



Ilot de chaleur urbain et confort thermique sur l'Eurométropole de Strasbourg : Étude de cas du pic de chaleur du 18 au 20 juin 2022

Sacha ROSSET, Faculté de géographie et d'aménagement de Strasbourg
David PELOT, Ingénieur en météorologie, Météo France/Clim'Ability Design



Parc d'innovation d'Illkirch

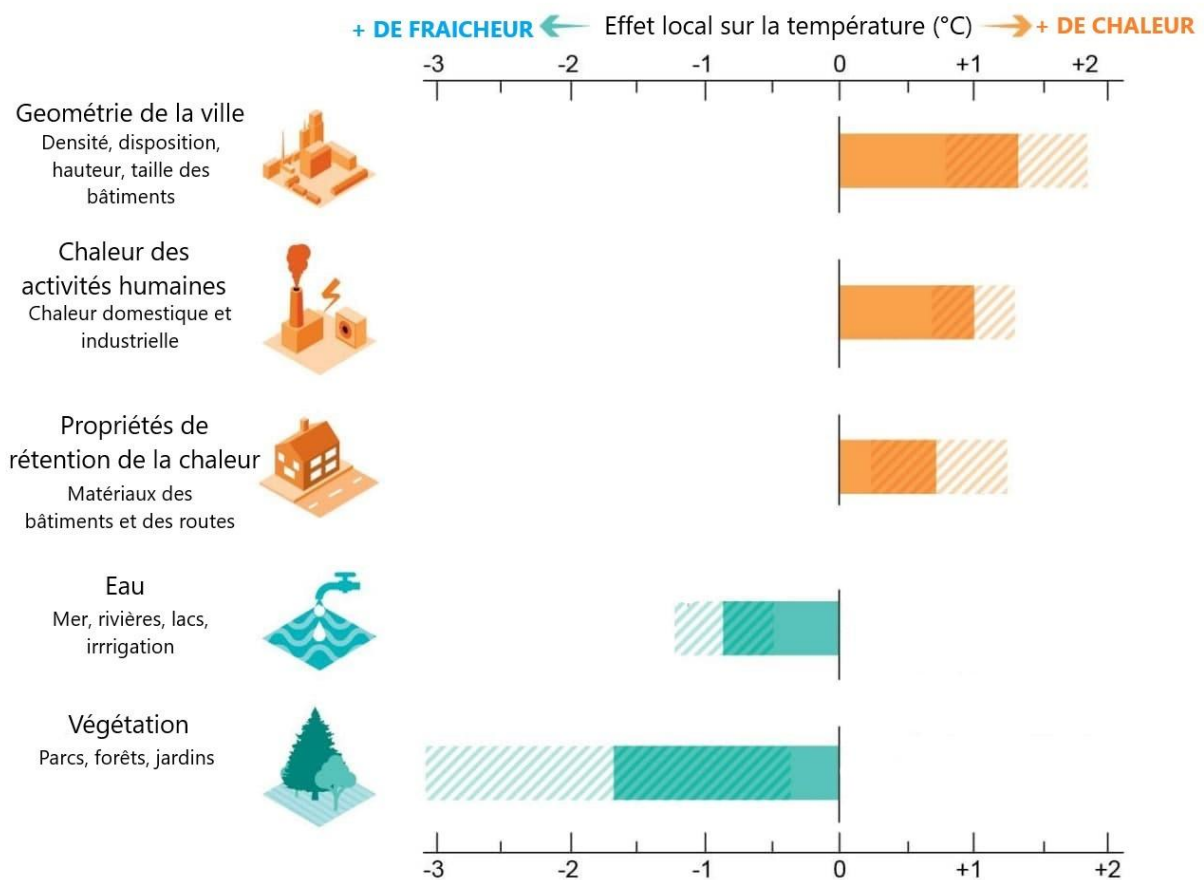
1. Résumé

Dès la première semaine du stage qui débute le 08 juin 2022, Météo France annonce la possibilité d'un fort coup de chaud très précoce pour la saison sur la quasi-totalité du territoire français. L'anticipation à plusieurs jours de l'échéance de cette vague de chaleur nous a permis de mettre en place une campagne de mesures dans le cadre du stage, afin d'évaluer le phénomène d'îlot de chaleur urbain pour une partie de l'Eurométropole de Strasbourg.

Le but de cet article est, dans un premier temps, d'illustrer ce phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) avec des outils cartographiques pour proposer de nouvelles méthodes d'étude et d'analyse. Dans une seconde partie, il sera question d'une étude de terrain menée durant le mois de juin dans le parc d'innovation d'Illkirch pour mieux comprendre le phénomène d'îlot de chaleur urbain, son impact et ses dynamiques de fonctionnement. Ces données seront mises en parallèle avec celles d'autres capteurs sur l'Eurométropole de Strasbourg et de stations météorologiques à proximité.

Les villes et le changement climatique

Les villes sont souvent plus chaudes que les zones rurales environnantes en raison de facteurs qui piègent puis libèrent la chaleur et d'un manque de facteurs rafraichissants comme l'eau et la végétation.



Les villes et le changement climatique ; IPCC AR6 Chapitre 10

2. Introduction

L'évolution rapide de notre climat ces dernières décennies implique des modifications majeures dans la fréquence, l'intensité et la durée d'aléas météorologiques extrêmes. En France et plus particulièrement en région Alsace, les vagues de chaleur ne dérogent pas à cette règle : 11 phénomènes observés entre 1947 et 1999, contre 23 depuis le début du 21^e siècle. Une vague de chaleur se traduit par des températures minimales et maximales anormalement chaudes, et ce pendant plusieurs jours consécutifs. Elle peut conduire à la mise en place d'une vigilance météorologique par les services de Météo France.

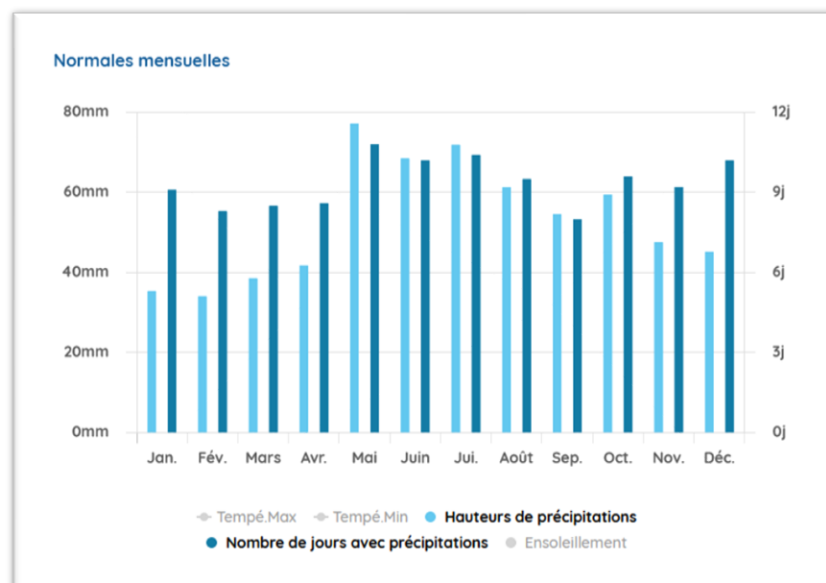
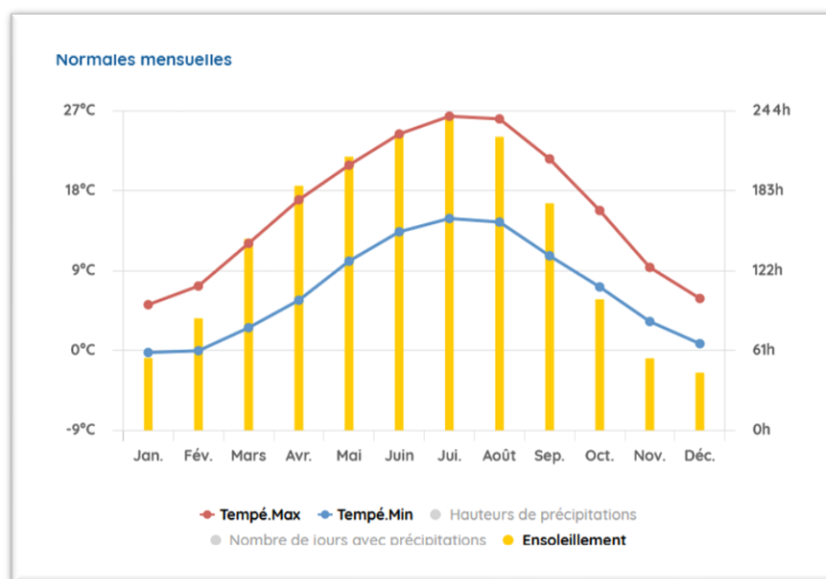
Le projet Clim'Ability Design a permis d'identifier que ces vagues de chaleur en saison estivale sont la principale préoccupation des entreprises de la région, en considérant l'ensemble des aléas météorologiques qui peuvent les impacter. La combinaison de fortes chaleurs la journée et de nuits tropicales (températures ne descendant pas en-dessous de 20 °C) est particulièrement nuisible pour la santé, en amplifiant le stress dû à la chaleur. Les populations vulnérables sont les principales concernées, cependant la santé de la population dans son ensemble peut être touchée lors d'une canicule sévère. Les vagues de chaleur ont un fort impact sur la santé humaine : coups de chaleur, fatigue, difficultés de concentration, déshydratation. Les ressources humaines de l'entreprise sont donc très concernées par l'augmentation de ce phénomène et peuvent subir des incidences sur l'organisation de l'entreprise.

