, les LST moyennes ont été calculées pour chaque IRIS dans leurs tâches urbaines sur toutes les images d'été. De plus, un traitement a été fait pour enlever les surfaces en eau. En effet, les contours IRIS pouvant être relativement petits, les zones eau peut avoir un effet significatif sur la LST moyenne alors qu'elle influence peu sur le confort humain. Les résultats sont fournis sous forme de shapefiles contenant les LST moyennes par IRIS complétées d'autres statistiques telles que l'écart-type, la médiane, la min, le max, et différents quartiles.

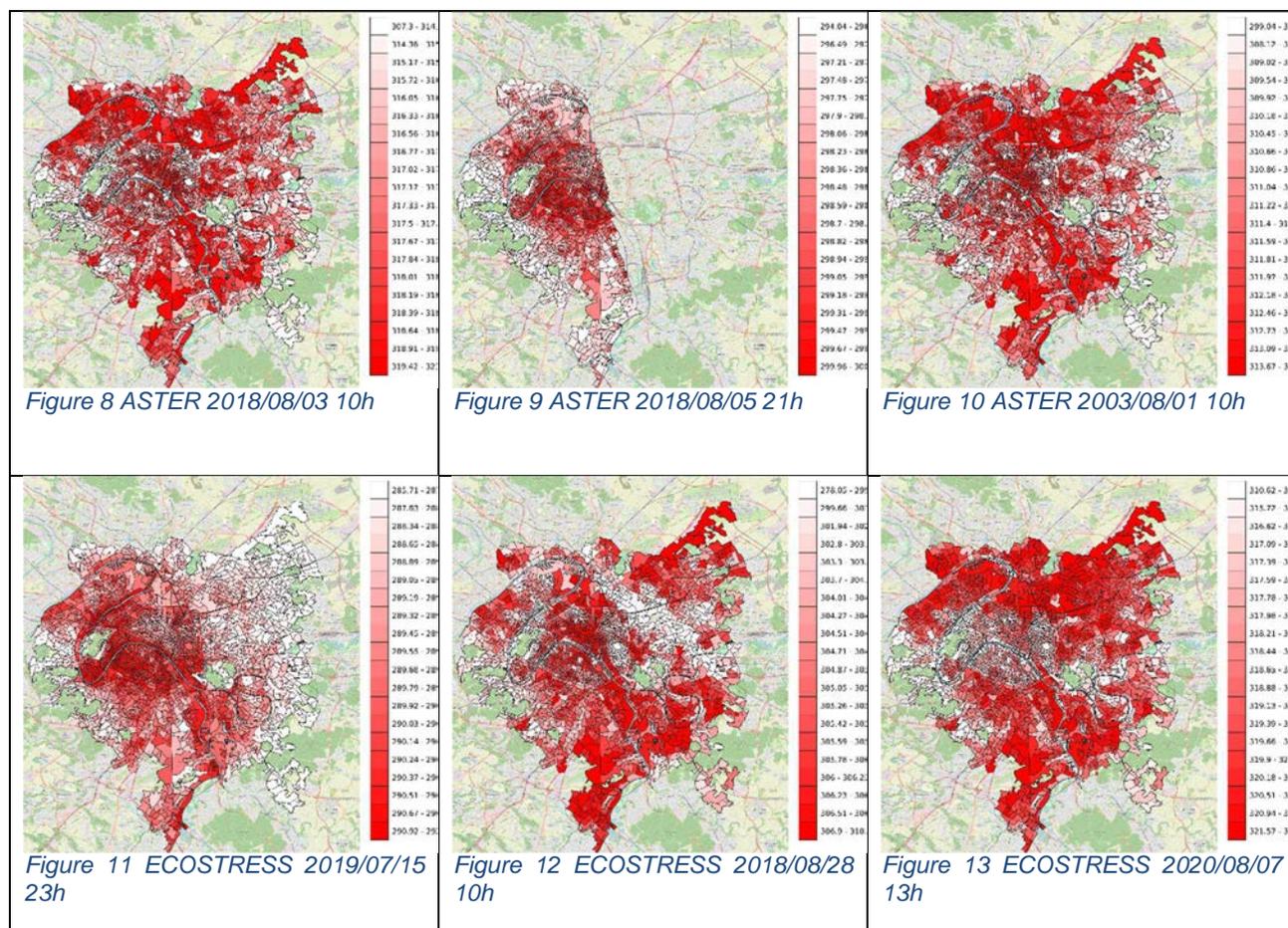


Figure 14 LST moyenne par IRIS pour la métropole du grand Paris à différentes dates et heures en été

Dans le cas de la métropole de Paris, on peut remarquer plusieurs phénomènes :

- Le matin, vers 10h, il semble que les régions de la rive gauche de Paris (les 5e, 6e, 7e, 13e, 14^e mais également de 16^e arrondissement) ont généralement un LST moyenne plus faible que les autres arrondissements de Paris.
- A midi (vers 13h), les LST moyennes de Paris sont en général plus basses que dans sa banlieue. De même, les zones à l'est du 18^{ème} arrondissement présentent des LST moyennes plus élevées que la moyenne dans Paris.
- Le soir (vers 23h), les régions à l'est semble avoir présenté des LST moyennes moins élevées que les régions à l'ouest. De même, Paris, et notamment la rive gauche, semble présenter les LST moyennes plus élevées.

L'origine de ces différences peut être multiple telle que les taux de végétalisation, les matériaux de construction utilisés, l'exposition solaire de la journée...

3.3 LST PAR QUARTIER

Ressources :

- *Code* : [ICU/main_mean_lst_per_quartier.py](#)
- *Présentation* : [2022-06-10_THERMOCITY_1_Croisement_de_données_Montpellier-VEGETATION.pptx](#)

Dans un second temps et à la demande de Montpellier Méditerranée Métropole (MMM) nous avons analysé le comportement de 8 quartiers de la commune de Montpellier. Ces quartiers étant en milieu urbain, on a mesuré la LST moyenne / écart-type pour chacun de ces quartiers en été de jour et de nuit.

Les résultats sont affichés sous forme de graphique pour comparer les LST moyenne par quartier et sous forme de carte pour visualiser la position des quartiers et leur LST moyenne.

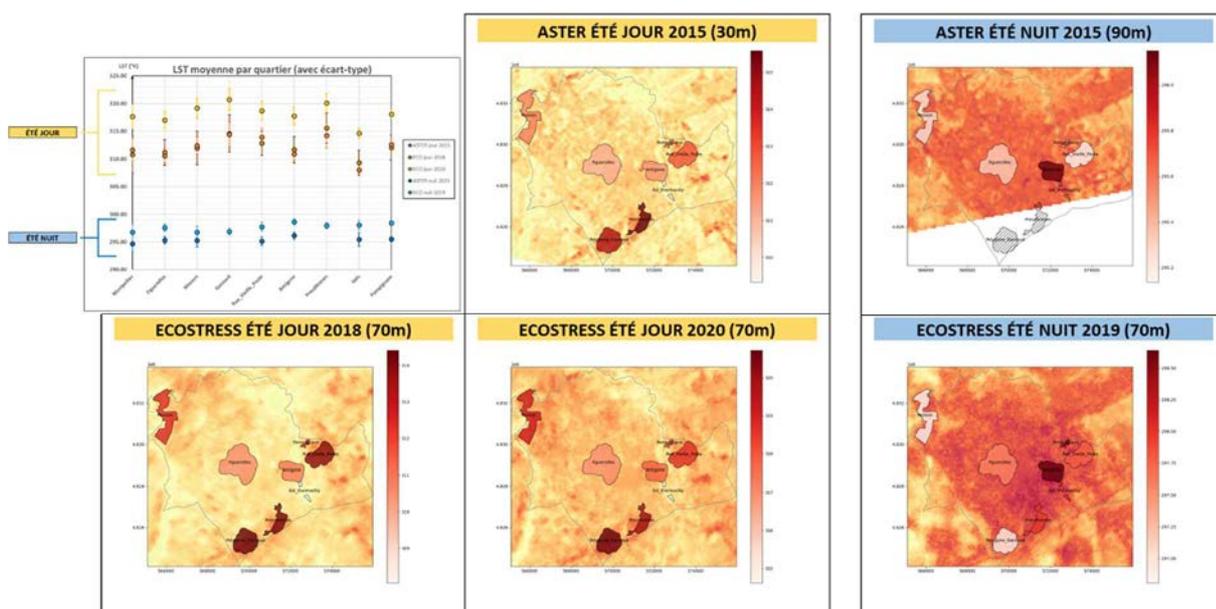


Figure 15 : LST moyenne pour 8 quartiers de Montpellier en été pour 3 dates de jour et 2 dates de nuit

Après analyse de l'occupation du sol de chaque quartier, il ressort que les quartiers avec la LST moyenne la plus élevée de jour (Garosud et Antigone) sont les quartiers les moins végétalisés. Ainsi on a cherché à caractériser le lien entre LST et végétation.

