HAL
open science

Climatologie urbaine de la ville de Caen

Alexandre Follin

To cite this version:

Alexandre Follin. Climatologie urbaine de la ville de Caen. Géographie. 2019. dumas-02458506

HAL Id: dumas-02458506

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02458506v1

Submitted on 28 Jan 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Mémoire Master 1 Géographie

Climatologie urbaine de la ville de Caen

Travail réalisé par :

-Alexandre Follin, Master 1 Géographie, UFR SEGGAT, département Géographie, Université de Caen.

Encadré par :

-Olivier Cantat, GEOPHEN, UFR SEGGAT, département Géographie, Université de Caen.

Sommaire :

Introduction…..... p6

I) Rappels généraux sur la climatologie urbaine.....p8

II) Contexte géographique de l'étude p14

III) Comparaison entre la station de Carpiquet et la station Davis référence pour Caen… p21

IV) Mesures urbaines (transects au cœur de l'agglomération)… p36

V) Modélisation ENVI-MET p55

VI) Utilisation de la caméra thermique.....p65

Conclusion… p84

Éléments de bibliographie..... p86

Résumé :

Dans le contexte actuel de changement climatique, les citoyens se préoccupent de manière plus importante de leur qualité de vie. En effet, la chaleur est d'ores et déjà un point d'interrogation et un enjeu sanitaire pour les villes. Le phénomène d'îlot de chaleur urbain, bulle de chaleur au dessus des villes est un élément bien connu des grandes agglomérations. Néanmoins, ceci est moins connu dans les agglomérations d'une taille moyenne et réduite. Par conséquent, nous étudierons le climat urbain de Caen sur une période hivernale. Cette étude ce fera par le bais d'une comparaison entre la ville et sa périphérie, par des mesures au sein de l'agglomération, par une modélisation ainsi que quelques travaux avec une caméra thermique. Ceci nous permettra d'observer qu'il est trop fort de parler d'îlot de chaleur urbain dans l'agglomération caennaise lors de la période d'étude. De plus, nous observons l'importance du « type de temps », la présence et force du vent, la topographie et l'occupation du sol dans l'établissement de différences de températures. De surcroît, l'étude nous permettra de confirmer des idées exposées dans les différents travaux concernant la climatologie urbaine. Nous verrons par exemple, que les constructions humaines et les imperméabilisations des sols sont effectivement de véritables pièges de chaleur.

Mots clés : Climatologie urbaine, îlot de chaleur urbain, ville, enjeu sanitaire.

Abstract :

In the current context of climatic change, citizens are more and more concerned about their living conditions. Indeed, the heat is already a question mark and a health issue for cities. The " urban heat " island effect, heat bubble above cities, is a well-known aspect of large conurbations. Nevertheless, it is less acknowledged in medium-sized and small settlements. Therefore, we will study the urban climate of Caen over the winter period. This study will be done through a comparison between the city and its periphery, measurements within the agglomeration and modeling, as well as works done with thermal imaging camera. Thanks to these researchs, we will note that it is a little bit excessive to talk about " urban heat " island during the study period in the conurbation of Caen. Moreover, we can observe the value of " weather type ", presence and intensity of wind, topography and soil occupation in the setting of temperature variations. In addition, the study will allow us to corroborate ideas revealed in several investigations about urban climatology. For example, we will see that human constructions and soils sealing actively traps heat.

Key words : Urban climatology, " urban heat " island , city, health issue

Remerciements :

Je souhaite remercier Monsieur Olivier Cantat (UFR SEGGAT, GEOPHEN, Caen) pour m'avoir encadré durant ce travail de mémoire. Sa disponibilité et ses conseils ont été précieux durant toute la période de travail. De plus, j'ai pu avoir la chance d'avoir accès à du matériel de qualité grâce à la confiance de Monsieur Cantat. Sa connaissance pointue et son fort intérêt pour la discipline m'ont amené à emprunter cette voie et trouver un réel plaisir à étudier la climatologie urbaine. Par la même occasion, je souhaite également remercier mon ami Ang et ses parents qui m'ont permis d'installer la station météorologique dans leur jardin pendant 3 mois. Merci à mon ami Otso pour la contribution et enfin, je remercie l'ensemble de mes proches pour la décompression.