Les impacts des vagues de chaleur sont aggravés en ville par un phénomène appelé « îlot de chaleur urbain ». L'îlot de chaleur urbain est notamment dû à l'absence de végétation en ville. En journée, à la campagne, la végétation utilise de l'eau et de l'énergie solaire pour la photosynthèse. La végétation « transpire », évaporant l'eau présente en profondeur dans le sol. Grâce à cette évapotranspiration, végétaux et sols n'accumulent pas l'énergie solaire reçue au cours de la journée. En ville, l'énergie solaire est au contraire emmagasinée dans les matériaux des bâtiments et le bitume des routes et des parkings, des surfaces imperméables empêchant l'évaporation de l'eau des sols. Lorsque la nuit arrive, cette énergie est restituée à l'atmosphère urbaine. La nuit, l'air au-dessus de la ville se refroidit donc moins vite qu'à la campagne.

C'est donc au cœur de la nuit que l'écart de température entre ville et campagne est maximum. En général, l'îlot de chaleur urbain commence à croître en fin d'après-midi et augmente au coucher du soleil pour atteindre son maximum au milieu de la nuit. Par nuit calme, il se crée alors une sorte de « bulle de chaleur » sur la ville.

3. Contexte climatique pour l'Eurométropole de Strasbourg

L'Eurométropole de Strasbourg est située à environ 150m d'altitude dans le fossé Rhénan, entre le massif des Vosges à l'ouest et le massif de la Forêt Noire à l'est. La région strasbourgeoise est soumise à un climat de type semi-continentale. Les étés y sont chauds avec une amplitude thermique marquée entre le jour et la nuit, et les hivers parfois rudes, avec un nombre de jours de gel et de neige plus élevé que sur le reste du territoire français. Les précipitations annuelles sont faibles et irrégulières comparées aux autres régions françaises. Ceci s'explique par la présence d'une protection naturelle contre les vents d'ouest dominants que constitue le massif des Vosges (effet de foehn), notamment en hiver où les précipitations sont essentiellement dues aux perturbations en provenance de l'Atlantique. En revanche, il pleut davantage en été du fait de la prédominance des orages. Les vents dominants sont de secteur sud et de secteur nord, donc parallèles au fossé rhénan.



Normales mensuelles 1991-2020 pour Strasbourg-Entzheim ; Météo France

4. Méthodologie

4.1. Ilot de chaleur urbain sur l'Eurométropole de Strasbourg

Cet article a pour but de compléter des études déjà menées concernant le phénomène d'îlot de chaleur urbain pour l'Eurométropole de Strasbourg. En effet, il existe plusieurs modélisations de l'ICU de Strasbourg comme les travaux de l'ADEUS en 2019 ou encore ceux de Pierre Kastendeuch, Georges Najjar, Pierre Lacarrere et Jérôme Colin parus en 2010.

Ces travaux se basent généralement sur le concept de « Local Climate Zones »), dont l'Eurométropole de Strasbourg a développé un outil qui permet de les visualiser sur son territoire. Ce système de classification des sites urbains et ruraux permet de définir des entités spatiales homogènes selon l'occupation du sol et le type de bâti s'il y en a. Chaque LCZ génère un climat spécifique sur une surface qui n'excède pas quelques kilomètres au carré.

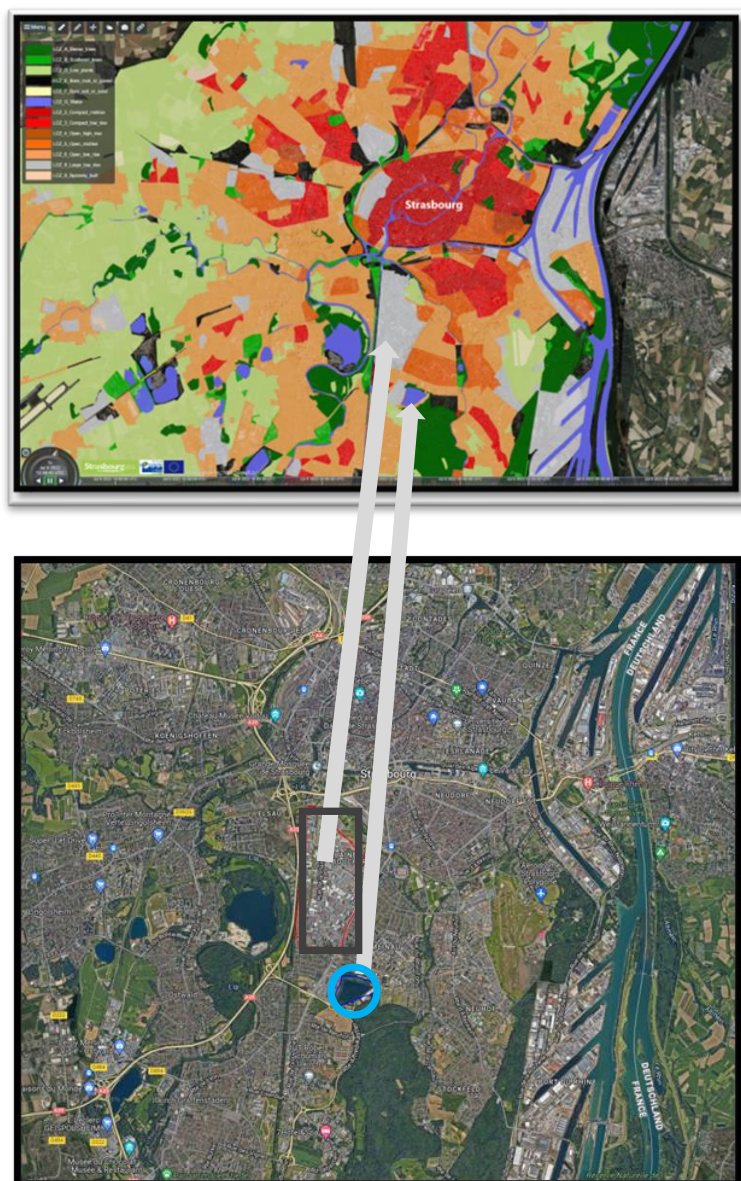
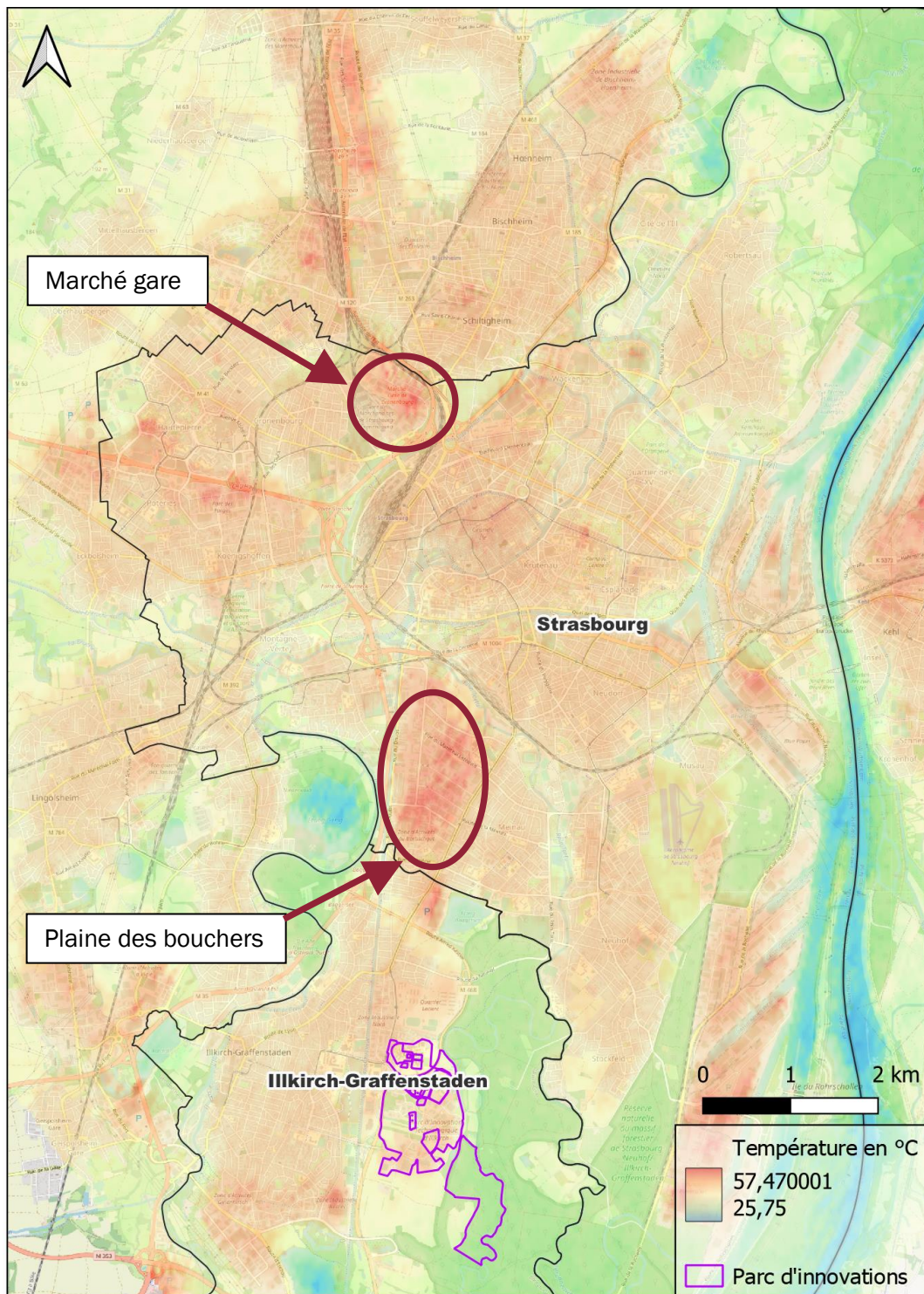