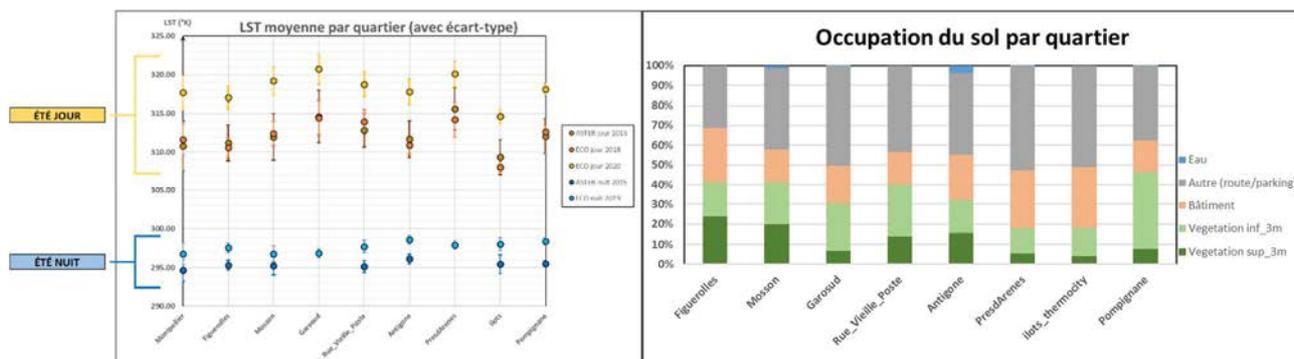


Figure 16 : Comparaison entre LST moyenne par quartier par date (à gauche) et l'occupation du sol (à droite)

3.4 LST ET VEGETATION

Ressources :

- *Code* : [ICU/main_frac_vege.py](#)
- *Présentation* : [2022-06-10_THERMOCITY_1_Croisement_de_données_Montpellier-VEGETATION.pptx](#)

Afin de caractériser le lien entre la LST et la végétation, on a utilisé un produit donnant la classification de la végétation à Montpellier. Ce produit est issue d'une étude de Kermap pour MMM (<https://data.montpellier3m.fr/dataset/vegetation-fine-2019>). Il fournit l'emplacement de la végétation sur la métropole de Montpellier. Deux classes sont distinguées : la végétation de taille inférieure à 3m (pelouses, arbustes et petits arbres) et la végétation de taille supérieure à 3m (grands arbres). On a donc croisé ce produit avec les données thermiques.

Dans les 8 quartiers étudiés, pour chaque pixel de la donnée thermique, on a calculé la fraction de végétation, c'est-à-dire la pourcentage de végétation (haute et basse) dans la zone définie par chaque pixel (chaque carré sur la figure ci-dessous).

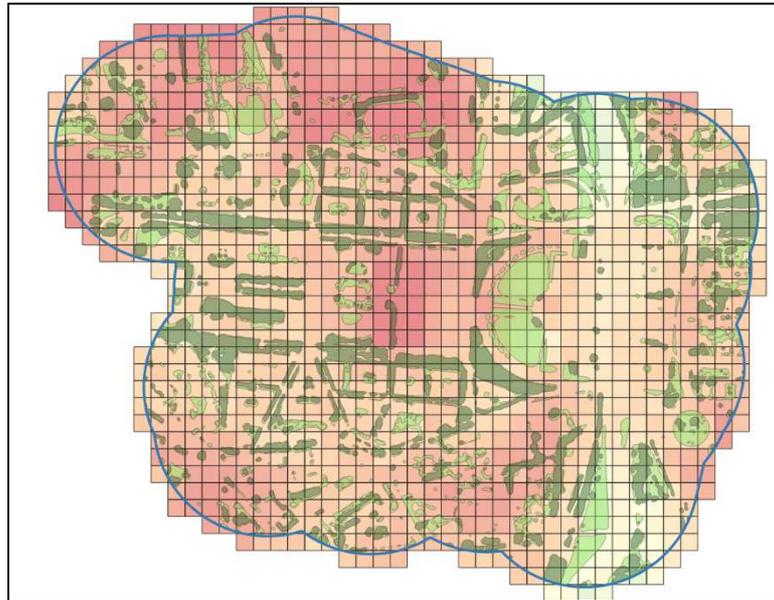


Figure 17 : LST (en rouge) et végétation (inférieure à 3m en vert clair et supérieure à 3m en vert foncé) sur le quartier de Figuerolles à Montpellier

On a ainsi pu tracer un nuage de point avec en abscisse la fraction de végétation dans l'emprise au sol du pixel et en ordonnée la température de surface comme le montre la figure ci-dessous (à gauche). En regroupant les points par tranches de 10% de végétation, (à droite sur la figure ci-dessous), on a pu confirmer la tendance observée sur le nuage de point. On a donc ensuite essayé de modéliser la tendance globale de ce nuage de points par une droite d'équation :

$$LST = a \times \text{Fraction végétale} + b$$

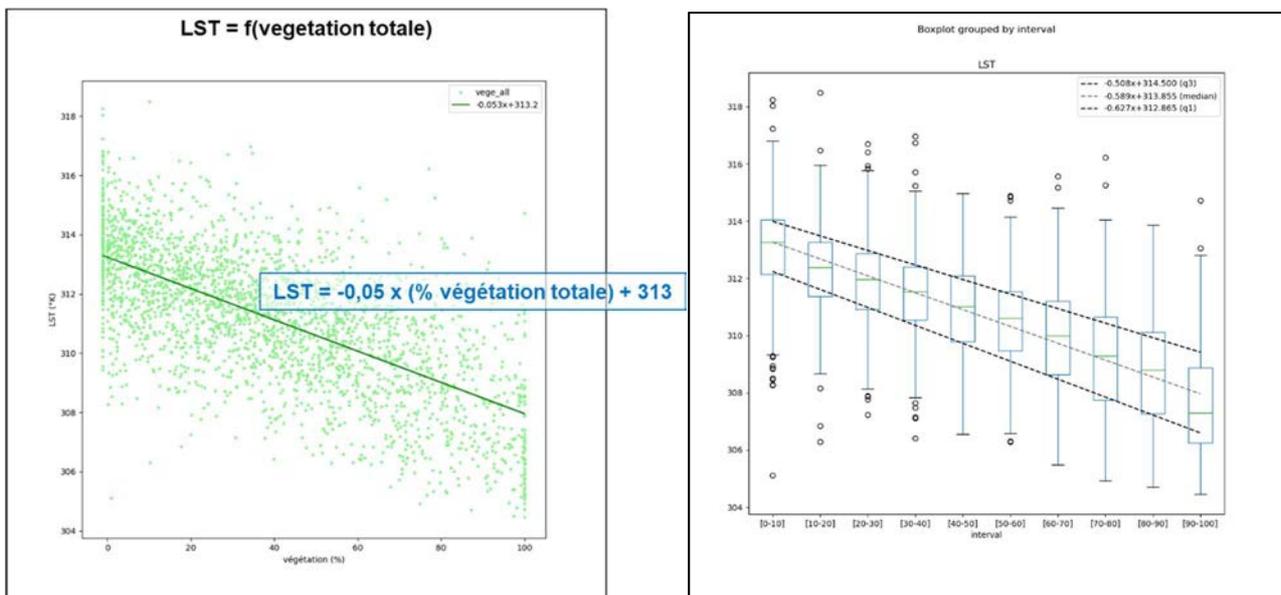


Figure 18 : (à gauche) Nuage de point de la LST en fonction de la fraction végétale pour le quartier de Figuerolles à Montpellier en été de jour. (à droite) Nuage de point regroupé par tranche de 10% de fraction végétale (les 10 boîtes donnent le 1^e, le 3^e quantile et la médiane en vert).

Cette modélisation, bien qu'imparfaite, donne la tendance suivante: plus il y a de végétation plus la température de surface est faible. Cette tendance est d'autant plus renforcée lorsque l'on s'intéresse à la végétation haute.

