

VARIABILITÉ ET INTERCOMPARAISON DES TEMPÉRATURES DES ZONES D'ACTIVITÉS ET COMMERCIALES, SELON DIFFÉRENTES CONDITIONS CLIMATIQUES, À TOULOUSE.

Guillaume DUMAS¹

¹ *Centre National de Recherches Météorologiques, université de Toulouse, 42 Avenue Gaspard Coriolis Toulouse, France, guillaume.dumas@toulouse-metropole.fr*

Résumé : Les zones industrielles et d'activités proposent de nombreuses variations urbanistiques d'un pays à un autre. Malgré une présence marquée dans l'organisation spatiale de nos territoires urbains, ces zones commerciales et d'activité ne sont pas forcément bien représentées dans les études de climatologie. Sur le territoire Toulousain, parmi les stations météo du réseau de mesure déployé ces dernières années, la zone climatique 8 « tissu d'activité » est représentée avec de multiples points de mesures dans des zones de bureaux, de commerces ou encore industrielles. Une inter-comparaison des températures de l'air de cette typologie a donc été menée sous deux angles : les différences de températures entre les différentes LCZ 8 par rapport aux références rurales et urbaines.

Mots-Clés : Zone climatique locale, îlot de chaleur urbain, température de l'air, zones industrielles.

Abstract : Industrial and activity zones offer many urban variations from one country to another. Despite a marked presence in the spatial organization of our urban territories, these commercial and activity areas are not well represented in climatology studies. In Toulouse, among the weather stations in the measurement network deployed in recent years, climate zone 8 "activity area" is represented with multiple measurement points in office, retail and industrial areas. An inter-comparison of the air temperatures of this typology was therefore carried out from two angles: the temperature difference between the different LCZ 8 compared to rural and urban references.

Keywords : Local Climate Zone, Urban Heat Island, Air temperature, industrial area.

Introduction

Pour étudier la variabilité de l'îlot de chaleur urbain sur son territoire, la métropole de Toulouse s'est dotée d'un réseau de stations météorologiques (Dumas et al., 2021). Pour déployer le réseau, l'approche des zones climatiques locales -LCZ- (Stewart et Oke, 2012) couplée à d'autres thématiques comme les reliefs ou encore la Trame Verte et Bleue (TVB), a été choisie (Dumas, 2021). L'une des particularités de l'approche par LCZ est de permettre les inter-comparaisons entre tissus urbains identiques et d'aller au-delà des études classiques d'ICU, où uniquement l'urbain dense est comparé au rural. Comme la LCZ 8, tissu d'activité, est la plus présente sur le territoire toulousain (en km²) avec celle du tissu résidentiel de type pavillon individuel (LCZ 6), le réseau de stations la couvre en plusieurs points. C'est une spécificité, comparée à d'autres réseaux du même type (Dubreuil et al., 2019 ; De l'apparant et al., 2015 ; Chapman & al., 2015) ou à des réseaux basés sur d'autres technologies comme les stations amateur chez les particuliers (Fenner & al., 2017) ou dans leurs véhicules (Marquès et al., 2021) qui ne couvrent pas nécessairement bien ces LCZ. Le nombre de sites d'observations à Toulouse permet donc de réaliser une inter-comparaison des températures de l'air de cette typologie, ce qui demeure peu présent dans la bibliographie. Enfin, dernière particularité, les LCZ d'activités à Toulouse sont présentes en périphérie, comme pour d'autres réseaux disposant d'une approche par LCZ (Skarbit & al., 2017; Zhang & al., 2021), mais également proches du centre ville.