Illustration des LCZ avec la plaine des bouchers (zone industrielle pauvre en végétation avec des bâtiments larges mais pas très hauts) et le lac de Baggersee ; Google Maps



Températures mesurées en surface le 15 juin 2022 à 21h23 ; Ecostream

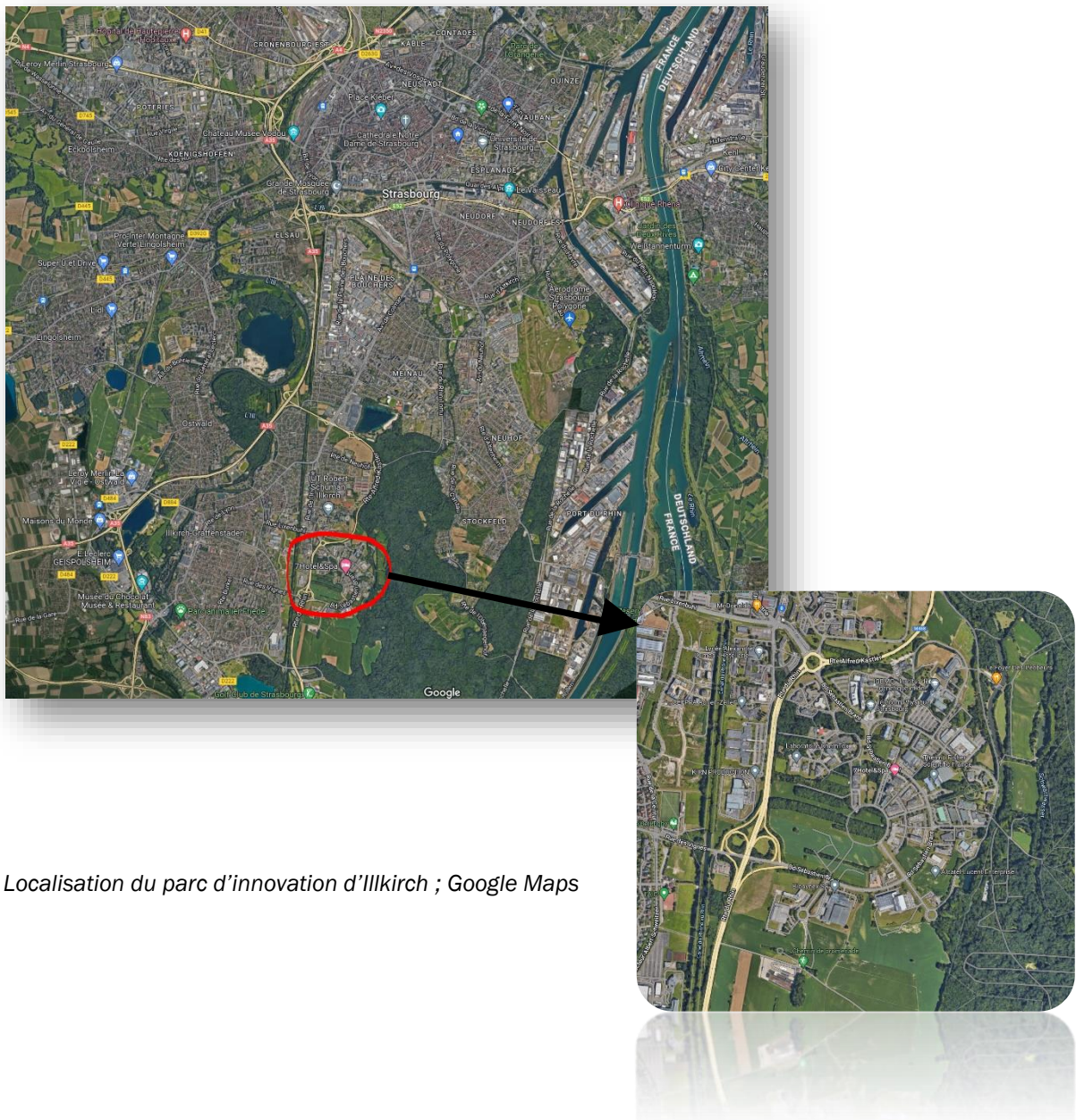
La carte ci-dessus a été réalisée à l'aide des données de la mission scientifique ECOSTRESS mise en place par le laboratoire Jet Propulsion de la NASA. Les instruments ECOSTRESS placés à bord de la station spatiale internationale ISS permettent d'obtenir des données de températures de surface précises et régulièrement mises à jour. Les données ont été ensuite implémentées sur un fond de carte par le biais du logiciel QGIS.

Pour la réalisation de cette carte il était pertinent d'obtenir des données de températures mesurées en début de soirée. Il a donc fallu trouver une image récente, prise en début de soirée et sans couverture nuageuse. L'image utilisée date du 15 juin 2022 et elle a été prise à 21 h 23.

La date du 15 juin a été choisie étant donné les températures diurnes relativement élevées (31.7 °C de maximale mesurée à la station météorologique de l'aéroport d'Entzheim) même en fin d'après-midi, ce qui est un critère important pour qu'un îlot de chaleur urbain apparaisse. La couverture nuageuse n'était pas importante ce qui est nécessaire pour avoir des données de températures de surface fiables.

La carte met bien en évidence les zones végétalisées et l'hydrographie ainsi que leurs rôles dans la réduction des températures, représentées par des couleurs bleues et vertes. A l'inverse, les points chauds de la carte se situent sur des zones très minérales, avec une forte densité des bâtiments, des activités anthropiques émettrices de chaleur ainsi qu'une carence en eau et en végétation. Le marché gare et la zone industrielle de la plaine des bouchers sont identifiées comme les lieux les plus chauds en ce début de soirée, et vont ainsi contribuer à relâcher une quantité importante de chaleur tout au long de la nuit à dans les quartiers avoisinants.

4.2. Étude de cas pour le parc d'innovation d'Illkirch

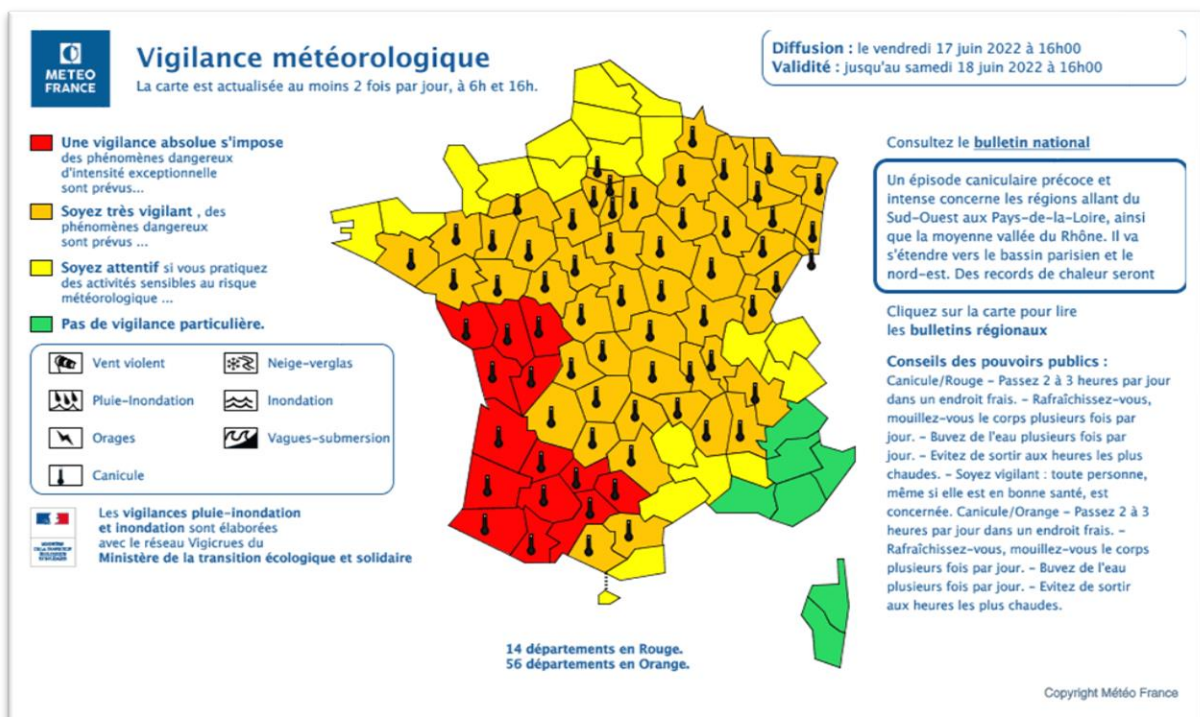


Localisation du parc d'innovation d'Illkirch ; Google Maps

Le parc d'innovation d'Illkirch se situe à quelques kilomètres au sud du centre-ville de Strasbourg, dans la commune d'Illkirch-Graffenstaden. Il occupe une superficie totale de 170 hectares dont une surface bâtie de 200 000 m². Une centaine d'établissements occupe les terrains avec un effectif global de 8000 personnes sur site, dont 3000 salariés. Les secteurs d'activité des entreprises sont majoritairement dans les sciences de la vie, d'autres dans les technologies de l'information et de la communication, l'environnement ou encore les transports.

Le choix de notre étude sur ce secteur est donc motivé par la présence de nombreuses entreprises de diverses activités, dont Météo France Nord-Est qui possède ses locaux sur le parc d'innovation. En effet, le projet Clim'Ability Design travaille en collaboration avec des entreprises (TPE et PME exclusivement) afin d'identifier avec elles leurs vulnérabilités dans la perspective du changement climatique. Les nombreux diagnostics réalisés dans le cadre du projet ont montré une forte vulnérabilité de la majorité des entreprises du Rhin supérieur aux vagues de chaleur et aux canicules.