En calculant de la même façon, l'équation reliant la LST et la fraction végétale et son coefficient directeur pour les autres quartiers et les autres données thermiques (voir le tableau ci-dessous), on conclut que :

- La végétation a un effet rafraichissant dans les quartiers d'autant plus lorsque la végétation est haute
- En été de jour, une augmentation de 10% de la végétation totale entraine une baisse de la LST entre -0.3°K et -0.5°K
- En été de jour, une augmentation de 10% de la végétation haute entraine une baisse de LST comprise entre -0.4°K et -0.6°K sur la LST
- En été de nuit, une augmentation de 10% de la végétation totale a un impact mesurable mais faible, de l'ordre -0.1°K sur la LST

Quartier	Pente végétation totale					Pente végétation haute				
	ASTER jour 2015	ECO jour 2018	ECO jour 2020	ASTER nuit 2015	ECO nuit 2019	ASTER jour 2015	ECO jour 2018	ECO jour 2020	ASTER nuit 2015	ECO nuit 2019
Figuerolles	-0.053	-0.026	-0.040	-0.013	-0.016	-0.064	-0.039	-0.052	-0.015	-0.015
Mosson	-0.055	-0.024	-0.025	-0.016	-0.015	-0.069	-0.033	-0.042	-0.022	-0.018
Garosud	-0.052	-0.009	-0.027		-0.011	-0.106	-0.088	-0.083		-0.012
Rue_Vieille_Poste	-0.031	-0.013	-0.021	0.001	-0.008	-0.046	-0.046	-0.054	0.005	-0.003
Antigone	-0.035	-0.015	-0.025	-0.003	-0.013	-0.040	-0.024	-0.029	-0.010	-0.015
PresdArenes	-0.059	-0.026	-0.031		-0.001	-0.091	-0.040	-0.055		-0.006
Ilots	-0.016	0.001	-0.005	0.036	0.022	-0.084	0.017	0.035		0.069
Pompignane	-0.040	-0.017	-0.006	0.007	-0.009	-0.012	-0.006	-0.005		0.000

Tableau 1 : Pentes de modélisation affine entre LST en fraction végétale pour les quartiers de Montpellier

3.5 LST ET PARC

Ressources :

- *Code* : [ICU/main_parc.py & ICU/main_parc_curve_plot.py](#)
- *Présentation* : [2022-06-10_THERMOCITY_2_Croisement_de_données_Montpellier - PARC.pptx](#)

On s'est intéressé au comportement de la LST autour des parcs. On a donc mesuré l'évolution de la LST en s'éloignant progressivement des parcs. A partir d'un shapefile issu d'OSM, on a récupéré la position des parcs de Montpellier. Du fait de la résolution des données thermiques, on a filtré les parcs pour ne conserver seulement ceux dont la surface est supérieure à la surface de 4 pixels de LST (138 parcs restant sur 519 pour la LST désagrégée à 30m de résolution, 50 parcs restant à 70m de résolution et 28 à 90m de résolution). On a ensuite mesuré la LST moyenne dans le parc puis dans le voisinage proche du parc en s'en éloignant progressivement. Ce voisinage a été défini en dilatant la zone du parc de la valeur de la résolution de la LST comme illustré dans la figure ci-après. Des « anneaux » de plus en plus éloignés du parc ont ainsi été créés, dans lesquels on a mesuré la LST moyenne. L'illustration suivante montre les LST moyennes mesurées en nuances de rouge pour un parc (zone centrale) et son voisinage (« anneaux »). On peut ensuite tracer l'évolution de la LST moyenne en fonction de la distance au parc.

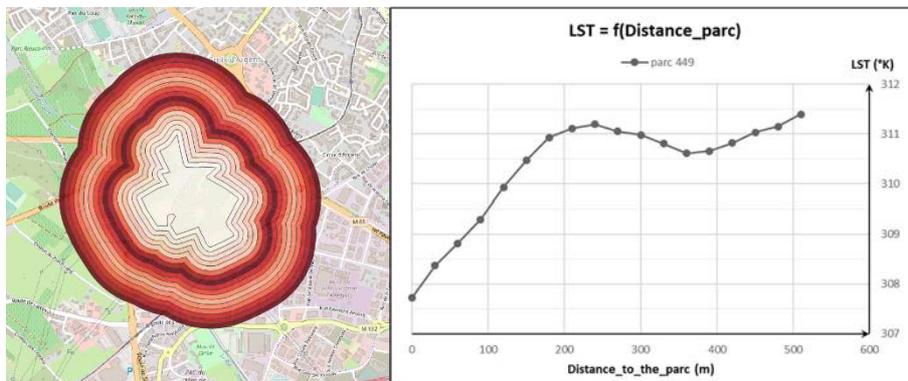


Figure 11 : Parc du Mas Nouguier avec LST désagrégée à 30m en été de jour (à gauche) et évolution de la LST moyenne en fonction de la distance au parc (à droite).

Afin d'isoler l'effet du parc, l'effet rafraichissant de la végétation présente autour du parc a été éliminé à partir des conclusions de l'étude précédente. En calculant la fraction végétale dans chaque zone autour du parc, un facteur correctif a été appliqué à la LST pour éliminer l'effet rafraichissant de la végétation haute et basse comme suit :

- De jour : $LST_{correcté} = LST + 0.04 \times végétation_{totale} + 0.01 \times végétation_{haute}$
- De nuit : $LST_{correcté} = LST + 0.01 \times végétation_{totale}$

En réalisant cette analyse sur tous les grands parcs retenus et en moyennant l'évolution de la LST corrigés en fonction de la distance pour l'ensemble des parcs, on obtient les tendances suivantes pour chaque donnée thermique :

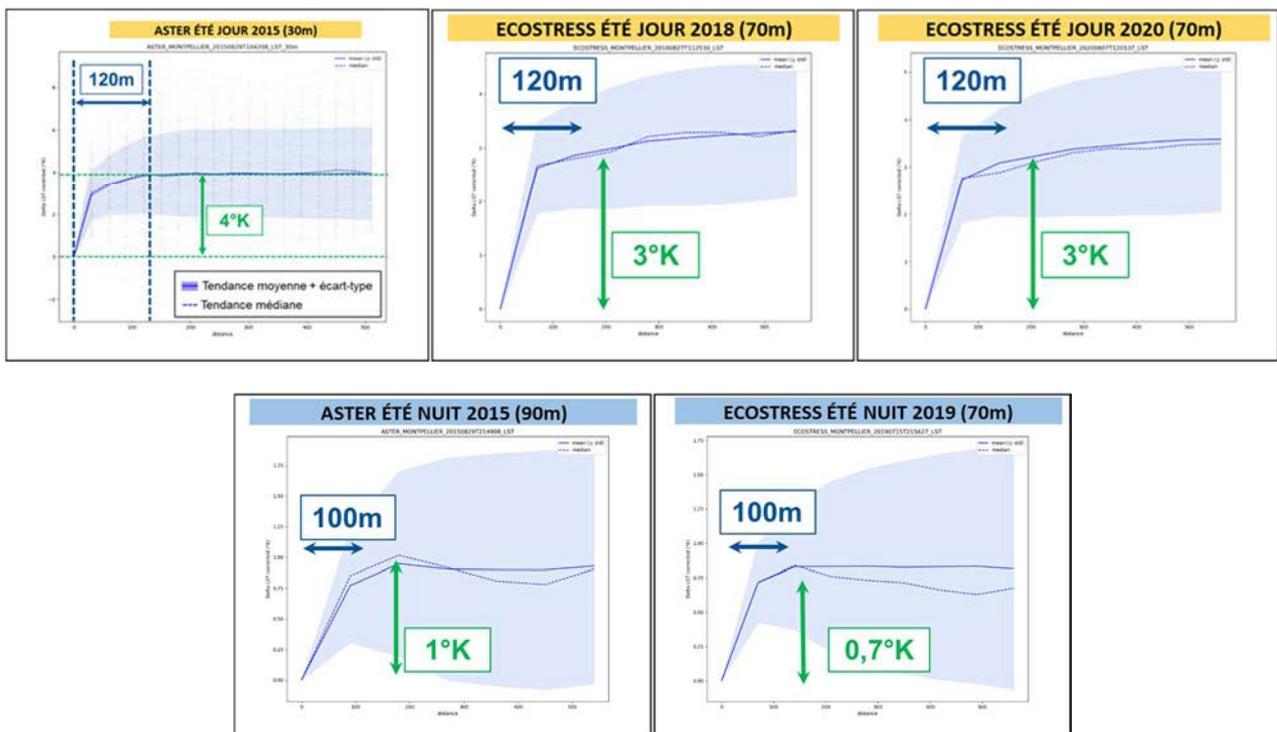


Figure 19 : Tendances moyennes, sur l'ensemble des parcs retenus, de la LST corrigée en fonction de la distance au parc

On constate en moyenne sur les données d'été et de jour que sur les 120 premiers mètres en s'éloignant du parc que la LST augmente d'environ 3°K. En été de nuit, l'écart de température entre le parc et son environnement proche est inférieur à 1°K, une valeur proche du niveau de précision de la mesure de LST.