1. Contexte : Sites d'observation et périodes considérées

Piochant dans la diversité territoriale des LCZ 8, huit sites sont équipés de capteurs. Ils couvrent des zones industrielles typiques, comme la zone Thibaud, Fondeyre ou En Jacca. Ce sont des espaces dédiés au BTP, au fret et à la logistique. Les structures bâties ne sont pas élevées mais le taux d'imperméabilisation est

important. D'autres sites concernent des zones de bureaux et/ou de commerces comme Basso Cambo, Montaudran ou Le Perget. Le bâti est principalement de type R+2 voire R+3 (10-12mètres). L'imperméabilisation est élevée mais la végétation est également présente. Les commerces sont de grandes structures bâties en métal (Decathlon, Boulanger, Truffaut, etc.). Purpan fait office de site composite, le point de mesure étant à l'intersection entre un groupe de petits commerces et de bureaux, le complexe de l'hôpital et un grand centre commercial. De plus, l'emplacement où est positionné le capteur est particulièrement traversé, avec des congestions urbaines répétées et quotidiennes, principalement dues à la jonction des périphériques et la proximité d'une artère qui mène au centre-ville. Enfin, le site de Nakache, est un espace atypique à de nombreux égards. Situé dans le centre de la ville de Toulouse sur l'île du Ramier, il se compose de grands bâtiments en métal entourés par la Garonne.

Pour comparer les températures de ces sites, deux stations rurales sont utilisées, l'une positionnée à l'orée de la forêt à l'ouest du territoire (commune de Pibrac) et la seconde sur les coteaux de l'est toulousain (commune de Mondouzil). La référence urbaine se compose de trois stations dans le centre ville.

Pour approfondir la question de la surchauffe de ces espaces, l'analyse se focalise sur l'été selon deux groupes de conditions météorologiques propices à l'ICU, à savoir les types de temps suivants (Hidalgo, 2018) :

- « très chaud/vent faible » et « chaud/SE » : les deux jours disposent de températures pouvant atteindre plus de 40°C. Le vent est faible (2m/s), soit du nord ouest, soit du sud est.

- « chaud/NO » : C'est le type de jour le plus fréquent en été avec plus de 50% des jours. La température est relativement élevée, avec une Tmax de 30°C (la Tmax moyenne est de 25°C), pour un vent de NO qui peut être relativement fort avec des pics à 4 et 6 m/s.

Afin de profiter du nombre de stations le plus grand, seul l'été 2020 et 2021 sont conservés et plus particulièrement les mois de juillet et d'août.

Les modèles de stations sont strictement identiques (DAVIS Vantage pro II), situées sur des tranches de hauteurs similaires (3,2m à 4,12m) car le gradient température est négligeable (Pigeon et al ., 2007). Enfin, l'exposition varie très légèrement voire pas du tout.

2. Résultats

De nuit comme de jour, quel que soit le type de temps considéré, les différentes zones d'activités étudiées révèlent des écarts de température de l'ordre d'un peu plus d'un degré entre elles (figure 1). Ainsi elles oscillent entre 1,1°C et 2,3°C d'écart avec le rural entre minuit et le lever du soleil ; entre 0°C et 1°C le jour et entre 1,7°C et 3°C un peu avant le coucher du soleil jusqu'à minuit. Quels que soient les types de temps observés, les évolutions de température suivent la même courbe que la différence urbain-rural pour chaque groupe de type de temps considéré (figure 1).

2.1. L'effet de la nébulosité et des durées d'exposition

Tout comme les écarts de température entre l'urbain et le rural, les différences entre les zones d'activités par rapport au rural sont moins élevées lors des type de temps « chaud été/NO » que celles des situations « chaud/SE » et « très chaud/vent faible ». En effet lors des jours « chaud/NO », la nébulosité moyenne est relativement élevée, à savoir 4,7 sur 8, l'influence du soleil est donc amoindrie. A titre de comparaison la nébulosité moyenne du groupe type de temps chaud/SE et très chaud/vent faible est de 0,87 sur 8. Nous observons ainsi des variations de températures relativement faibles entre la nuit et le jour (environ 0,6°C) puisque le couvert nuageux est plus important. En comparaison, l'absence de nébulosité permet aux jours « chaud/SE » et « très chaud/vent faible » de disposer de variations plus marquées avec le rural, avec des maximums proches de 6°C d'écart (Purpan et Basso Cambo).

De plus les températures décroissent la nuit relativement au même rythme que l'urbain, donnant ainsi des écarts de températures similaires. Les bâtiments de ces espaces d'activités, moins élevés et dotés de matériaux différents du centre ville, comme les métaux, couplés à une disposition du bâti aérée, leur permettent donc d'avoir le même comportement de refroidissement que l'urbain. Celui-ci étant plus dense

mais avec des matériaux qui emmagasinent théoriquement moins de chaleur. De plus, les activités humaines sont limitées après le coucher du soleil, ce qui facilite le refroidissement.