Introduction :

Au 20ème siècle, et plus particulièrement dans les années 1950, l'urbanisation grandissante et le développement des activités ont eu pour conséquence de modifier l'atmosphère des villes. En effet, comme le fait entendre Morgane Colombert en 2008 dans *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville*, « il est constaté que les villes, en plus d'être influencées par le climat, influent elles mêmes sur celui-ci. Elles modifient ainsi localement les paramètres climatiques. Ces modifications peuvent être constatées soit par comparaison avec les zones plus rurales voisines, soit par comparaison avec leur propre situation (moins urbanisée et/ou moins dense)». Dans un premier temps , pour mieux comprendre de quoi nous parlons lorsque nous évoquons la climatologie urbaine, referons nous à Georges Najjar et al. (*Topographie et climatologie urbaine*, 2010) : « La présence des zones urbaines, en modifiant profondément les propriétés de la surface, perturbent les échanges d'énergie et de matière entre celle-ci et l'atmosphère et induisent des perturbations notables du climat à l'échelle locale ». De plus, comme le rappel Morgane Colombert, les modifications climatiques « ont des conséquences sur la consommation énergétique des bâtiments et l'efficacité de la climatisation naturelle (Santamouris et al., 2004), la pollution atmosphérique (Sarrat et al., 2006), le confort en extérieur (Steemers, 2006a), la santé (Buechley et al., 1972) ou encore la faune et la flore (Sukopp, 2004). Les collectivités territoriales ont ainsi un intérêt à mieux connaître et à mieux intégrer les modifications climatiques locales que la ville provoque. Ce n'est cependant pas suffisant pour générer des initiatives avec des actions réfléchies et ayant des influences réelles sur le climat urbain. Pour cela, les élus et les aménageurs ont besoin de connaître de façon aussi précise que possible les conséquences climatiques de leur(s) aménagement(s) mais également de savoir quels sont actuellement les moyens à leur disposition pour en tenir compte ». Dans les années 1970, Chandler et Dettwiller ont publiés des travaux majeurs à propos de l'influence de la ville sur le climat. La progression des recherches peut être mise en exergue par Gisèle Escourrou dans les années 1990. Plus récemment, les travaux théoriques se transforment en réels projets sur une agglomération ou un quartier précis. Nous pouvons citer le projet DIACLIMAP (ville de Nancy, 2016) ou encore l'étude sur les « Analyses spatio-temporelles de l'îlot de chaleur urbain dans l'agglomération rennaise » (Foissard et al., 2015).

Cependant, malgré des recherches larges et complètes sur le climat urbain, il apparaît que les agglomérations de moyennes et/ou petites tailles sont assez délaissées par ces études. Ce constat nous amène à dire que les mesures micro-climatiques sont assez « complexes » à mettre en place en raison de la nécessité de sites normalisés, sécurisés, ainsi que d'un pas de temps assez long pour avoir des résultats sérieux. En outre, « une difficulté majeure pour analyser la spécificité urbaine est la rareté ou l'absence de données météorologiques relevées dans les centres villes, l'observation étant réalisée sur des aéroports, en périphérie des villes, qui ne sont pas représentatifs de la ville. » (*L'interface ville/ Environnement*, Jacques Bonnet et Marcel Leroux, 1997). En effet, « la climatologie classique repose sur le traitement et l'interprétation des données des réseaux climatologiques classiques. La densité du réseau météorologique français, de l'ordre d'une station principale pour quelques milliers de km2 et d'un poste secondaire pour quelques centaines de km2, est insuffisante pour cerner la variabilité du climat à l'échelle locale. Même la simple comparaison entre les données d'une station urbaine et d'une station rurale de référence, qui sert classiquement à la mise en évidence des effets de l'urbanisation sur le climat (Oke, 1973), est rendue difficile en raison de la disparition fréquente des anciennes stations urbaines et de la difficulté à choisir une station de référence hors de l'espace urbain » (*Climat urbain et qualité de l'air: approches géographiques et collaborations pluridisciplinaires*, Claude Kergomard, Sylvain Bigot, Yécine