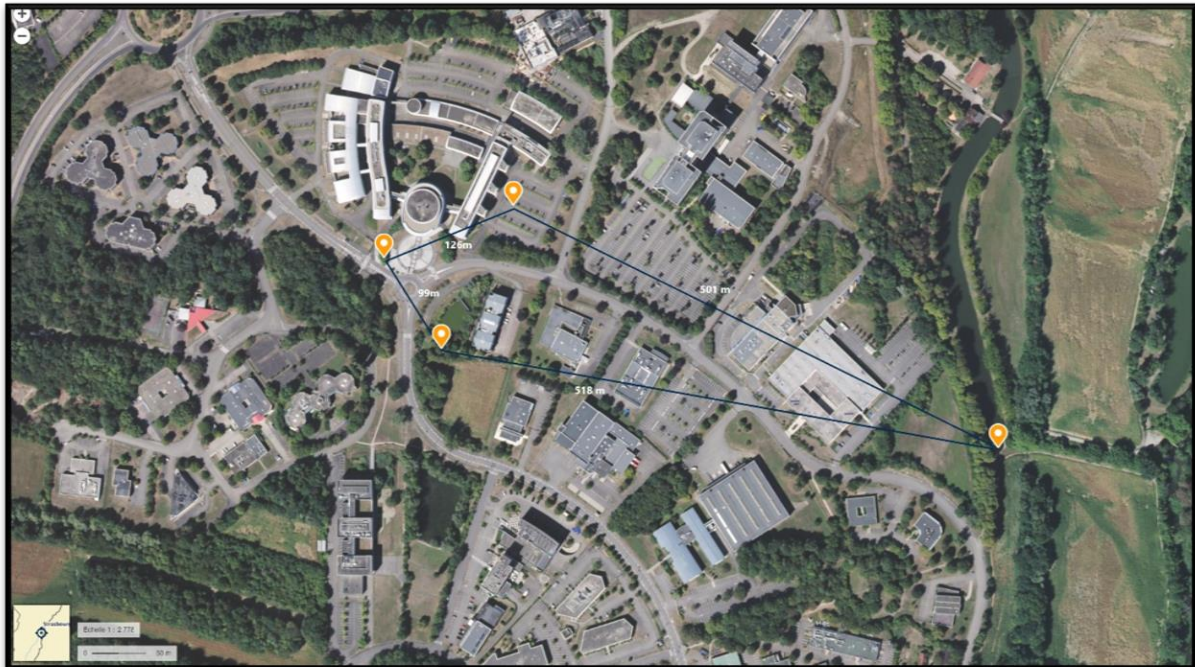
Les objectifs principaux sont de mesurer les effets d'une vague de chaleur à l'échelle locale pour la zone du parc d'innovation, ainsi que ses impacts sur la santé humaine. Pour ce faire, une campagne de mesures de plusieurs jours a été mise en place à l'annonce d'un pic de chaleur mi-juin 2022. Une vigilance orange canicule a été lancée à 16h le vendredi 17 juin, prévoyant en Alsace un pic de chaleur avec des températures extrêmement chaudes pour la saison. La situation météorologique était donc propice à la réalisation de notre étude.



Vigilance météorologique diffusée le vendredi 17 juin 2022 à 16h ; Météo France

Pendant toute la durée de la campagne de mesures, nous avons recueillis les données de 2 paramètres météorologiques : la température de l'air et l'humidité de l'air. Les mesures ont débuté le vendredi 17 juin à 12h et se sont terminées le lundi 20 juin à 12h, avec un pas de temps d'une minute entre chaque mesure. Au total, ce sont 4 capteurs qui ont été installés sur le parc d'innovation, dans des lieux où l'occupation des sols et l'environnement autour des capteurs étaient assez différents les uns des autres. Les choix d'emplacements des capteurs ont aussi été motivés par la présence régulière de personnes qui sont potentiellement exposées à un stress thermique.

Les capteurs utilisés sont des enregistreurs de données TESTO 174H, avec des précisions de mesures de température et d'humidité qui sont respectivement de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ et $\pm 3\% \text{HR}$. Ils ont été placés dans des endroits ombragés, idéalement à l'abri des rayons directs du soleil, exposés au vent et à environ 1 m 50 du sol. Les capteurs étaient relativement proches les uns des autres, à moins de 100 mètres de distance, hormis celui placé chemin du Routoir 500 mètres plus loin.



Emplacements des 4 capteurs sur le parc d'innovation ; Géoportail

Un premier capteur a été installé vers les tables de pique-nique de l'espace arboré des locaux de Météo-France Nord-Est. Il a été placé dans un arbre à environ 2 mètres au-dessus d'un sol quasiment nu, au boulevard Gonthier d'Andernach, 67400 Illkirch-Graffenstaden ($48^{\circ} 31' 28.31'' \text{ N } 7^{\circ} 44' 17.6'' \text{ E}$).



Localisation du capteur à Météo France ; Google Earth

Un second capteur a été installé sur le parvis de Télécom Physique Strasbourg, dans un arbre à environ 2 mètres de hauteur et au-dessus d'un petit carré d'herbe entouré de béton. L'adresse est le pôle API boulevard Sébastien Brant, 67400 Illkirch-Graffenstaden (48° 31' 31.19" N 7° 44' 14.31" E).



Localisation du capteur à Télécom Physique ; Google Earth

Un troisième capteur a été installé sur le parking de l'École Supérieure de Biotechnologie de Strasbourg (ESBS), au niveau d'un panneau métallique implanté sur une allée d'herbe haute à environ 1 mètre 50 du sol, Pôle API, 300 boulevard Sébastien Brant, 67400 Illkirch-Graffenstaden (48° 31' 32.84" N 7° 44' 19.67" E).



Localisation du capteur sur le parking d'ESBS ; Google Earth

Le quatrième et dernier capteur a été installé dans un bosquet au bord d'un plan d'eau, dans un arbre à 1 mètre de hauteur chemin du Routoir, 67400 Illkirch-Graffenstaden (48° 31' 25.83" N 7° 44' 42.23" E).



Localisation du capteur chemin du Routoir ; Google Earth

5. Analyse des résultats

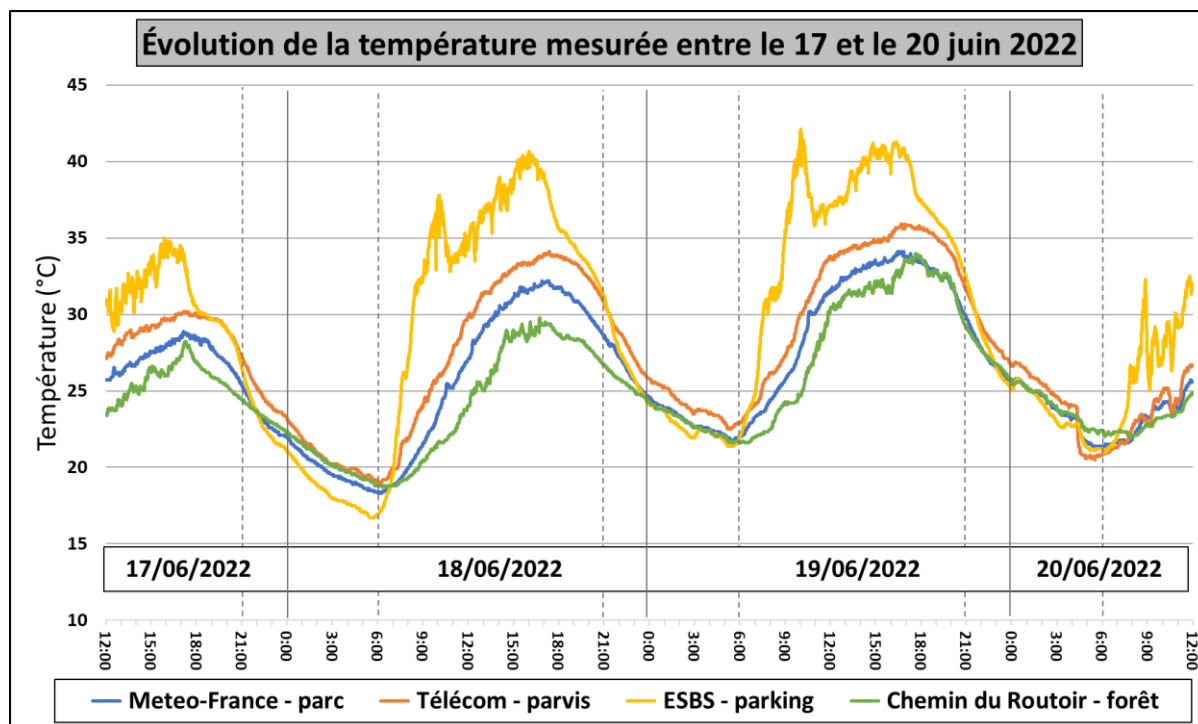
5.1. Températures

Nous présentons dans ce chapitre les principaux résultats de la campagne de mesures menée sur le parc d'innovation. Les données de température et d'humidité sont d'abord comparées entre capteurs puis mises en perspective avec d'autres données de mesure.

Le graphique ci-dessous représente l'évolution des températures mesurées par les 4 capteurs entre le 17 juin 2022 à 12 h et le 20 juin 2022 à 12 h (heure locale). Nous constatons qu'à l'exception de l'évolution des températures du capteur placé sur un panneau au niveau du parking d'ESBS, les autres courbes sont relativement régulières et cohérentes par rapport au cycle jour et nuit. C'est d'ailleurs pour ce même capteur que nous observons la plus grande amplitude thermique pour la journée du 18 juin, avec des températures comprises entre 17°C le matin et 40°C l'après-midi.