Une nuance est cependant à noter, avant le coucher du soleil, les températures des LCZ 8 ne décroissent pas, créant un écart de température avec le rural supérieur à celui de l'urbain par rapport au rural. Cela est dû à des expositions au soleil plus longues des LCZ 8 d'activités liées à des facteurs de vue du ciel importants dans ces espaces comparés à ceux des stations du centre-ville.

variables/nom station	Urbain-rural	LCZ 8	Nakache	Basso Cambo	Montaudran	Perget	Enjacca	Purpan	Thibaud	Fondeyre
TT	Très chaud/vent faible - chaud/SE (79)		Très chaud/vent faible -chaud/SE (79)							
Nombre de jour/Qualité	35/robuste		35/Robuste							
Tous le jeu de données	1.88	1.15	1.51	1.24	1.39	0.75	0.86	1.64	1.37	1.66
Lever du soleil (ICU classique)	2.76	1.52	2.13	1.58	1.61	1.2	1.09	2.11	1.71	2.44
Lver plus 3h	0.86	0.53	0.64	0.73	0.76	0.15	0.35	1	0.77	0.8
Zénith	0.98	0.46	0.79	0.43	0.82	0.08	0.17	0.64	0.52	0.62
Zénith plus 3h	1.04	0.57	0.74	0.58	1	0.23	0.33	0.86	0.67	0.84
Coucher du soleil	1.68	1.42	1.49	1.55	1.7	1.11	1.25	2.03	1.64	1.95
coucher du soleil plus 2h	3.23	2.16	2.69	2.29	2.37	1.61	1.84	2.93	2.51	2.74
milieu de la nuit (nadir)	2.8	1.62	2.24	1.75	1.72	1.15	1.22	2.31	1.86	2.38
jour	1.24	0.76	0.99	0.84	1.06	0.39	0.53	1.14	0.95	1.11
nuit	2.69	1.63	2.16	1.74	1.86	1.17	1.23	2.22	1.94	2.32

variables/nom station	LCZ 8	Nakache	Basso Cambo	Montaudran	Perget	Enjacca	Purpan	Thibaud	Fondeyre
TT	8	8							
Nombre de jour/Qualité	37/Robuste	27/moyen							
Tous le jeu de données	0.7	0.17	0.73	0.28	1.27	1.12	0.51	0.47	0.26
Lever du soleil (ICU classique)	0.9	0.34	0.93	0.45	1.5	1.34	0.68	0.67	0.54
Lver plus 3h	0.5	0.08	0.57	0.23	1.02	0.79	0.43	0.18	0.23
Zénith	0.52	-0.03	0.57	0.13	0.95	0.86	0.56	0.3	-0.03
Zénith plus 3h	0.57	0.08	0.65	0.13	1.02	0.98	0.48	0.35	-0.04
Coucher du soleil	0.51	0.09	0.52	0.08	0.99	0.93	0.17	0.38	0.06
coucher du soleil plus 2h	0.97	0.33	0.93	0.42	1.71	1.47	0.51	0.68	0.46
milieu de la nuit (nadir)	0.99	0.35	0.93	0.34	1.69	1.51	0.65	0.69	0.55
jour	0.55	0.07	0.6	0.17	1.04	0.92	0.44	0.31	0.1
nuit	1.03	0.39	1.02	0.61	1.68	1.5	0.61	0.82	0.53