Charabi et Pierre Leriche, 2002). Outre ceci, les auteurs Bonnet et Leroux (1997) font aussi part du fait que « la transformation du climat urbain par la ville contribue à expliquer que le citadin ne connaît plus le temps, en raison de la perte des repères de la connaissance empirique rurale (calendriers agricoles) et de la relative uniformisation des conditions de vie urbaine ». Cette observation est également présente chez Martine Tabeaud (*Climats urbains : savoirs experts et pratiques sociales*, 2010) qui fait état du fait que « la méconnaissance du climat urbain est également engendrée par la disparition d'une connaissance empirique du temps local et immédiat par une pratique quotidienne chez les urbains qui délèguent les prévisions et observations ».

Ce sont ces paramètres qui me poussent à étudier le climat urbain de la ville de Caen (Normandie, France) afin d'en avoir une meilleure connaissance dans la mesure où celui ci est relativement méconnu. Pour ce faire, mon travail va se dérouler en plusieurs étapes. Tout d'abord, j'aborderai la climatologie urbaine en général avec des points essentiels de la discipline comme l'îlot de chaleur urbain. A la suite d'un rappel du contexte géographique de mon étude, ma recherche va débuter par une comparaison de données issues de stations météorologiques fixes entre la ville de Caen et sa « campagne ». Puis dans un autre temps, ma recherche va changer d'échelle avec l'étude de mesures itinérantes prises au sein même de la ville. Un travail de modélisation climatique sera effectué par le bais du logiciel Envi-Met. Puis, une étude de comparaison thermique de diverses surfaces et revêtements à l'aide d'une caméra thermique clôturera ce mémoire. Tout ceci n'a pas pour but absolu de trouver la présence d'un îlot de chaleur urbain marqué, ce travail à vocation à appréhender le climat caennais lors de la période consacrée. De plus, ce travail nous permettra peut être de confirmer ou d'infirmer certains postulats et constats fait dans des études de climatologie urbaine.

I) Rappels généraux sur la climatologie urbaine:

En amont de toute étude, il est essentiel de définir quelques mots et thématiques que nous allons aborder. Tout d'abord, la climatologie est «la branche de la météorologie consacrée à l'étude des climats. Les observations météorologiques archivées sur le plus grand nombre possible de sites géographiques (en surface et en altitude), et sur le plus grand nombre possible d'années pour chaque site, constituent le matériel statistique grâce auquel la climatologie étudie l'état physique moyen de l'atmosphère à travers la pression atmosphériques, la température, le vent, l'humidité, les précipitations, l'ensoleillement, etc, et les variations de cet état dans le temps et l'espace. Ainsi peut-elle examiner les caractéristiques et l'évolution du climat global (moyenné sur toute la Terre), mais aussi discriminer et classifier à différentes échelles du climat divers types de climat, dont elle s'efforce alors de préciser les localisations géographiques, les fluctuations à court et à long terme et, pour finir, les causes de leur répartition dans l'espace et de leur évolution dans le temps» (Glossaire Météo-France). La climatologie urbaine, qui sera notre thématique est quant à elle axée sur l'étude des microclimats en zones urbaines. En effet, comme évoqué en amont « La présence des zones urbaines, en modifiant profondément les propriétés de la surface, perturbent les échanges d'énergie et de matière entre celle-ci et l'atmosphère et induisent des perturbations notables du climat à l'échelle locale » (Georges Najjar et al. *Topographie et climatologie urbaine*, 2010). La climatologie urbaine est donc l'étude d'une des échelles du climat, qu'il est possible d'appliquer à une ville, un quartier, un pâté de maison ou encore une rue. Ceci nous renvoi à la notion de microclimat bien définie par P.Durand-Dastès en 1969 : « La succession des états de l'atmosphère qui constitue un climat change profondément selon l'échelle à laquelle on l'envisage. L'échelle microclimatologique concerne les ordres de grandeur les plus faibles dont l'étude systémique est possible ».