Une surchauffe est très probable pour ce capteur à cause du panneau métallique sur lequel il est posé. Le phénomène est particulièrement visible entre 8 h et 18 h lorsque les rayons du soleil atteignent l'armature sur laquelle est posée le capteur. La température monte de plus de 10°C en l'espace de 2 h (entre 7 et 9 h du matin) les 18 et 19 juin. Les mesures sont ainsi difficilement exploitables en journée. Concernant la nuit, nous constatons à l'inverse qu'il s'agit du capteur mesurant les températures les plus basses avant le lever du soleil. Cette différence est principalement due à l'environnement proche autour du capteur : sur le parking, celui-ci est posé sur une surface métallique qui possède une forte diffusivité thermique. Cette diffusivité thermique élevée du métal se traduit par sa capacité à accumuler ou à l'inverse à restituer rapidement de la

chaleur accumulée par divers processus physiques. En journée, la surface métallique absorbe une partie du rayonnement solaire incident est chauffée ainsi rapidement. La nuit cette même surface restitue la chaleur accumulée la journée, là encore de manière relativement rapide comparé à d'autres matériaux. Les 3 autres capteurs ont été placés dans des arbres qui possèdent une diffusivité thermique bien plus faible que celle de la surface du panneau sur le parking. La suite de l'analyse ne tiendra pas compte de ce capteur, bien qu'il s'agisse sans trop de doute de la zone la plus chaude notamment en journée parmi les 4 sélectionnées pour cette campagne de mesures.



En journée, les températures les moins élevées sont observées chemin du Routoir en présence de nombreux arbres suffisamment grands qui limitent la pénétration des rayons du soleil et d'un plan d'eau. Ceci a pour effet de réguler la température de la zone et de limiter la hausse des températures l'après-midi. A l'opposé, les températures diurnes les plus élevées sont mesurées sur le parvis bétonné devant Télécom Physique avec peu de végétation.

Le tableau ci-dessous indique quelques valeurs clés des températures de l'air mesurées par ces 3 capteurs. Les observations à 21 h pour les 3 soirées de la campagne de mesures montrent un écart significatif de la température de l'air entre le chemin du Routoir qui est la zone la plus fraîche et le parvis de Télécom Physique qui est la zone la plus chaude. Le 18 juin à 21 h, il est ainsi enregistré 26,7 °C chemin du Routoir et 30,7 °C sur le parvis de Télécom Physique, à 500 mètres de distance à vol d'oiseau. La température baisse plus difficilement sur le parvis en béton qui restitue la chaleur emmagasinée la journée à l'air environnant, néanmoins à cette échelle locale, nous constatons que cette différence de températures se résorbe assez rapidement. Ainsi elle devient même négligeable passé minuit entre les 3 sites sélectionnés.

L'après-midi du 18 juin est marquée par les plus gros écarts observés sur toute la période de la campagne de mesures entre les capteurs, avec à 18 h 5 °C d'écart entre le chemin du Routoir et Télécom Physique. Cela s'explique notamment par des vitesses de vent faibles, avec des rafales ne dépassant pas les 20 km/h à la station météorologique de référence de l'aéroport d'Entzheim. En effet, le vent a pour effet de brasser l'air et donc de rendre plus uniforme les températures à l'échelle locale tout du moins. C'est le cas le lendemain pour le 19 juin, où cette fois-ci les rafales de vent dépassent les 40 km/h l'après-midi à l'aéroport d'Entzheim. Les écarts de température entre les capteurs sont ainsi réduits comparés à la veille, bien qu'ils soient encore visibles.

		Chemin du Routoir	Météo France	Télécom Physique
17.06	12h	23.5	25.7	27.2
	15h	26.3	27.5	29.3
	18h	26.9	28.5	30
	21h	24.4	25.4	27.2
18.06	00h	22.3	22	23.2
	03h	20.1	19.5	20.1
	06h	18.8	18.4	19
	09h	20.4	21.5	24
	12h	24	27.1	29.9
	15h	28.9	31.1	33
	18h	28.6	31.7	33.8
	21h	26.7	28.6	30.7
	19.06	00h	24.3	24.6
03h		22.7	22.6	23.6
06h		21.7	22	22.9
09h		24.2	25.7	27.3
12h		30.5	31.5	33.7
15h		31.9	33.3	34.8
18h		33.7	33.4	35.6
21h		29.1	29.8	31.6
20.06	00h	25.6	25.4	26.6
	03h	23.8	23.8	24.6
	06h	22.4	21.4	20.8
	09h	22.8	23.2	22.9
	12h	24.9	25.6	26.7

Températures (°C) pour 3 sites entre le 17.06 12 h et le 20.06 12 h

Les nuits du 18 au 19 et du 19 au 20 juin peuvent être qualifiées de « nuits tropicales », qui correspond à une température minimale qui ne descend pas en-dessous de 20°C. Pour ces 2 nuits tropicales qui ont suivi 2 journées très chaudes, l'écart de température entre le chemin du Routoir et Télécom Physique ne se réduit pas aussi vite que pour la nuit du 17 au 18 juin. La quantité de chaleur accumulée par le parvis en béton de Télécom Physique est accrue les journées du 18 puis du 19 juin puisque les températures diurnes sont plus élevées que le 17.

Enfin nous observons une chute très rapide des températures le 20 juin vers 4 h du matin qui correspond au passage de plusieurs épisodes pluvieux assez intenses mais de courte durée, comme l'illustre l'image radar des précipitations ci-dessous. Cette averse orageuse a engendré une baisse de la température de l'air de presque 2 degrés en quelques dizaines de minutes, hormis pour le capteur situé chemin du Routoir où la baisse est relativement faible, environ 0,5°C. Il est tout à fait cohérent d'observer une chute des températures au passage de cette averse, les chutes de pluie entraînant une masse d'air plus froide avec elles. L'environnement du capteur chemin du Routoir est propice à limiter les variations brusques de températures grâce aux arbres en nombre important. Néanmoins on peut aussi suggérer que les autres capteurs ont pu être exposés à des gouttes de pluie directement tombées sur les appareils de mesure. La température de ces gouttes de pluie ainsi que leurs évaporations sur les capteurs peuvent entraîner un refroidissement plus important, le capteur chemin du Routoir étant le seul à être complètement abrité de la pluie. Enfin le vent a également pu entraîner une baisse des températures qui s'est fait moins ressentir chemin du Routoir, où le capteur est davantage abrité. Cependant, nous ne pouvons pas regarder les données de mesure de l'aéroport d'Entzheim puisque l'averse a épargné ce secteur.

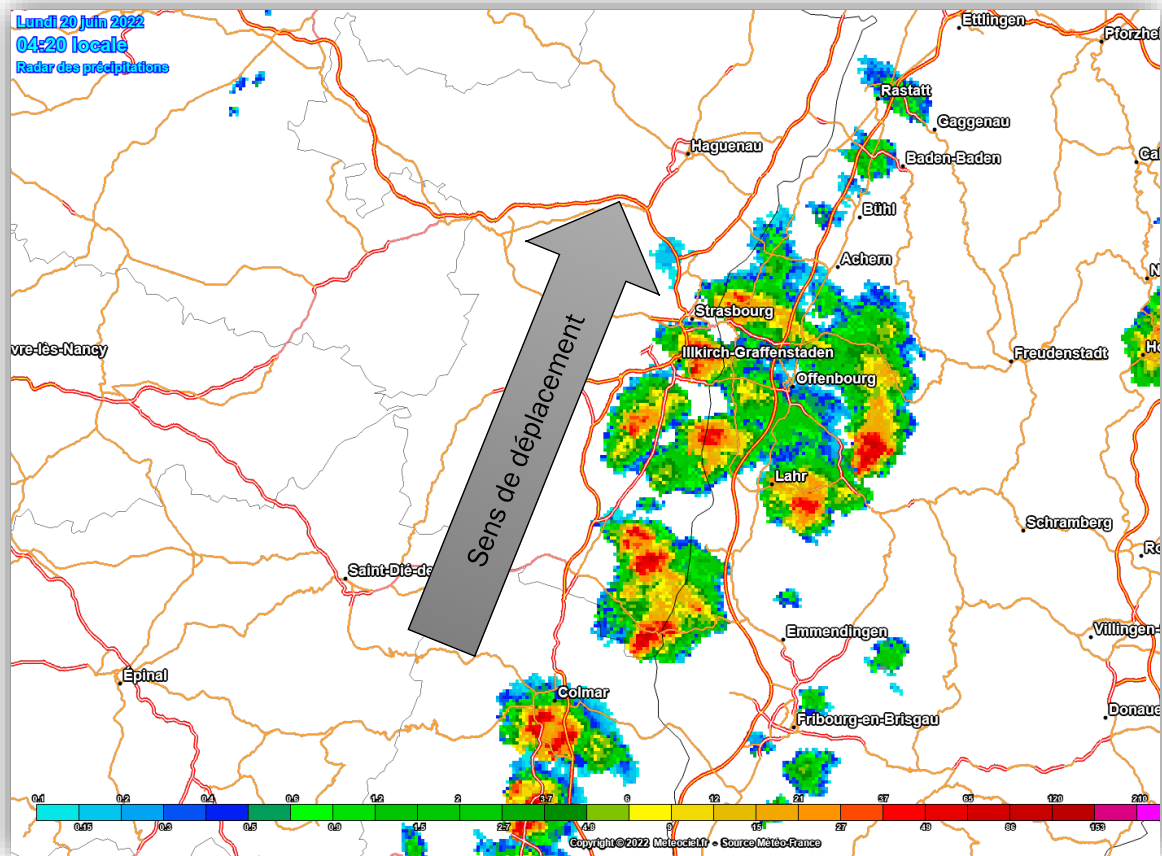
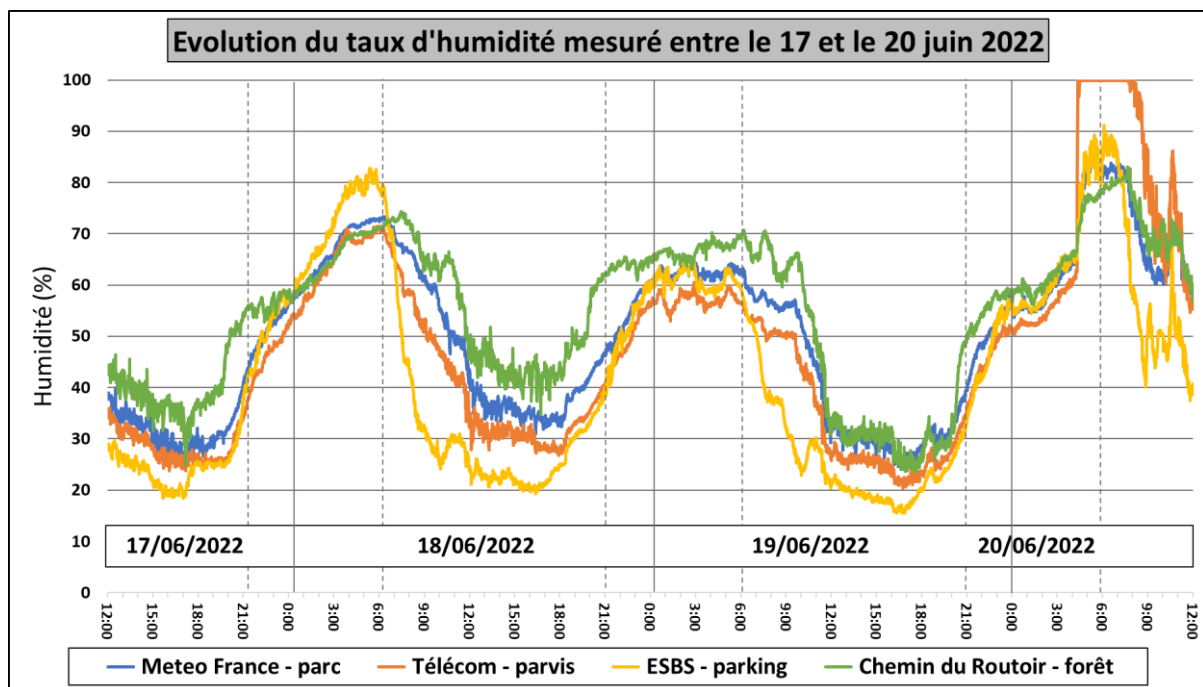