3.6 LST ET RIVIERE

Ressources :

- *Code* : `ICU/main_river.py` & `ICU/main_river_curve_plot.py`
- *Présentation* : `2022-06-10_THERMOCITY_3_Croisement_de_données_Montpellier - RIVIERE.pptx`

De même que pour les parcs, nous avons mis en place un outil de caractérisation de l'évolution de la LST autour d'une rivière en s'éloignant progressivement de celle-ci. L'emprise de la rivière Lez a été récupérée via OSM et la métropole de Montpellier a fourni un shapefile découpant la rivière du Lez en 8 sections d'intérêts visibles ci-dessous. Ces sections ont été choisies car elles représentent des formes variées d'aménagements urbains autour du Lez.

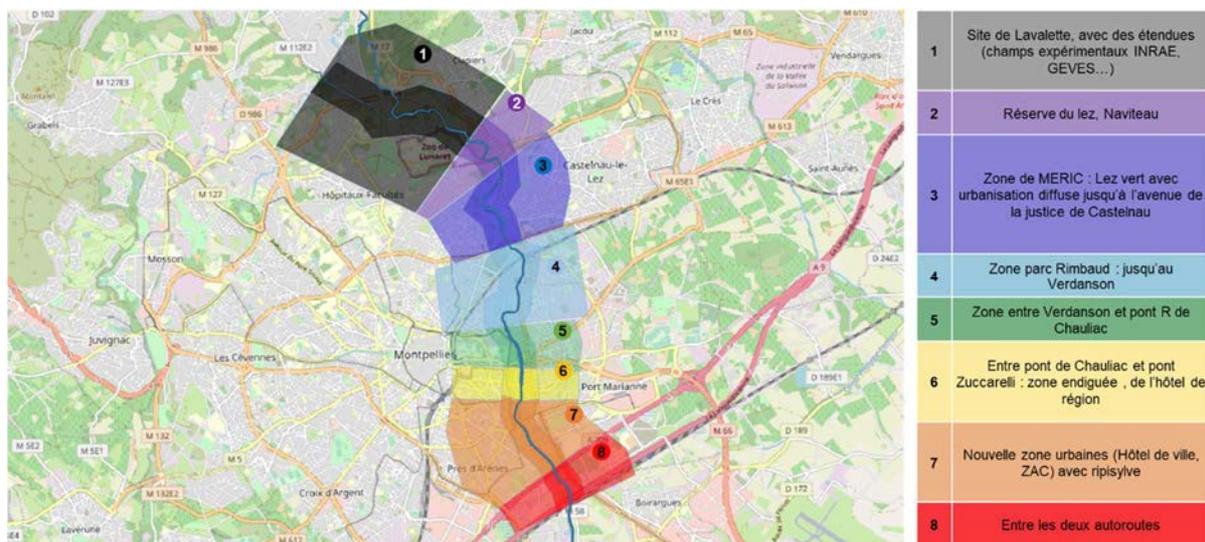


Figure 20 : Découpage du Lez en 8 secteurs par MMM

L'évolution de la LST de part et d'autre du Lez a donc été mesurée dans chaque section. Pour cela, des sections en bandelettes de largeurs égales à la résolution de la donnée thermique ont été découpées le long de la rivière. On a pu ainsi tracer la LST moyenne en fonction de la distance à la rivière.

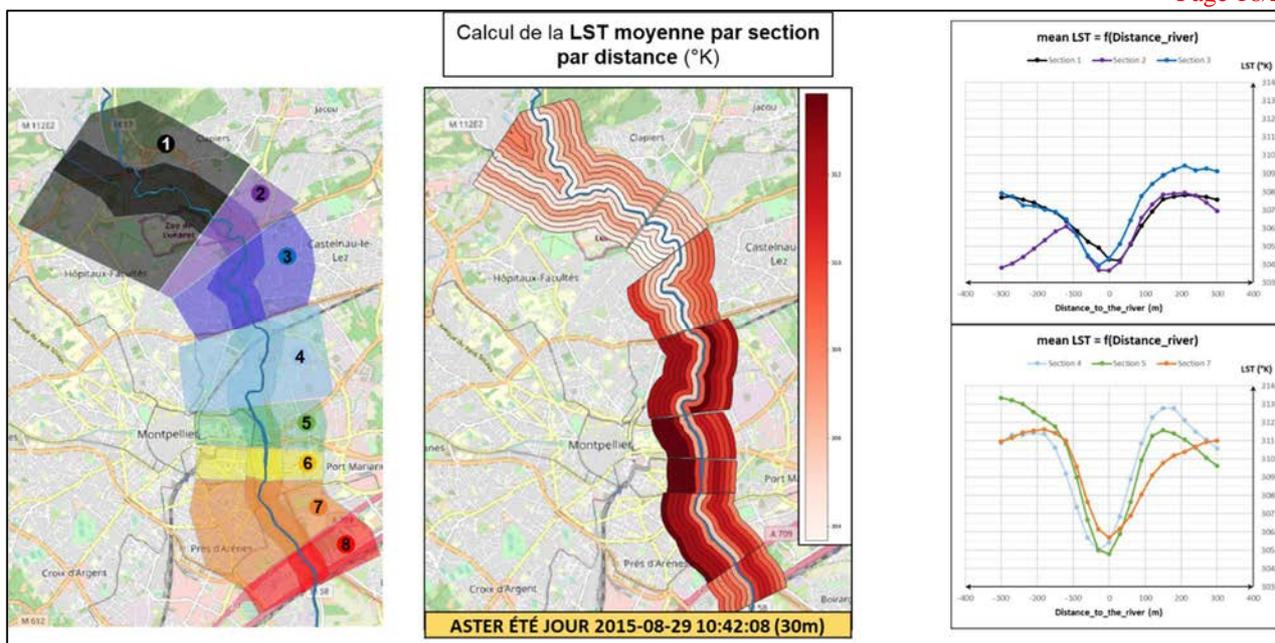


Figure 21 : Mesure de la LST en fonction de la distance à la rivière

En s'inspirant du traitement sur les parcs et afin d'isoler l'effet de la rivière, l'effet rafraichissant de la végétation dans l'environnement de la rivière a été éliminé en appliquant la correction suivante :

- De jour : $LST_{corrigé} = LST + 0.04 \times végétation_{totale} + 0.01 \times végétation_{haute}$
- De nuit : $LST_{corrigé} = LST + 0.01 \times végétation_{totale}$

En superposant les résultats pour les 8 sections, comme sur la figure ci-dessous (à gauche), on constate un comportement global similaire que l'on peut représenter par le comportement moyen des 8 sections (à droite).

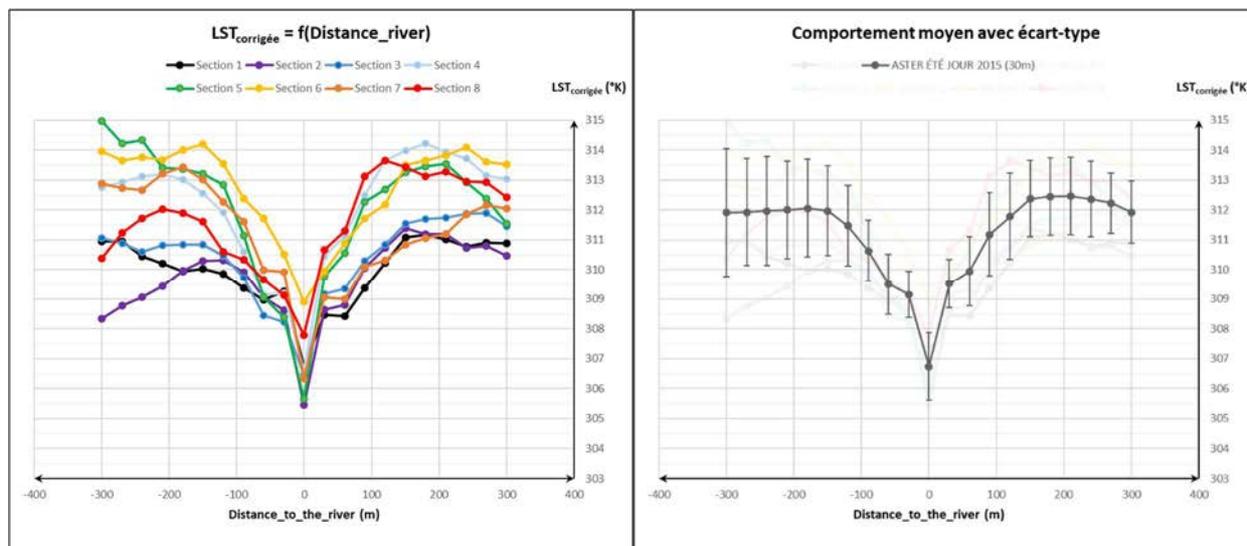


Figure 22 : Evolution de la LST corrigée en fonction de la distance à la rivière en été de jour (ASTER désagrégée à 30m)