Avec de réels ouvrages références et une profusion de travaux depuis les années 1950, il apparaît que les études sur le climat urbain ne sont pas nouvelles. En effet, Morgane Colombert (2010) fait état du fait que « Vitruve ou Marcus Vitruvius Pollio (75-26 avant Jésus Christ), architecte et ingénieur romain, a écrit sur les relations entre l'aménagement des villes et les conditions climatiques, ou encore Manasara Silpasatra (avant JC), un indien, a écrit sur la prise en compte des conditions de luminosité et de ventilation pour la conception d'aménagement ». Nous pouvons également évoquer le travail de Luke Howard qui dès 1818 dans *The Climate of London*, aborde le fait que la température est plus élevée au centre de Londres que dans les espaces environnants. Plus tard, les moyens évoluent avec « l'introduction d'une nouvelle méthode utilisant des enregistrements thermométriques ou hygrothermométriques faits à bord d'une automobile se déplaçant à travers l'agglomération et fournissant de véritables coupes thermiques (méthode de Schmidt, Vienne, 1927, et Peppler, Karlsruhe, 1929) » (Maximilien Sorre, *Climats urbains*, Annales de géographie, 1951). La recherche en climatologie urbaine va ensuite connaître un véritable essor à partir des années 1950. Nous pouvons donc résumer l'histoire de cette discipline rapidement. La préoccupation de l'influence du climat sur la ville et inversement a toujours été présente. En revanche, les moyens et les échelles des études ont évolués au cours du temps. « De l'observation du climat urbain à la modélisation plus ou moins fine des phénomènes physiques en jeu, les climatologues ont pu décrire et comprendre avec de plus en plus de précision la formation du climat urbain. Si les premiers travaux étaient avant tout consacrés à l'îlot de chaleur urbain observé globalement sur toute l'agglomération, les climatologues se sont progressivement intéressés à d'autres paramètres climatiques puis à des échelles inférieures à la ville mettant ainsi en exergue l'importance de la géométrie urbaine et des matériaux de construction » (Colombert, 2010). Aujourd'hui la climatologie urbaine est une science qui est à l'image de la géographie, c'est une

discipline pluridisciplinaire. En effet, elle peut être traitée sous différents prismes par des géographes, des climatologues, des architectes ou encore des ingénieurs.

Dans un autre temps, ce qui va nous intéresser est le fait que le milieu urbain modifie le rayonnement solaire, les températures, l'humidité, les précipitations ou encore le vent.
« L'urbanisation engendre une extension des surfaces imperméables et une réduction des surfaces occupées par la végétation. Ce changement d'occupation du sol produit une modification du bilan énergétique en ville en favorisant le piégeage du rayonnement, notamment par la configuration en « canyon » des rues et des façades des bâtiments. Il en résulte une plus faible diminution de la température en ville après le coucher du soleil, ce qui forme un îlot de chaleur urbain (ICU) nocturne» (Foissard, Quénol et Dubreuil, *Analyse et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain dans l'agglomération rennaise*, 2013). Pour être synthétique, l'îlot de chaleur urbain est un dôme de chaleur au dessus des villes. Il est engendré par plusieurs facteurs que sont :