Image radar des précipitations le 20 juin à 4h20 locale ; Météociel

5.2 Humidité et confort thermique







Le graphique précédent montre l'évolution de l'humidité relative des 4 capteurs pendant la campagne de mesures sur le parc d'innovation. En journée, nous observons que l'humidité est plus élevée en présence de végétation et de plans d'eau, comme c'est le cas chemin du Routoir. A l'inverse elle est plus faible sur des sites bitumés comme sur le parvis de Télécom Physique. Le taux d'humidité le plus faible est observé dans l'après-midi du 19 juin, notamment en raison des fortes températures couplées à des rafales à 40 km/h de vent de sud qui ont contribué à assécher la masse d'air du parc d'innovation. L'augmentation des rafales de vent en fin de matinée est bien illustrée par la baisse soudaine de l'humidité quel que soit le site des capteurs.

Le taux d'humidité dans l'air augmente brusquement le 20 juin à 4 h du matin à l'approche des averses orageuses qui ont circulées sur le secteur et données des précipitations. Le capteur placé sur le parvis de Télécom Physique n'était pas suffisamment bien abrité, ce qui a provoqué une mesure d'un taux d'humidité de 100% puisque des gouttes de pluie sont sans doute restées sur le capteur avant de s'évaporer vers 9 h du matin.

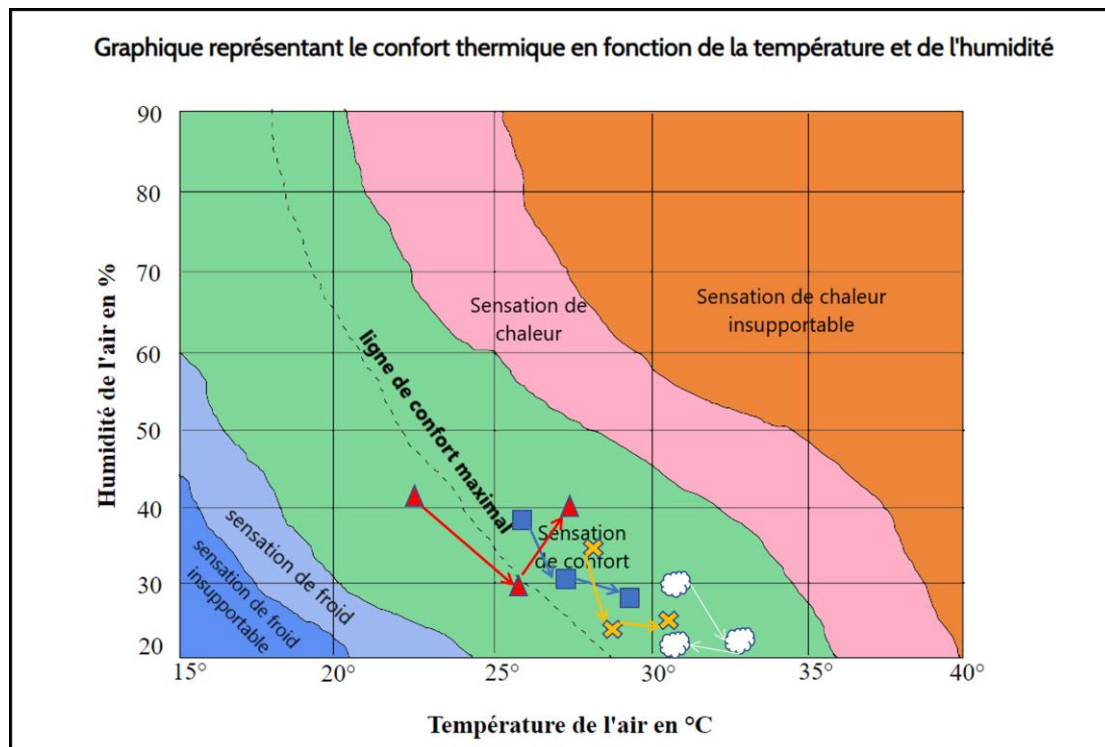
Dans la suite de ce chapitre, nous allons mettre en perspective ces mesures du taux d'humidité avec les mesures de température, afin d'étudier les impacts de l'environnement local sur le confort thermique des usagers. Nous allons regarder si ce pic de chaleur a pu avoir une incidence sur le travail des salariés du parc d'innovation, en évaluant le stress thermique auquel ils ont fait face durant ces quelques jours de fortes chaleurs. Le stress thermique désigne une accumulation de chaleur dans l'organisme qui empêche le travailleur de maintenir une température corporelle normale. Les impacts des fortes chaleurs dépendent aussi de l'humidité : à température égale, la chaleur humide, que l'on rencontre notamment par temps orageux, est beaucoup plus difficile à supporter que la chaleur sèche.

Les données de température et d'humidité des capteurs ont donc été transposées sur un graphique représentant le confort thermique d'un individu en fonction de ces 2 paramètres. Ces graphiques sont construits à partir de celui que l'on peut retrouver dans le livre « *Techniguide de la météo* » rédigé par Jean-Louis Vallée. Les graphiques sont composés en abscisse des températures et en ordonnée de l'humidité. Des plages de confort thermique sont ensuite créées à partir du ressenti des individus questionnés. Il ne s'agit donc pas de données mesurées mais de la perception des personnes de leurs confort thermiques en fonction de ces 2 paramètres. Des différences notables peuvent être observées entre les populations de divers pays et même d'un individu à un autre. De plus, le vent est également un paramètre important à prendre en compte : un vent modéré permet de limiter le stress thermique comparé à des situations sans vent.

	Capteur chemin du Routoir
	Capteur Météo France
	Capteur Télécom Physique
	Capteur parking ESBS

Sur chaque graphique, les symboles ci-dessus sont représentés 3 fois et sont reliés par des flèches. Ces 3 symboles représentent 3 dates de mesures : 12 h, 15 h et 18 h, 12 h pour le premier symbole et 15 h et 18 h pour ceux situés au bout des flèches.

Le premier graphique ci-dessous illustre le confort thermique des individus pour la journée du 17 juin à 12 h, 15 h et 18 h et sur les 4 sites retenus pour la campagne de mesures. Malgré des températures assez élevées, le faible taux d'humidité a permis de conserver un bon confort physiologique tout au long de l'après-midi et quel que soit la zone du parc d'innovation.