En faisant de même pour les 5 données thermiques à notre disposition, on obtient le résultat suivant :

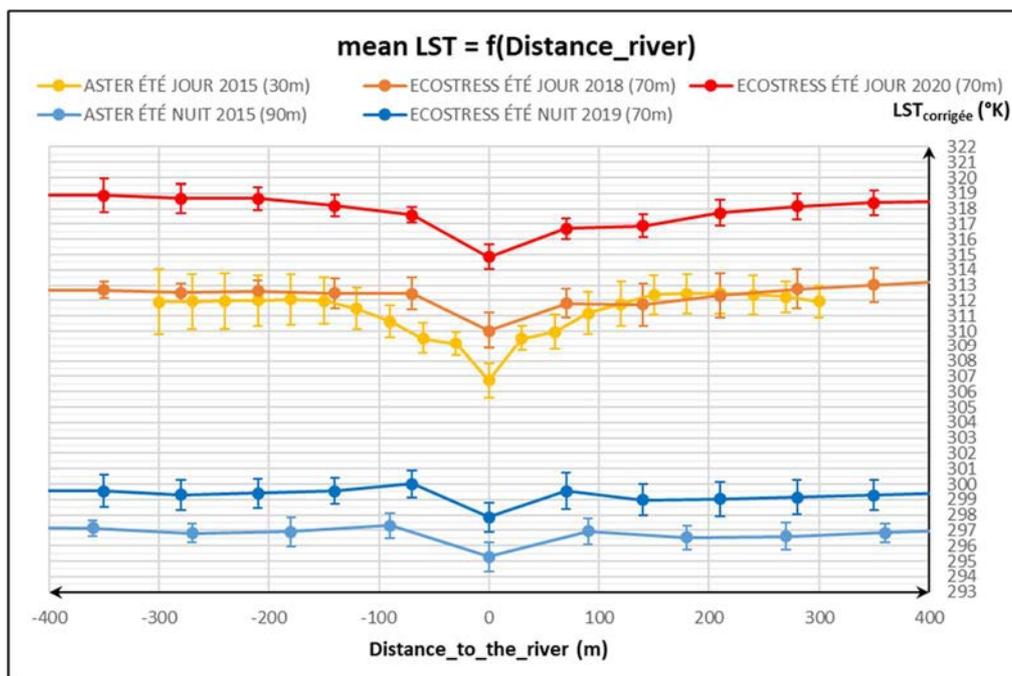


Figure 23 : Comportement moyen de la LST corrigées en fonction de la distance à la rivière pour les 5 données thermiques sur Montpellier.

On constate que en moyenne la LST augmente lorsque l'on s'éloigne de la rivière. Une différence de 4 à 5K est constatée en été de jour entre la LST au niveau de la rivière et la LST à 200 mètres du cours d'eau. De nuit, l'effet est relativement faible et peu significatif, de l'ordre de 1K à 100m de distance.

3.7 INDICATEUR DE VULNERABILITE A LA CHALEUR

- *Code* : [HVI/main_HVI.py](#)
- *Présentation/Méthodologie* : [ONERA_AurelieMichel_HVI.pdf](#)

L'objet de cette étude est de croiser les données thermiques, environnementales et socio-économiques afin de générer des cartes de vulnérabilité à la chaleur (ou *Heat Vulnerability Index*, HVI). L'étude a été menée à l'échelle IRIS et les données utilisées sont les suivantes :

- LST moyenne sur la tache urbaine
- Carte de fraction non-végétale (Carte de porosité du sol)
- Population entre 0 et 2 ans (source : INSEE)
- Population > 65 ans (source : INSEE)
- Population totale (source : INSEE)
- Revenu médian déclaré par unité de consommation (source : INSEE)
- Fraction de bâtiments avec une classe énergétique supérieur à D (source : BDNB)

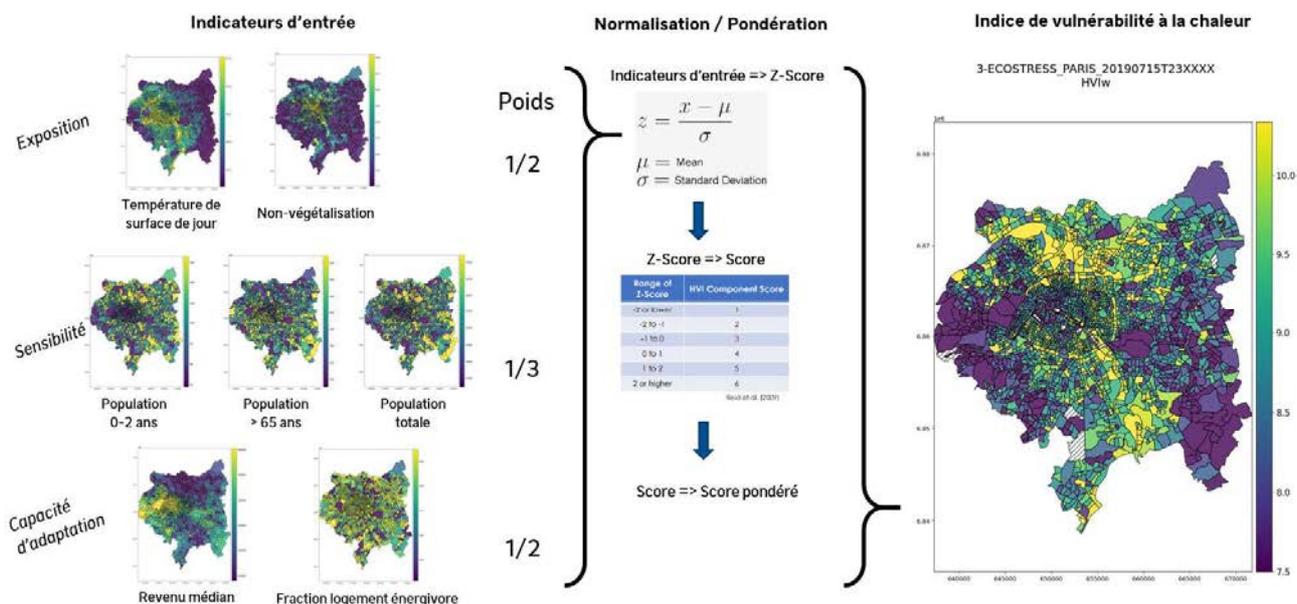


Figure 24: Exemple de construction du HVI à partir de l'image ECOSTRESS du 15/07/2029, 23H

Pour une région IRIS donnée, le HVI n'est calculé que lorsque toutes ces données sont disponibles. Or, il est fréquent qu'à l'échelle IRIS les données de revenu ne soient pas disponibles. Pour avoir des cartes de HVI le plus complètes possibles, les données de revenu non disponibles à l'échelle IRIS ont été remplacées par les données à l'échelle communale ou, à défaut, par la moyenne sur toute la métropole si aucune donnée n'est disponible (le champ « source » du shapefile de sortie indique la provenance des informations de revenu). A chaque région IRIS est associée un score en fonction des données d'entrée. Plus ce score est grand, plus on estime que la population est vulnérable. Ces cartes permettent donc de facilement mettre en évidence les zones les plus vulnérables pour une définition de vulnérabilité donnée. En effet, la définition de vulnérabilité adoptée ici nous paraît discutable et adaptable. Pour permettre aux utilisateurs de générer des cartes de vulnérabilité adaptées à leur besoin, nous fournissons dans les produits THERMOCITY toutes les données intermédiaires à l'échelle IRIS. Il est donc aisé de construire de nouveaux indicateurs adaptés.