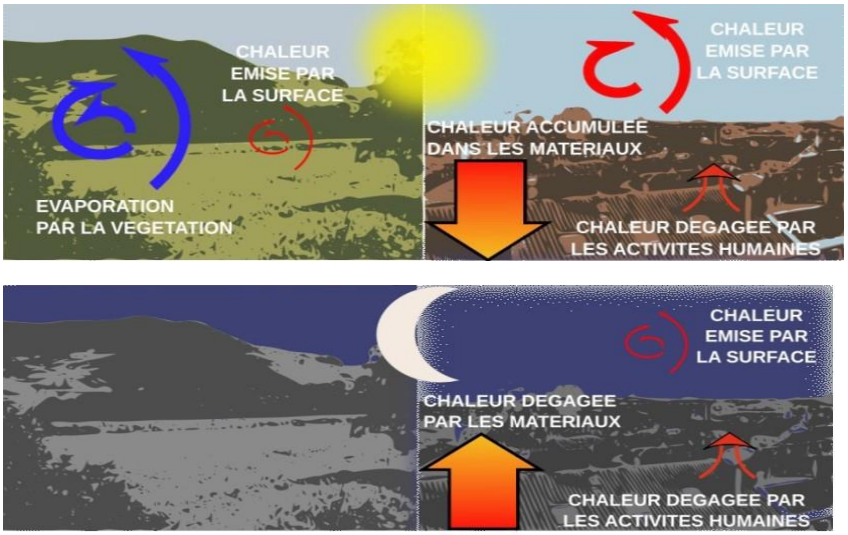
-Les activités humaines,

-Les densités de bâti,

-Les imperméabilisations des sols,

-Les propriétés thermiques des matériaux de construction du bâti.

Par conséquent, la surchauffe urbaine résulte donc de paramètres anthropiques (émission de chaleur), morphologiques (rugosité, piégeage du rayonnement) et également surfaciques (faible évapotranspiration, absorption et stockage de chaleur) (ADEME, 2017). En outre, notons que l'îlot de chaleur urbain est un phénomène qui évolue à échelle spatiale (il affecte plus généralement les espaces urbains centraux) et également à une échelle temporelle (il est généralement plus présent en été qu'en hiver et il est fortement dépendant des conditions météorologiques). Voici ci dessous une illustration mettant en exergue la formation du dôme de chaleur sur les espaces urbains. Il y a une différence entre ville et campagne mais aussi entre jour et nuit. En campagne, l'air est plus chaud le jour que la nuit. En ville, les bâtiments vont stocker l'énergie reçue et l'évacuer la nuit tandis que les plantes vont l'utiliser et l'évaporer dans la journée :



Src : Centre National de recherches météorologiques.

Par exemple, les minimas et maximas sont retardés dans les villes en raison de l'absorption de chaleur des bâtiments la journée pour la restituer la nuit. Autre exemple, « à échelle journalière, les écarts de températures entre le centre de Paris et le milieu le plus froid de la campagne peut dépasser 10°C » (Olivier Cantat, 2004). En outre, ce climat urbain saturé tend à se renforcer dans les années à venir en raison du changement climatique. Pour une agglomération comme Rennes « entre les périodes 1950-1979 et 1980-2009, le nombre de journées qualifiées de très chaudes (Tx ≥ 30°C) a doublé et selon le modèle ARPEGE (scénario A1B) ce nombre de journées projetées triplerait entre le début et la fin du XXIème siècle » (Foissard et al., 2012). Ceci peut paraître anecdotique hors comme le fait remarquer l'ADEME (*Diagnostic de la surchauffe urbaine*, 2017) : « En période de forte chaleur, la pratique quotidienne des espaces extérieurs et l'usage des bâtiments deviennent inconfortables pour les citadins. En cas de canicule, le manque de rafraîchissement nocturne en ville est un réel enjeu de santé pour les populations sensibles ». En effet, « la chaleur peut créer un stress thermique pour les populations sensibles comme les personnes âgées, nourrissons, jeunes enfants, malades... Du fait de la fragilité de leur condition physique ou de leurs conditions de vie (habitat inadapté, isolement), ces personnes sensibles sont particulièrement exposées à des risques d'insolation, de déshydratation, d'hyperthermie, de coup de chaleur ». A titre d'exemple, notons qu'en 2003, la surmortalité a été de 40 % plus élevée dans les petites et moyennes villes, 80 % plus élevée à Lyon, et 141 % plus élevée à Paris que dans le reste de la France (ADEME 2017, d'après Vandentorren et al., 2004). Pour résumer, le phénomène d'îlot de chaleur urbain peut induire une dégradation des conditions de confort, une amplification des risques sanitaires en conditions extrêmes, une surconsommation énergétique pour la climatisation des bâtiments, ainsi que la vulnérabilité des infrastructures. Par conséquent, mettre un voile sur ce phénomène serait une erreur. Outre le non refroidissement de l'espace citadin, le problème de la concentration de polluants peut également intervenir. Le risque sanitaire en ville est donc bel et bien présent et nécessite des études afin de répondre à une certaine demande sociale. C'est pourquoi les villes doivent aujourd'hui faire face à ce climat urbain modifié en développant bon nombre d'études sur le climat urbain. En conséquence, elles devront par exemple développer des bâtis écologiques, en intégrant de nombreux espaces d'eau et de verdure qui constituent à la fois un gain d'humidité pour la ville mais également de véritables aménités pour les habitants.