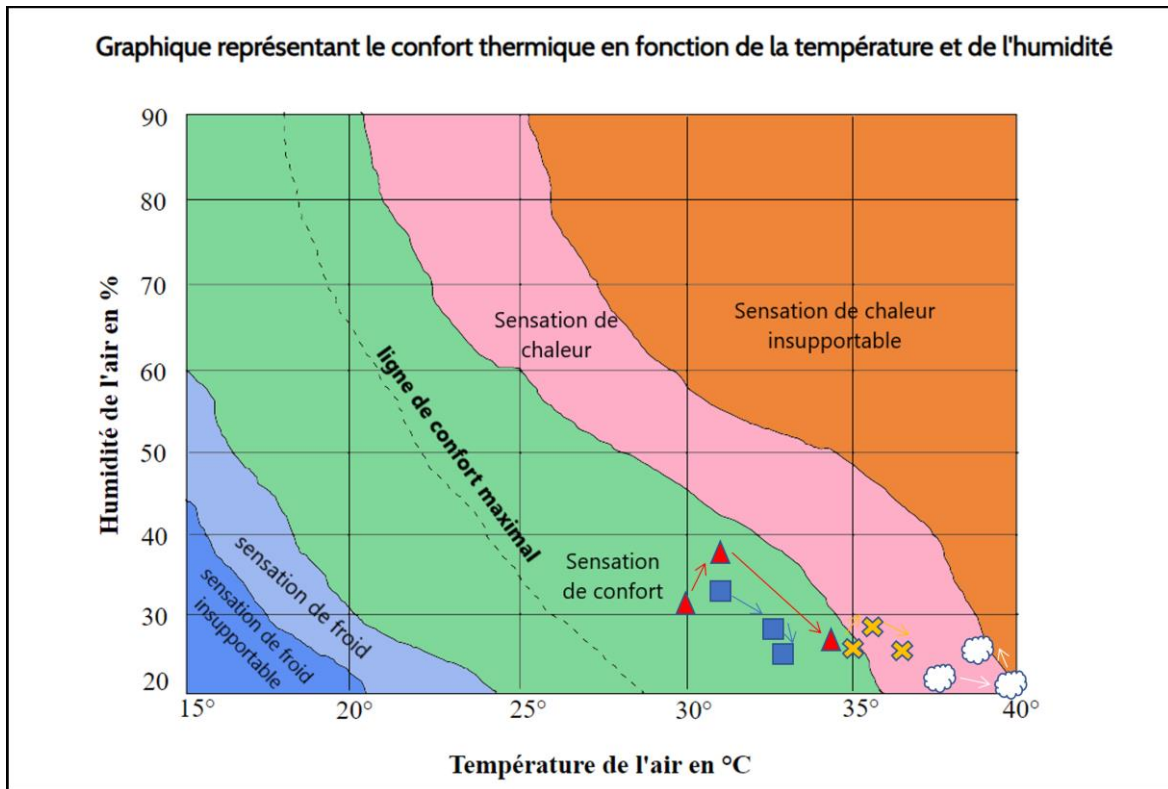


Confort thermique le 17 juin 2022 à 12h, 15h et 18h pour les 4 capteurs

Pour la journée du 19 juin sur le deuxième graphique, les températures maximales ont été beaucoup plus élevées et le taux d'humidité est resté bas toute l'après-midi. Les capteurs positionnés dans des milieux végétalisés et à proximité de plans d'eau ont permis de conserver un ressenti plutôt agréable malgré la température qui a atteint 37,7°C à 17 h à la station météorologique de référence de l'aéroport d'Entzheim. La différence est notable avec 4°C de moins chemin du Routoir ou encore dans le parc à Météo France par rapport à l'aéroport fortement exposé au rayonnement solaire. Limiter ce rayonnement solaire incident grâce à des arbres permet ainsi de réduire significativement la température de l'environnement proche et donc d'éviter le stress thermique des populations.

Au contraire, les capteurs situés dans des environnements très minéralisés ont davantage subi les fortes chaleurs de cette journée du 19 juin. Les personnes exposées en plein soleil sur ces sites sont potentiellement sujettes à un stress thermique élevé qui peut se manifester très rapidement par des problèmes de santé. La surchauffe du capteur sur le parking d'ESBS ne permet pas de connaître avec exactitude la température sur ce lieu, mais nous imaginons bien qu'un individu en plein soleil sur ce parking avait sans doute une sensation de chaleur insupportable, à mettre en parallèle avec les conditions de confort thermique chemin du Routoir 500 mètres plus loin qui étaient bien plus agréables.

La journée du 20 juin a été plus humide que les précédentes, néanmoins le vent soufflait modérément de secteur nord ce qui pouvait limiter l'inconfort ressenti ce jour-là. En effet, le vent de nord en Alsace, également appelé la bise, est souvent associé à des masses d'air plus fraîches que le vent de sud.



Confort thermique le 19 juin 2022 à 12h, 15h et 18h pour les 4 capteurs

5.3 Illustration de l'ICU pendant la campagne de mesures

Afin de mesurer l'îlot de chaleur urbain de l'Eurométropole de Strasbourg pendant ce pic de chaleur, d'autres capteurs ont été installés au centre-ville de Strasbourg, zone particulièrement bien exposée pour observer le phénomène. Il s'agit des mêmes capteurs que ceux utilisés sur le parc d'innovation, pour la même période de mesures.

Un premier capteur a été installé dans une cour intérieure dans le quartier de la Krutenau au centre-ville de Strasbourg, sur un mur recouvert de végétation à environ 2 mètres de hauteur.



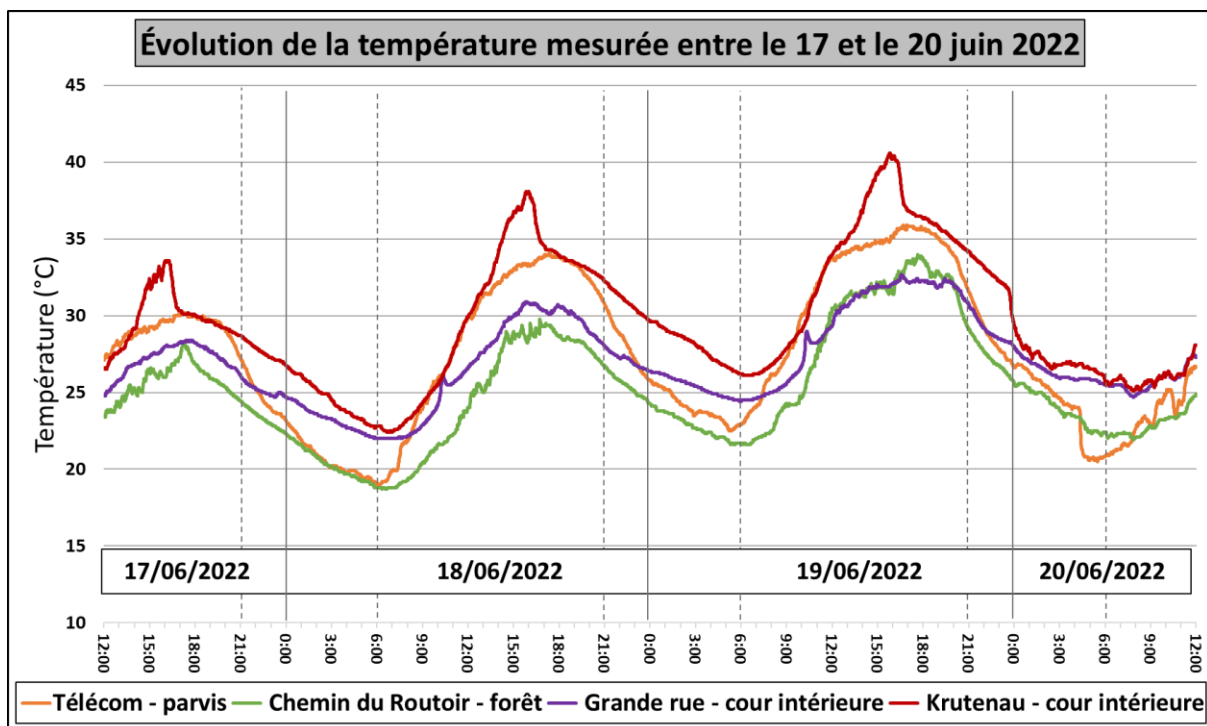
Localisation du capteur à la Krutenau ; Google Earth

Un second capteur a été installé dans une cour intérieure Grande Rue au centre-ville de Strasbourg, contre un mur avec des plantes grimpantes à environ 1,5 mètre de hauteur.



Localisation du capteur Grande Rue ; Google Earth

Le graphique ci-dessous montre l'évolution des températures pour les 2 capteurs placés au centre-ville de Strasbourg, ainsi que les températures placés chemin du Rouitoir et sur le parvis de Télécom Physique dans le parc d'innovation. Les principales mesures sont renseignées dans le tableau qui suit.



		Chemin du Routoir	Télécom Physique	Grande Rue	Krutenau
17.06	12h	23.5	27.2	24.8	26.5
	15h	26.3	29.3	27.3	32.3
	18h	26.9	30	28.2	30
	21h	24.4	27.2	26.1	28.7
18.06	00h	22.3	23.2	24.7	26.8
	03h	20.1	20.1	23.3	24.5
	06h	18.8	19	22	22.8
	09h	20.4	24	22.9	24.3
	12h	24	29.9	26.6	29.9
	15h	28.9	33	30	36.8
	18h	28.6	33.8	30.6	33.9
	21h	26.7	30.7	28	32.2
19.06	00h	24.3	25.8	26.4	29.7
	03h	22.7	23.6	25.4	28.1
	06h	21.7	22.9	24.4	26.2
	09h	24.2	27.3	25.6	27.9
	12h	30.5	33.7	29.4	34
	15h	31.9	34.8	32	39.2
	18h	33.7	35.6	32.3	36.4
	21h	29.1	31.6	30.7	34.2
20.06	00h	25.6	26.6	28	29.4
	03h	23.8	24.6	25.9	26.8
	06h	22.4	20.8	25.5	25.6
	09h	22.8	22.9	25.4	25.8
	12h	24.9	26.7	27.3	28.1

Températures (°C) pour 4 sites entre le 17.06 12 h et le 20.06 12 h

Les températures nocturnes sont notablement différentes entre le centre-ville de Strasbourg et le parc d'innovation d'Illkirch, situés à environ 6,5 kilomètres de distance. Le phénomène d'îlot de chaleur urbain est particulièrement visible entre minuit et 6 h du matin, quel que soit la nuit entre le 17 et le 20 juin. Les températures peinent à descendre au centre-ville, même dans la nuit du 19 au 20 juin lorsque plusieurs averses orageuses se sont succédé.