La figure suivante présente une illustration des HVI sur Toulouse Métropole pour toutes les dates d'été disponibles :

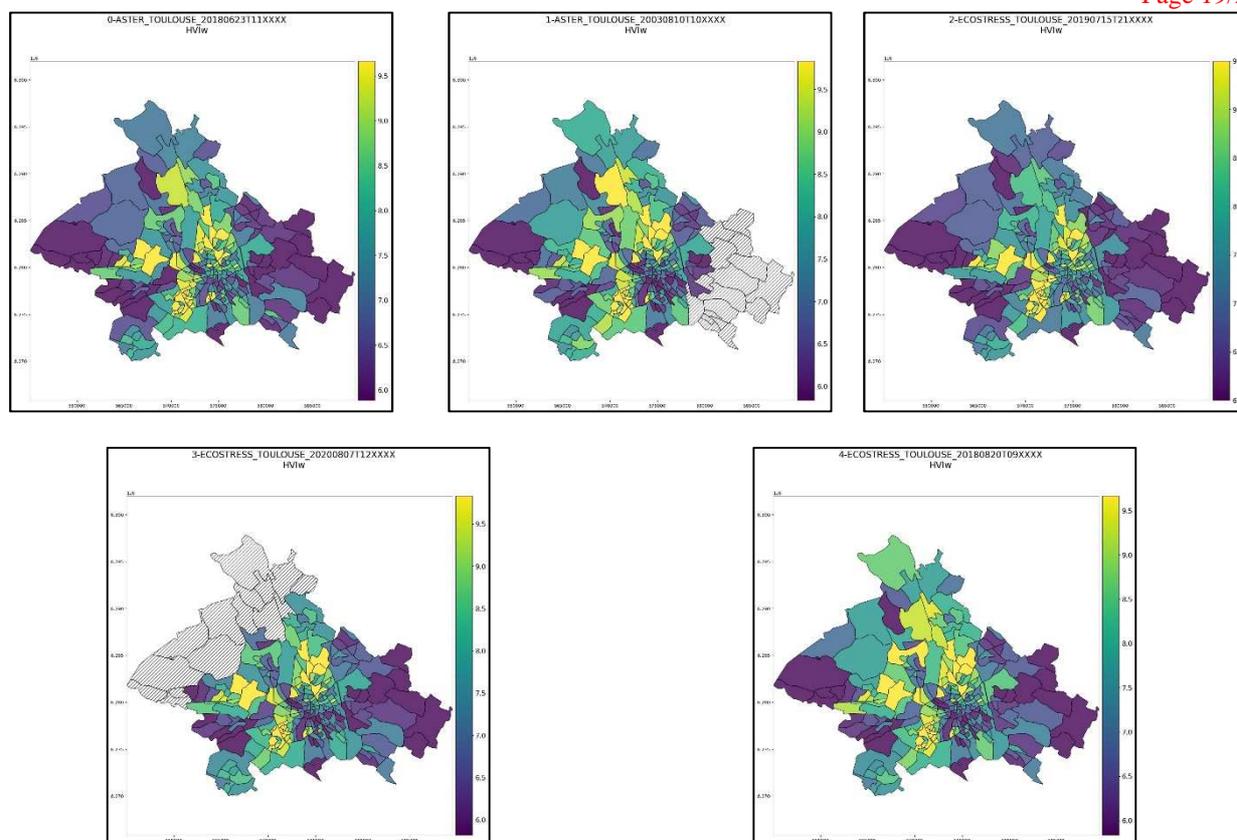


Figure 25 HVI Toulouse pour toutes les images d'été disponibles, de jour comme de nuit. Les zones grisées correspondent à une absence de données thermiques.

3.7.1 ANALYSE DES HVI SUR TOULOUSE

Nous proposons ci-après une étude de cas sur Toulouse partir de l'image ECOSTRESS en date du 15/07/2019 à 21H55. Cette date a été choisie car il s'agit de la seule date de nuit couvrant la totalité de la métropole. La période nocturne a été choisie car c'est à ce moment-là de la journée que la température de l'air et température de surface sont le mieux corrélées.

2-ECOSTRESS_TOULOUSE_20190715T21XXXX
zscore_LST_mean_c

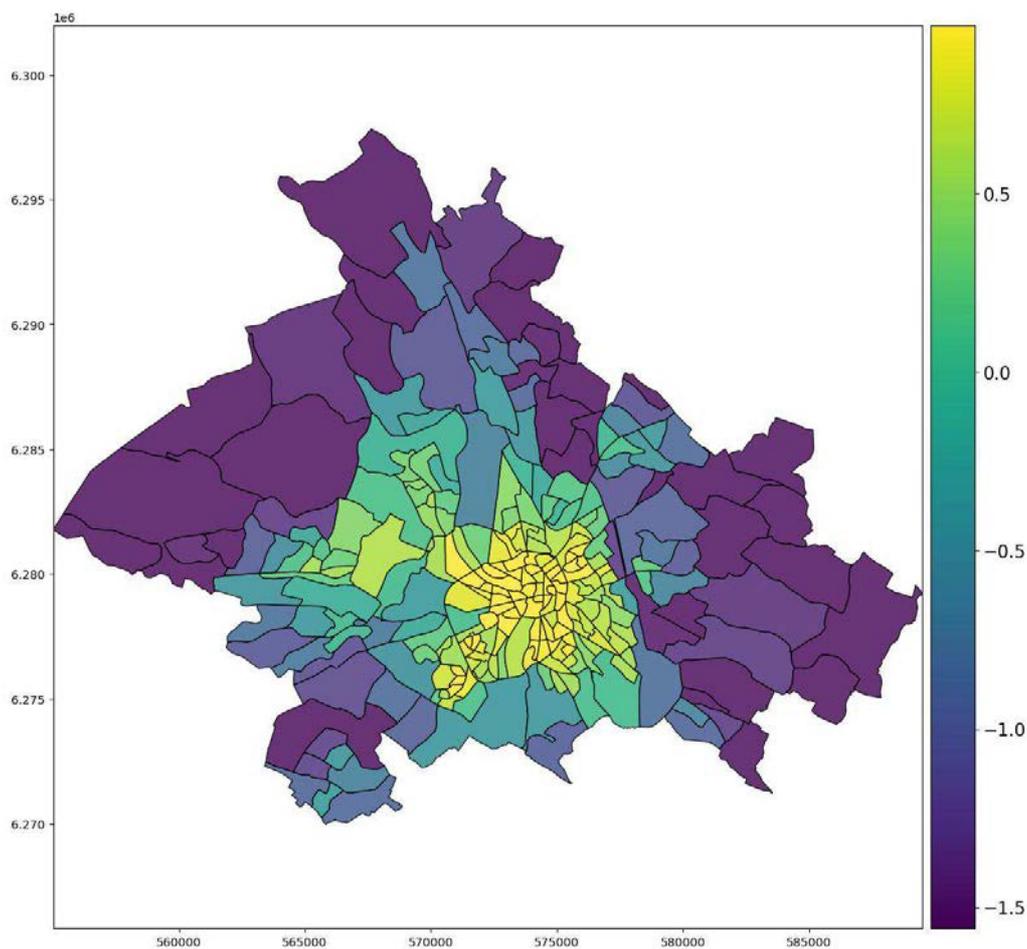


Figure 26 : Carte des « zscores Température de surface » sur Toulouse métropole à l'échelle IRIS dérivés de l'image ECOSTRESS du 15/07/2019 à 21H55. Cette carte est utilisée pour caractériser l'exposition à la chaleur de nuit, période pendant laquelle les températures de l'air de surface sont le mieux corrélées.