Afin de mieux entrer dans le sujet, abordons maintenant quelques bases nécessaires sur le bilan radiatif de la ville. Le bilan radiatif d'une surface peut être exprimée comme la quantité de rayonnement absorbée et la quantité de rayonnement envoyée vers l'atmosphère. Le rayonnement solaire arrivant à la surface lui peut être subdivisé en trois: le rayonnement direct (en fonction de la hauteur du soleil), le rayonnement diffus (se dispersant dans les nuages et particules atmosphériques), et le rayonnement réfléchi (en fonction de l'inclinaison du soleil).

Pour ce qui est du rayonnement global, il va comprendre le rayonnement direct + le rayonnement indirect tout cela en prenant en compte l'effet d'albédo. L'effet d'albédo qui est une fraction d'énergie réfléchie par rapport à l'énergie reçue. L'albédo est le rayonnement réfléchi / rayonnement incident x 100. Un albédo de 100% va réfléchir la totalité de la lumière, celui de 0% va au contraire absorber la totalité de la lumière incidente. En outre, cet albédo varie en fonction des

surfaces terrestres de part leurs couleurs et l'angle d'incidence des rayons. De plus, la part de pollution dans l'atmosphère des villes va altérer le rayonnement incident, ce qui va engendrer un apport énergétique moindre si l'on compare la ville à sa campagne environnante. Nous pouvons également évoquer le fait que l'imperméabilisation des sols et les équipements urbains vont freiner l'évaporation ce qui va engendrer une différence significative entre la chaleur latente et sensible (la chaleur sensible modifie la température d'une matière, la chaleur latente va elle modifier l'état physique d'une matière). Voici deux tableaux des valeurs diverses pour illustrer cet effet albédo ainsi que les différences énergétiques. Ceci met en exergue l'effet non réfléchissant et absorbant des surfaces imperméabilisées qui caractérisent les villes :