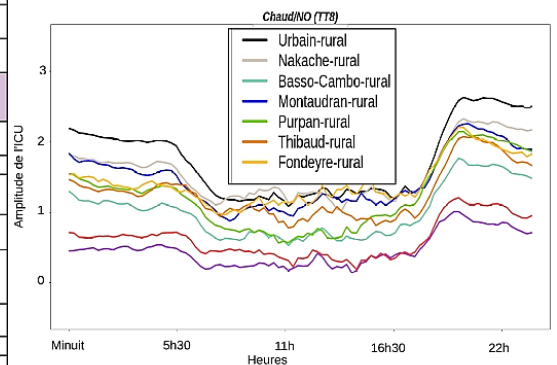
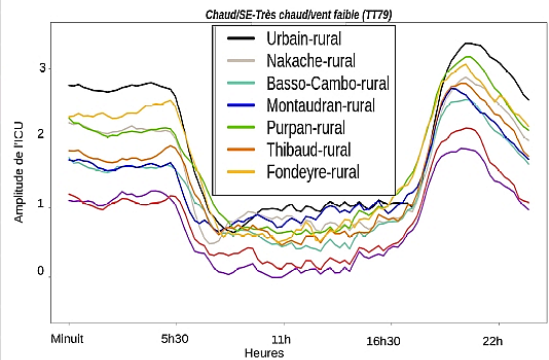


Figure 1. Partie supérieure : tableaux des écarts de températures moyens (en °C), entre les stations des zones d'activités (LCZ 8) et les rurales (Bouconne et Mondouzil), selon différentes périodes du jour, sous conditions météorologiques d'été: type de temps chaud/SE et très chaud/vent faible et type de temps chaud/NO.

Partie inférieure : évolution de l'écart de température moyen sur 24 h (en °C) entre les stations des zones d'activités (LCZ 8) et les rurales (Bouconne et Mondouzil), sous conditions météorologiques d'été: type de temps chaud/SE et très chaud/vent faible et type de temps chaud/NO.

2.2. L'effet des espaces environnants

La station qui présente des températures les plus proches de celles du rural, et donc la plus « fraîche » des stations, est celle du Perget. Elle est située à l'ouest de Toulouse et proche de la forêt de Bouconne. Elle montre un écart de température avec le rural de respectivement de 0,47°C et 0,67°C pour le type de temps « chaud/NO » et « chaud/SE » et « très chaud/vent faible ». Elle est suivie de près par En Jacca, elle aussi située à l'ouest du territoire, à 2km à vol d'oiseau du Perget. Les deux stations présentent des caractéristiques divergentes. En effet En Jacca est une zone d'activité du BTP et de logistique. La station est donc entourée dans un rayon de 250 mètres de petites et moyennes (moins de 100 m² d'emprise au sol) structures métalliques basses (R+1) et par des espaces très ouverts (espace entre bâti supérieur à 25m), bien que peu végétalisés et dotée de sols nus. Dans un rayon de 500 mètres autour de la station, nous observons un peu plus de variété avec des friches mais également deux entrepôts massifs de logistique (R+2 et plus de 1000 m² d'emprise au sol). La zone du Perget, quant à elle, est un espace mixte, nous énumérons dans un rayon de 250 mètres des bureaux (R+3), des bâtiments commerciaux imposants (R+2) et un espace vert doté d'un groupement d'arbres. Dans un rayon de 500 mètres nous notons du résidentiel mais

également deux carrières des sites de fabrications de tuiles en terre cuite pour les toitures. Ces deux stations sont donc situées à distance équivalente de la ville à l'ouest, à altitude équivalente, dans deux espaces aux morphologies distinctes bien que de même LCZ.

Elles disposent des températures les plus fraîches du jeu de données des LCZ8 et sont sensiblement identiques dans leurs évolution diurne l'une par rapport à l'autre, sur tout type de temps (d'été). Deux raisons sont à avancer, d'abord la distance au centre, 11 km environ, correspond à deux fois plus que les zones de Thibaud, Fondeyre, Basso-Cambo et Montaudran qui sont aux alentours de 5 km du centre. Ensuite, elles sont à l'orée de l'urbain, avec à l'ouest de ces deux espaces des espaces végétalisés. Ce sont des espaces de fortes ruptures de températures avec leurs alentours, favorisant ainsi les effets de ventilation, d'autant plus que des effets de topographie sont à envisager pour l'ouest de la station du Perget avec le passage de l'Aussonnelle (rivière).

2.3. L'effet des vents

Les vents impactent l'intensité de l'ICU (Balling et al., 1987), le dissipant souvent en quasi totalité à plus de 6m/s (Oke et al., 2017). Cependant peu d'études lient zones climatiques, vents et écarts de températures. Pour les zones d'activités, ou le bâti est ouvert et l'indice de rugosité inférieur à l'urbain dense, il était pertinent d'aborder les écarts de températures sous ce prisme de lecture. Il en résulte que l'effet des vents est perceptible. En effet les sites d'observations situés sous l'influence du centre ville donnent des températures plus élevées que ceux situés en amont.