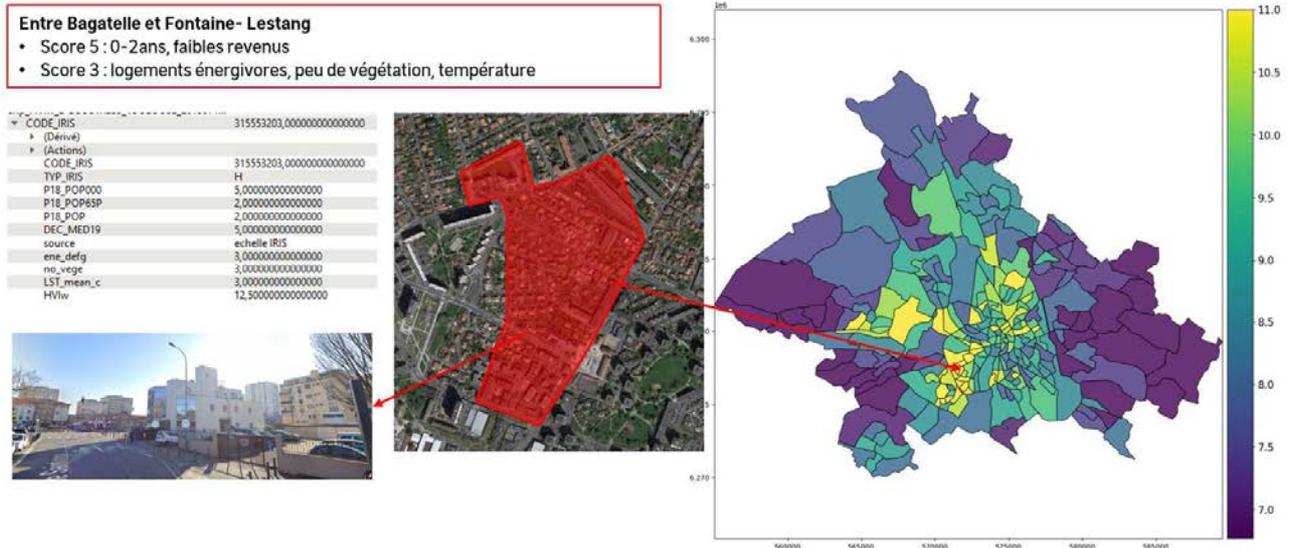


Figure 27 : Ce quartier, situé entre Bagatelle et Fontaine-Lestang possède le pire HVI de Toulouse Métropole. Ce quartier cumule des facteurs sociologiques aggravants, en particulier : une population à faible revenu comportant une forte proportion de jeunes enfants, le tout dans un quartier exposé à la température et comportant des logements avec des mauvaises performances énergétiques.

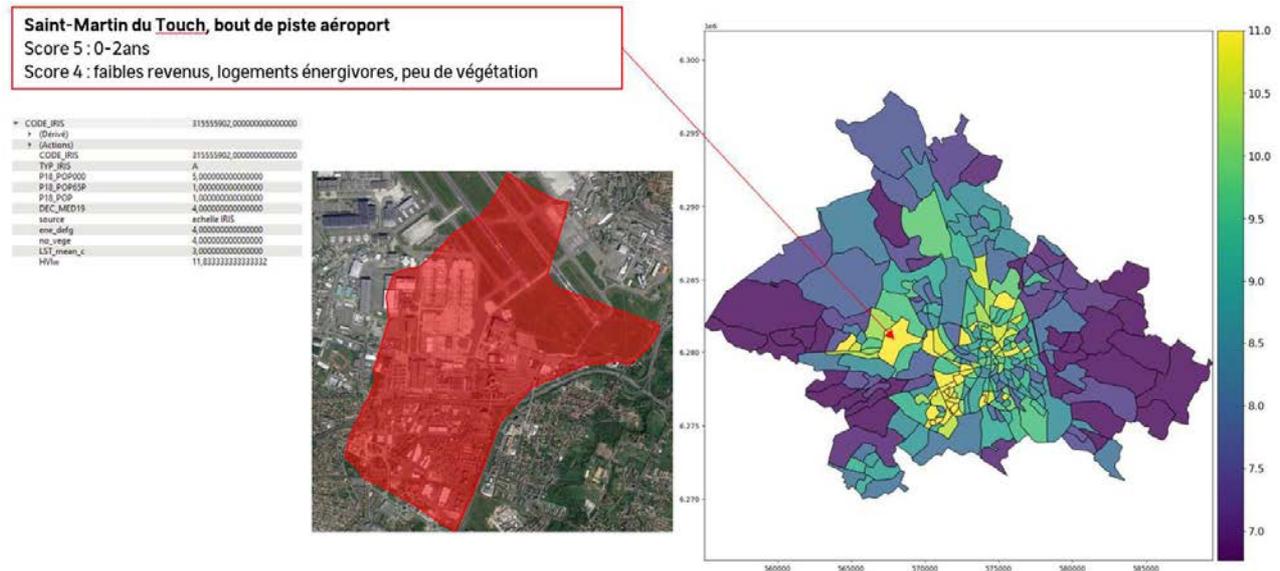


Figure 28 : Une partie de la zone de Saint-Martin-du-Touch possède un HVI très élevé (11.8). Le principal contributeur est le score lié à la population infantile -0-2ans.

Ponts-jumeaux

Score 5 : Population totale

Score 4 : Manque de végétation

Score 3 : Température, classe énergétique, 0-2-ans

CODE_IRIS	315551801,0000000000000000
(Dérivé)	
(Actions)	
CODE_IRIS	315551801,0000000000000000
TYP_IRIS	H
P18_POP000	3,0000000000000000
P18_POP45P	1,0000000000000000
P18_POP	5,0000000000000000
DEC_MED19	3,0000000000000000
source	echelle_IRIS
ene_defg	3,0000000000000000
no_vege	4,0000000000000000
LST_mean_c	3,0000000000000000
HVIw	11,0000000000000000

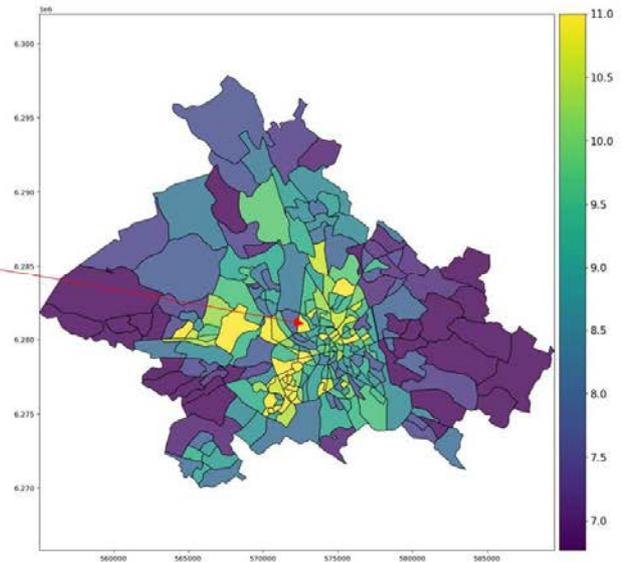


Figure 29 : Le quartier Pont-Jumeaux a un score très élevé à l'échelle de la métropole. Il est notable que les statistiques d'exposition (température et végétation) sont établies en prenant en compte une zone industrielle et commerciale.

Aigrefeuille

- Score max faible 3 : classe énergétique

- Tous les autres scores sont très bas

CODE_IRIS	310030000,0000000000000000
TYP_IRIS	Z
P18_POP000	2,0000000000000000
P18_POP45P	1,0000000000000000
P18_POP	1,0000000000000000
DEC_MED19	1,0000000000000000
source	echelle communale
ene_defg	3,0000000000000000
no_vege	1,0000000000000000
LST_mean_c	1,0000000000000000
HVIw	4,8333333333333333

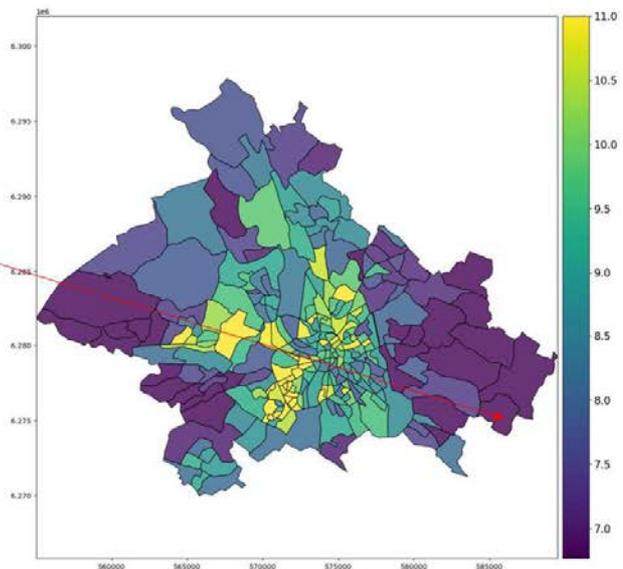
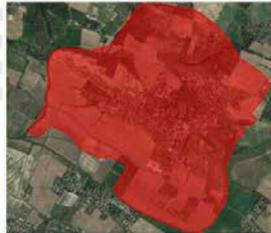


Figure 30 : Le meilleur HVI (=4.8) de Toulouse Métropole est obtenu sur la commune d'Aigrefeuille. La commune cumule plusieurs avantages : éloignement du centre de Toulouse, en milieu rural avec beaucoup de végétation, possédant une population aisée.