Les écarts de température entre le centre-ville et le parc d'innovation en fin de nuit dépassent les 3°C, ce qui est significatif. La température n'est pas descendue en-dessous de 25°C au matin du 19 juin dans les quartiers Krutenau et sur la grande île de Strasbourg, rendant les nuits pénibles pour ses habitants. Le phénomène d'îlot de chaleur urbain a donc des impacts bien différents entre le centre-ville et des sites en banlieue comme le parc d'innovation, mais il est aussi visible à plus grande échelle. Météo France possède un réseau de stations de mesures très précises dont 2 sur l'Eurométropole de Strasbourg. L'une d'elle se situe à l'aéroport d'Entzheim à 10 km du centre-ville de Strasbourg, et l'autre au jardin botanique de la ville de Strasbourg, à quelques centaines de mètres du centre-ville. Ainsi, la température minimale du 19 juin était de 19,7°C à l'aéroport d'Entzheim alors que la station météorologique du jardin botanique a mesuré 22,1°C de minimale, soit un écart de 2,4°C.

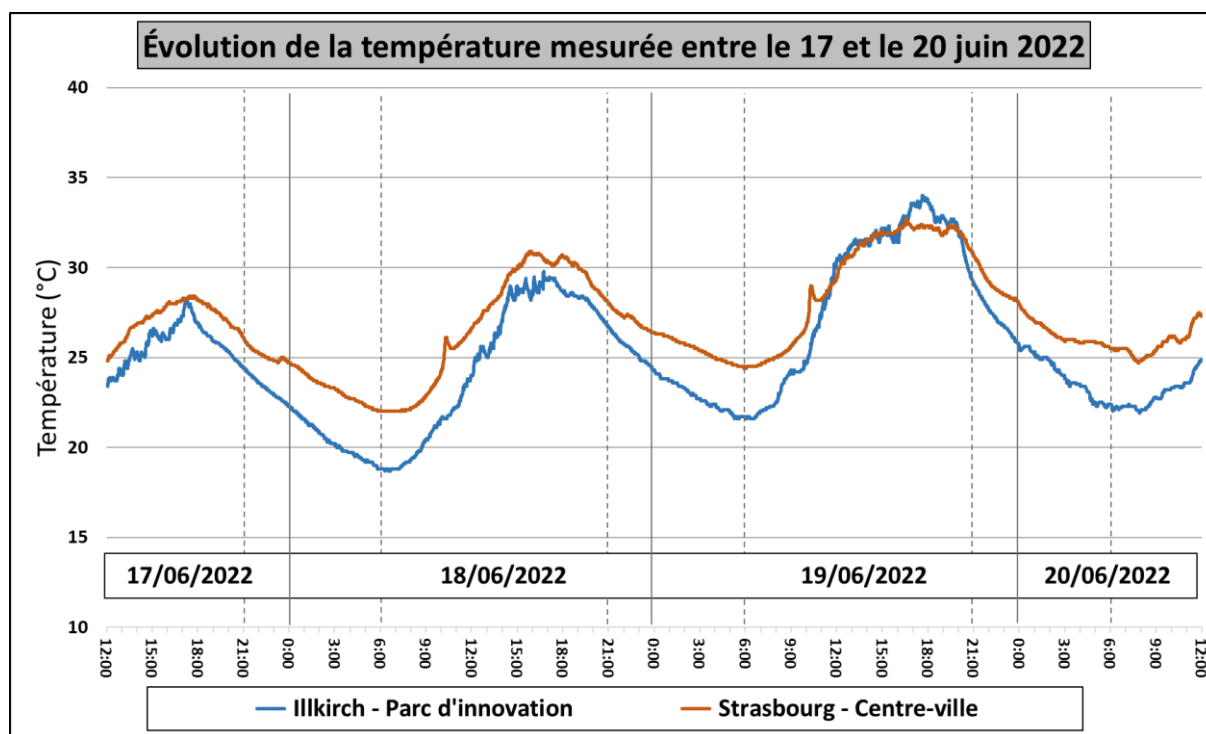
En journée, les températures dépendent beaucoup de l'exposition au rayonnement solaire incident. Ainsi, la cour intérieure située grande rue est assez petite, intégralement entourée de bâtiments assez hauts et anciens et ornée de plusieurs végétaux. Ces caractéristiques lui permettent de conserver une relative fraîcheur tout au long de la journée, avec des températures diurnes similaires à celles mesurées chemin du Routoir dans le parc d'innovation. La cour intérieure dans le quartier de la Krutenau est plus vaste, davantage exposée au soleil et avec un

sol en majorité recouvert de bitume, d'où les températures bien plus élevées sur ce site comparé à la cour grande rue.

Le capteur quartier de la Krutenau est par ailleurs en partie exposé aux rayons du soleil en milieu d'après-midi, ce qui explique ce pic de températures élevées observé sur la courbe entre 15 h et 18 h. Il est donc important de noter l'effet réchauffant très marqué lorsque nous sommes directement exposés aux rayons du soleil, notamment en période de vague de chaleur où les températures à l'ombre sont déjà très élevées. Ce phénomène, ajouté à celui de l'îlot de chaleur urbain nocturne, peut amener à des conditions sanitaires difficiles pour les personnes exposées, et en particulier les plus vulnérables.

La figure ci-dessous reprend les données du graphique précédent avec le capteur situé chemin du Routoir dans le parc d'innovation d'Illkirch et celui placé dans une cour intérieure Grande Rue au centre-ville de Strasbourg. Malgré des températures diurnes assez semblables entre le cœur de ville et la banlieue en zone végétalisée, la baisse du thermomètre ne se fait pas du tout à la même vitesse lorsque la nuit arrive.

Ce pic de chaleur d'une précocité et d'une intensité remarquable avant le solstice d'été n'aura heureusement duré que 3 jours en région Alsace. Néanmoins, les projections climatiques futures indiquent une multiplication des extrêmes de chaleurs et notamment des épisodes de canicule, qui seront donc plus fréquents, mais aussi plus intenses et plus longs. Le phénomène d'îlot de chaleur urbain risque ainsi d'être exacerbé avec ces conditions météorologiques et si trop peu de mesures sont prises pour y faire face efficacement.



Conclusion

L'intensification du changement climatique aggrave des impacts déjà visibles sur l'Eurométropole de Strasbourg, principalement les extrêmes chauds qui sont exacerbés dans les villes par le phénomène d'îlot de chaleur urbain. Si la ville de Strasbourg ne semble pas la plus exposée du territoire français à ce phénomène, la campagne de mesures menée dans le cadre de cet article affiche une différence significative des températures nocturnes entre le centre-ville de Strasbourg et des zones urbaines moins denses et davantage végétalisées.

Cette différence de température entre la ville et la campagne se justifie par plusieurs facteurs : la topographie des villes, avec de nombreux bâtiments de taille importante, qui absorbent et stockent la chaleur accumulée la journée et réduisent la ventilation naturelle. A cela s'ajoute des sources de chaleur présentes en grand nombre dans les espaces urbanisés, et enfin des matériaux de construction qui stockent la chaleur diurne pour la restituer durant la nuit.

La campagne de mesures spécifique au parc d'innovation d'Illkirch témoigne d'une variabilité non négligeable des paramètres météorologiques à l'échelle locale, pour des capteurs placés à quelques centaines de mètres de distance. La présence d'espaces verts et de plans d'eau permet une diminution plus rapide de la température au cours de la soirée et d'observer des températures minimales plus basses que dans des zones fortement minéralisées.

Le confort thermique d'un salarié d'une entreprise est donc très dépendant des températures de jour comme de nuit. La journée, les travailleurs exposés aux rayons du soleil sont soumis à une sensation de chaleur souvent désagréable voire dangereuse pour leur santé, surtout dans des lieux non ventilés et lorsque la chaleur est humide. La nuit, les personnes qui logent en ville devront faire face à des températures nocturnes particulièrement élevées en période de canicule, pouvant entraîner une dégradation de la santé de ces habitants.

Cette étude menée pendant un pic de chaleur intense a pour vocation d'illustrer tout l'intérêt d'avoir des espaces végétalisés et des plans d'eau, même à petite échelle. Les salariés peuvent ainsi profiter d'une pause dans un endroit plus frais à proximité immédiate de leurs entreprises, comme chemin du Rouvoir en bordure du parc d'innovation où plusieurs sentiers de randonnée existent. La zone arborée sur le site de Météo France Nord-Est, qui bénéficie par ailleurs d'un plan d'eau à quelques mètres, est aussi un moyen de faire profiter à ses salariés d'un espace ombragé et plus frais. Dans le cas contraire, les endroits très minéralisés comme les parkings sont exposés à des températures diurnes très élevées, qui peuvent détériorer le confort thermique des personnes qui travaillent à proximité. Ils contribuent également à restituer de la chaleur accumulée la journée et ainsi limiter la baisse des températures en soirée.

Enfin, pour lutter efficacement contre l'îlot de chaleur urbain, les réflexions doivent être menées à l'échelle de la ville entière et des agglomérations environnantes. Un mois à peine après cette campagne de mesures, une seconde vague de chaleur a frappé la France mi-juillet, dont la région alsacienne. Le 20 juillet, alors que le thermomètre affiche 17,2°C de minimale à l'aéroport d'Entzheim, celui du jardin botanique au centre-ville de Strasbourg indique 21,1°C. La récurrence de ces fortes chaleurs doit nous alerter sur la nécessité d'atténuer et de s'adapter dès maintenant aux impacts du changement climatique sur notre territoire.

Pour aller plus loin

Vallée J-L., 2004. Techniguide de la Météo

Adaptation au dérèglement climatique, Les notes de l'ADEUS, n°280, novembre 2019

Kastendeuch P., Najjar G., Lacarrere P., Colin J., Modélisation de l'îlot de chaleur urbain à Strasbourg, Climatologie, 7 (2010) 21-37, <https://doi.org/10.4267/climatologie.361>

How to map your urban heat island, <http://urbancanopy.io/tutorial>

ECOSTRESS, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, https://ecostress.jpl.nasa.gov/gmap/eco_map2