Pour mettre en exergue ce phénomène, sont isolés les jours avec vent du NO >3m/s pour le type de temps chaud/NO et de vent de SE >3ms selon le type de temps chaud/SE. Ceci représente un effectif respectif de 21 jours (Figure 2).

variables/ nom station	Urbain- rural	Nakache	Basso Cambo	Montaud ran	Purpan	Thibaud	Fondeyr e
TT	T°ès chaud/vent faible -chaud/ SE (79)	Chaud/SE (7)					
Nombre de jour/Qualité	5/faible	5/faible					
Tous le jeu de données	1.32	0.8	0.87	0.7	1.38	0.86	1.19
Lever du soleil (ICU classique)	2.81	2.33	2.31	1.51	2.56	2.27	2.5
Lver plus 3h	0.46	-0.01	0.74	0.29	1.14	0.47	0.78
Zénith	0.58	-0.03	0.01	0.3	0.63	0.01	0.14
Zénith plus 3h	0.53	-0.14	-0.08	0.32	0.65	0.01	0.25
Coucher du soleil	0.7	0.21	0.23	0.32	1.02	0.21	0.82
coucher du soleil plus 2h	1.48	1.11	0.84	0.7	1.41	0.76	1.5
milieu de la nuit (nadir)	2.74	2.27	2.27	1.53	2.63	2.38	2.56
jour	0.78	0.21	0.43	0.41	1	0.39	0.68
nuit	1.61	1.24	1.02	1.04	1.39	1.04	1.6

variables/ nom station	Urbain- rural	Nakache	Baso Cambo	Montaudr an	Purpan	Thibaud	Fondeyre
TT	Chaud/NO (8)	Chaud/NO (8)					
Nombre de jour/Qualité	21/moyen	21/moyen					
Tous le jeu de données	1.7	1.5	0.94	1.41	1.16	1.19	1.35
Lever du soleil (ICU classique)	1.96	1.61	1.05	1.51	1.28	1.2	1.32
Lver plus 3h	1.35	1.19	0.76	1.07	0.86	1.1	1.06
Zénith	1.28	1.28	0.64	1.1	0.71	0.95	1.14
Zénith plus 3h	1.38	1.27	0.65	1.19	0.89	0.94	1.38
Coucher du soleil	1.61	1.49	0.99	1.47	1.37	1.18	1.47
coucher du soleil plus 2h	2.31	2.02	1.37	1.96	1.75	1.63	1.8
milieu de la nuit (nadir)	2.16	1.76	1.19	1.77	1.46	1.41	1.49
jour	1.43	1.32	0.77	1.21	0.95	1.07	1.23
nuit	2.22	1.89	1.24	1.83	1.59	1.5	1.64

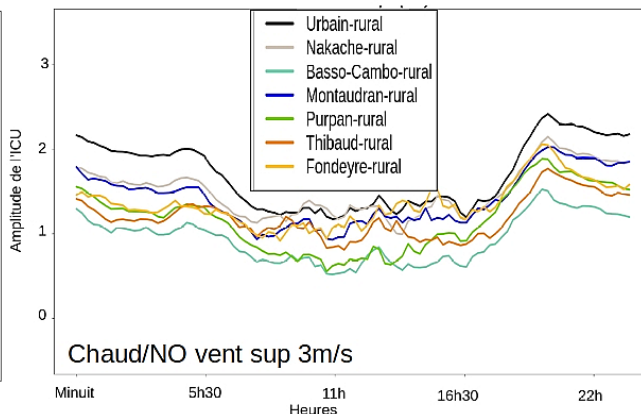
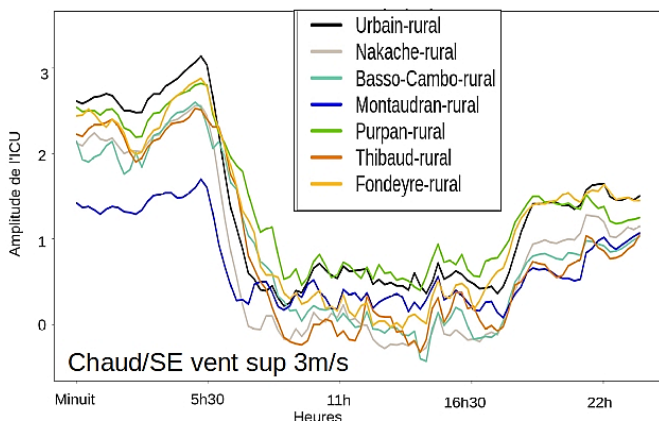