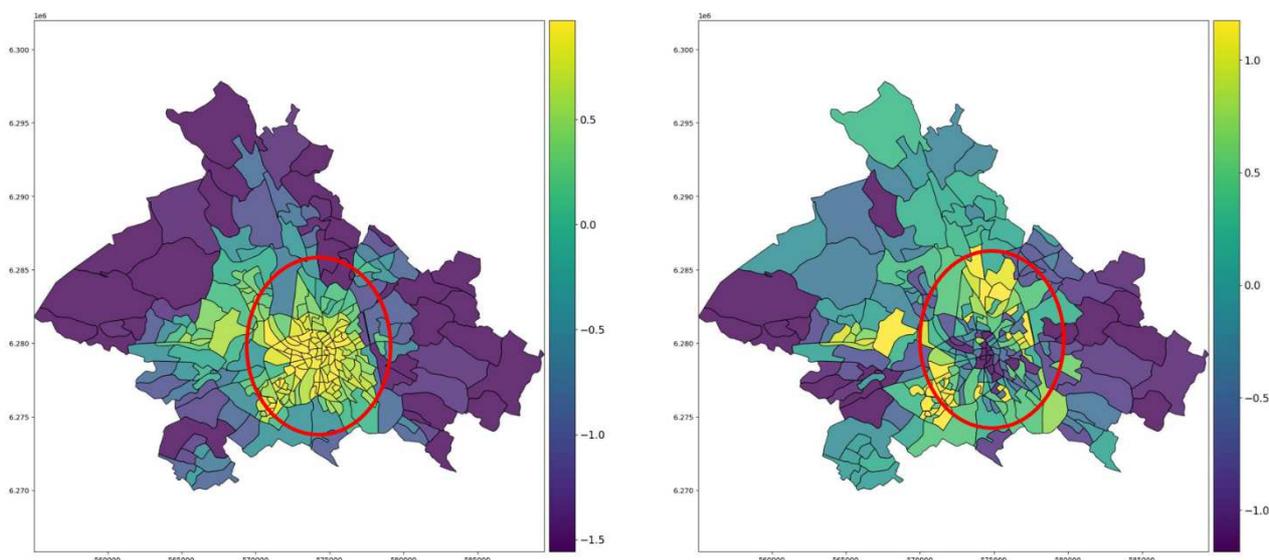


Figure 31: Illustration de l'anti-corrélation entre les zscores des températures de surface (à gauche) et ceux des revenus (à droite) sur la commune de Toulouse. Ces deux grandeurs ont donc tendance à se « neutraliser » à Toulouse centre dans la construction du HVI.

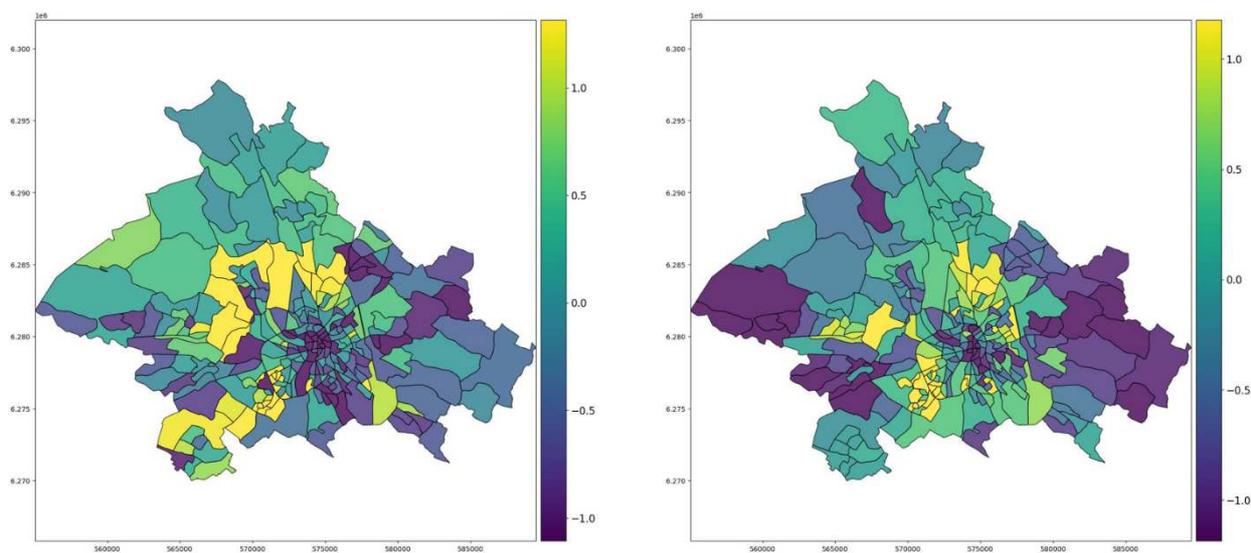


Figure 32: Illustration de la corrélation entre les zscores de la fraction de la population 0-2 ans et ceux du revenu médian. Autrement dit, les couples ayant des enfants en bas-âge ont souvent des revenus moindre. Le phénomène a certainement plusieurs origines combinées dont : couples en début de carrière, arrêt d'activité lié à l'arrivée des enfants, immobilier au prix élevé en centre-ville...

4 CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce document les outils et produits dérivés de projet THERMOCITY :

- Synthèse des températures de surface à différentes échelles : communes, IRIS, quartiers, avec filtrage éventuels des surfaces en eau et/ou hors de la tache urbaine
- Croisement de températures de surface avec des aménagements urbains : parcs, rivières et plus généralement avec l'occupation du sol

Le rôle de la végétation sur la température de surface de jour est clairement établi, et ce, à différentes échelles spatiales (parc, quartier, commune). Nous avons également établi que l'effet de la végétation haute est plus important que celui de la végétation basse. De nuit, l'effet est présent mais beaucoup plus ténu.

Les croisements effectués entre des aménagements urbains de type parcs ou rivières mettent clairement en valeur leur effet rafraichissant sur la température de surface en été. Le phénomène est beaucoup plus prononcé de jour que de nuit. La mesure de l'aire d'influence de ces aménagements urbains, au-delà de leur emprise, sur la température de surface est en revanche difficilement quantifiable car du même ordre de grandeur que la taille des pixels dans les images sources (~100m).

Nous avons ensuite présenté des produits plus évolués :

- **Anomalies de température de surface en hiver**, avec des éléments de contextualisation basés sur Open Street Map. Ce produit est fortement limité par la résolution spatiale des données thermiques et permet de mettre en valeur seulement des anomalies de taille supérieure à ~100m. Il est globalement inadapté à la détection des anomalies thermiques à l'échelle des particuliers mais donne des informations pertinentes sur les grands ensembles, notamment dans le secteur industriel et commercial.
- **Indice de vulnérabilité à la chaleur (HVI)** par croisement des température de surface l'été avec des données socio-économiques. Ce produit à valeur ajoutée est très intéressant mais son interprétation mérite une attention particulière. Tout d'abord, le choix de l'heure d'acquisition influe largement sur le résultat. Le fait d'utiliser une heure d'acquisition de nuit permet de bénéficier d'une similitude entre températures de l'air et de surface et donc d'avoir une bonne représentativité spatiale de l'exposition à la chaleur. Ensuite, nous avons montré que sur Toulouse, avec l'image choisie, le HVI est peu influencé par la température de surface à cause de l'anti corrélation entre température et revenus au centre-ville. Le HVI est en revanche très influencé par la population à risque 0-2ans. Il est tout à fait possible de changer ces comportements en agissant sur les grandeurs et les poids utilisés dans la construction du HVI. Pour ce faire, nous avons fait le choix de mettre à disposition toutes les données intermédiaires utiles à la construction d'un ou plusieurs HVI *customisés*. Il nous paraît par exemple assez naturel d'opter pour des définitions différentes de HVI en fonction de leur usage. Le HVI proposé par défaut est pertinent pour l'élaboration d'un plan de gestion du risque sanitaire auprès des jeunes enfants. Un HVI utilisable pour la priorisation d'implémentation de végétation gagnerait par contre à utiliser un poids supérieur pour l'exposition à la chaleur qu'il entend réduire.

FIN DE DOCUMENT