Figure 2. Partie supérieure : écarts de températures moyens (en °C), entre les stations d'activités (LCZ 8) et les rurales (Bouconne et Mondouzil), selon différentes périodes du jour, selon des types de temps en été « chaud/SE » et « chaud/NO », avec un vent moyen supérieur à 3m/s.

Partie inférieure : évolution de l'écart de température moyen sur 24 h (en °C), entre les stations des zones d'activités (LCZ 8) et les rurales (Bouconne et Mondouzil), selon des types de temps en été « chaud/SE » et « chaud/NO », avec un vent moyen supérieur à 3m/s.

Bien que l'effectif de jours soit limité pour les conditions de vent de SE, des informations sont observables. Il ressort par exemple que sous condition de vent de SE, Montaudran, située au sud-est de la ville à 5km du centre, est clairement plus fraîche, de l'ordre de 1°C la nuit, que les autres zones d'activité. En journée, la station à l'ouest de la ville, Purpan, située à 3,5km du centre, semble être impactée par ce dernier car soumise à des températures plus élevées que l'urbain, d'où une différence de température supérieure à celle du centre par rapport au rural. L'influence est cependant faible, de l'ordre de quelques dixièmes de degrés. De plus, en condition de vent du SE, Purpan dispose quasi-systématiquement des écarts les plus élevés avec le rural, quel que soit le moment de la journée considéré. En situation de vent de NO, Purpan semble profiter des effets du vent en journée car les écarts de températures sont moins élevés que lors des situations de vent de SE, proportionnellement aux comportements des autres stations. Enfin, pour les stations Basso-Cambo et Thibaud, situées au sud-ouest, les vents impactent peu les différences de températures avec le rural, n'étant pas dans des situations par rapport à l'urbain. Fondeyre, au nord du centre, paraît impactée en milieu d'après-midi.

Seules donc les stations à une distance modérée (moins de 5km) du centre-ville et dans l'axe des vents dominants voient leurs comportements thermiques influencés. Cependant les variations observées sont faibles.

Des espaces à surveiller

Plusieurs investigations restent encore à mener pour les LCZ de tissu d'activité. En premier lieu il conviendrait d'accroître le nombre de stations positionnées sur ces espaces, afin d'approfondir ces analyses, à la fois sur la variabilité du comportement thermique entre LCZ8, mais aussi en relation avec les autres zones proches. Il reste par exemple, au nord de Toulouse, une large LCZ 8 sans point de mesure. Cet espace pourrait servir aussi de comparaison avec les zones du Perget et d'En Jacca car il est également situé à plus de 10 km du centre mais sans les espaces végétalisés dans les alentours proches. Ensuite il n'y a pas de station placée sur un centre-commercial. Plusieurs sites sont éligibles et présentent des intérêts. Nous évoquons le centre E. Leclerc de Blagnac pour pouvoir comparer avec le centre-ville de cette commune qui est particulièrement élevé en températures. Il y a également à proximité un grand espace vert avec la station des Quinze Sols (proche de la Garonne), la comparaison de ces trois points peuvent mettre en évidence un îlot de chaleur sur la commune de Blagnac.

Observer le changement d'occupation du sol représente un deuxième axe de travail à mener. En effet, certaines zones classées LCZ 8 évoluent, comme le site de Nakache qui a déjà aujourd'hui changé de visage. En effet deux bâtiments de plusieurs milliers de mètres carrés ont été détruits et un futur parc est en construction dans le cadre de la requalification de l'île du Ramier. Les stations équipées (16 sur le site et ses alentours) vont monitorer et tenter de quantifier le gain apporté par cette requalification, d'autant plus que, comme nous l'avons vu, la station Nakache est aujourd'hui un point chaud, qui ne semble donc pas tirer profit de ses espaces environnants, excepté la nuit.

Enfin, un point est à mettre en exergue, les zones d'activités sont aujourd'hui des territoires d'enjeux urbanistiques pour de nombreux territoires, malgré le taux faible d'études les concernant (Lejoux et Charieu, 2019). La direction de l'aménagement de Toulouse s'y intéresse par exemple, que ce soit par rapport aux nouvelles lois sur l'imperméabilisation des sols ou bien la quantité de foncier public disponible dans le cadre du projet 100 000 arbres de Toulouse. Ces espaces attirent aussi de nouvelles organisations territoriales (Lejoux, 2018). Par exemple, la construction de la future ligne de métro qui relie les LCZ 8 des bureaux d'Airbus du sud-est de la ville à ceux de l'ouest de la ville transforme ces espaces conçus initialement pour la voiture vers des espaces de mobilités douces. Ces modifications s'accompagnent ainsi d'interrogations sur la prise en compte du confort thermique en journée au même titre que d'autres LCZ.

Crédit : Le travail présenté ici est tiré du chapitre V d'une thèse soutenue en 2021 non publiée encore : Dumas G., « *Co-construction d'un réseau d'observation du climat urbain et de services climatiques associés : cas d'application sur la métropole Toulousaine* », thèse de doctorat soutenue le 23/03/2021.

Remerciement : Je remercie la métropole de Toulouse d'avoir financé cette recherche.

Bibliographie :

Balling Jr, R. C., & Cerverny, R. S. , 1987, Long-term associations between wind speeds and the urban heat island of Phoenix, Arizona. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **26(6)**, 712-716.

De Lapparent, B., Roux, J., Richard, Y., Pohl, B., Bientz, S., Codet-Hache, O., ... & Thévenin, T. , 2015, Mesures de la température et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain à Dijon. *In 28ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie* (pp. 257-262). Association Internationale de Climatologie.

Dumas, G., Masson, V., Hidalgo, J., Edouart, V., Hanna, A., & Poujol, G. , 2021, Co-construction of climate services based on a weather stations network: Application in Toulouse agglomeration local authority. *Climate Services*, **24**, 100274.

Dumas G., 2021, *Co-construction d'un réseau d'observation du climat urbain et de services climatiques associés : cas d'application sur la métropole Toulousaine*, thèse de doctorat, Université Paul Sabatier-Toulouse III.

Dubreuil, V., Foissard, X., Nabucet, J., Thomas, A., & Quénol, H. , 2020, Fréquence et intensité des îlots de chaleur à rennes: bilan de 16 années d'observations (2004-2019). *Climatologie*, **17**, 6.

Hidalgo, J., & Jougla, R. , 2018, On the use of local weather types classification to improve climate understanding: an application on the urban climate of Toulouse. *PLoS one*, **13** (12), e0208138.

Lejoux, P., & Charieau, C. , 2019, La zone d'activités économiques: objet urbain non identifié?. *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement. Territory in movement Journal of geography and planning*, **43**.

Lejoux P., 2018, Quelle place pour la zone d'activités économiques dans la fabrique de la ville contemporaine ?, *in* G. Baudelle, G. Gaultier, *Les nouvelles fabriques de la ville. Objets, référentiels et méthodes*, Rennes : Presses Universitaires de Rennes, pp. 25-32.

Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. , 2017, *Urban climates*. Cambridge University Press.

Marquès, E., Masson, V., Naveau, P., Mestre, O., Dubreuil, V., & Richard, Y., 2022. Urban heat island estimation from crowdsensing thermometers embedded in personal cars. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **103** (4), E1098-E1113.

Pigeon, G. , 2007, *Les échanges surface-atmosphère en zone urbaine-projets CLU-ESCOMPTE et CAPITOU*, thèse de doctorat, Université Paul Sabatier-Toulouse III.

Stewart, I. D., & Oke, T. R. , 2012, Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **93**(12), 1879-1900.