Caractéristiques	XS1	XS2	XS3	BR	IV	ρ VIS	ρ PIR	ρ RS
Zone urbaine :								
Haute densité (centre ville)	66 (26%)	55 (21%)	39 (15%)	199	-51	23,6%	15,2%	20,0 %
Moyenne densité (banlieue)	71 (28%)	67 (26%)	58 (23%)	254	-22	26,9%	22,6%	25,0 %
Basse densité (pavillonnaire)	63 (25%)	57 (22%)	82 (32%)	284	+54	23,4%	32,0%	27,1 %
Zone d'activité :								
Industrie (métallurgie)	45 (18%)	36 (14%)	28 (11%)	137	-37	15,9%	10,9%	13,7 %
Echangeur routier	55 (21%)	53 (21%)	54 (21%)	216	+3	21,1%	21,1%	21,1 %
Milieu naturel et agricole :								
* surfaces minérales :								
Sable mouillé	86 (34%)	77 (30%)	27 (11%)	217	-144	31,8%	10,5%	21,4 %
Sable sec (dunes)	119 (46%)	128 (50%)	112 (44%)	471	-20	48,2%	43,8%	46,3 %
Carrière (calcaire)	160 (62%)	210 (82%)	164 (64%)	698	-37	72,3%	64,1%	68,8 %
Terre agricole nue	70 (27%)	77 (30%)	87 (34%)	321	+18	28,7%	34,0%	31,0 %
* surfaces végétales :								
Champ en culture	63 (25%)	48 (19%)	167 (65%)	445	+166	21,7%	65,2%	40,4 %
Prairie (herbe desséchée)	65 (25%)	65 (25%)	90 (35%)	310	+48	25,4%	35,1%	29,6 %
* surfaces en eau :								
océan (large de la Rade de Caen)	46 (18%)	30 (12%)	15 (06%)	106	-100	14,8%	5,8%	10,9 %
eau peu profonde (sur sable)	52 (20%)	35 (14%)	21 (08%)	129	-75	17,0%	8,2%	13,2 %
bordure de plage sableuse	57 (22%)	38 (15%)	23 (09%)	141	-74	18,5%	9,0%	14,4 %
étang	52 (20%)	44 (17%)	37 (14%)	170	-26	18,7%	14,4%	16,8 %

BR : Bilan Radiatif solaire ..... = XS1 + XS2 + 2XS3, en valeurs radiométriques SPOT
IV : Indice de Végétation ..... = ((XS3 - XS2) / (XS3 + XS2)) x 300
ρ VIS : Albedo Visible ..... = 100 (XS1 + XS2) / (256 x 2), en %
ρ PIR : Albedo Proche Infra-Rouge .. = 100 XS3 / 256, en %
ρ RS : Albedo Solaire Global ..... = (ρ VIS x 57%) + (ρ PIR x 43%), en %

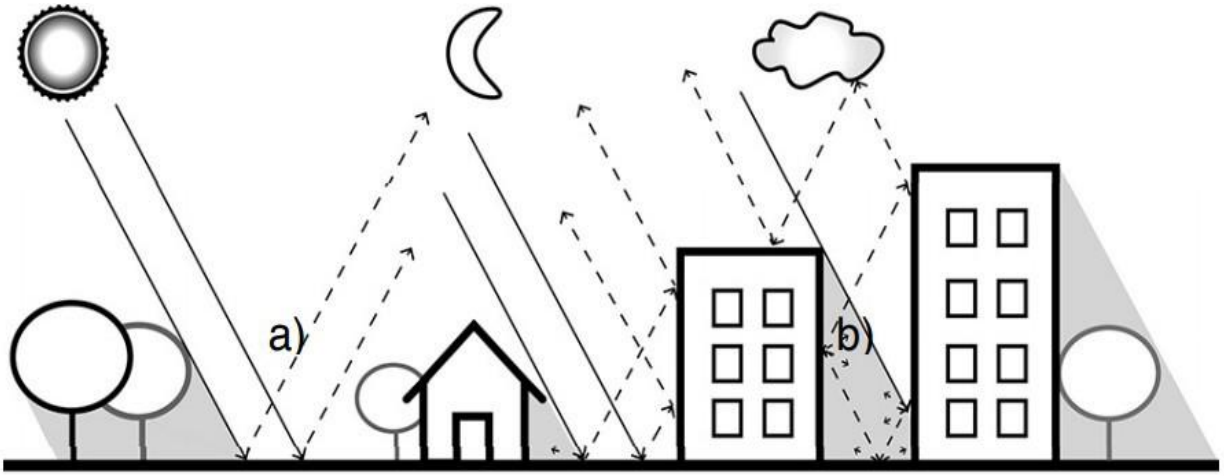
Src : *Le district urbain de Caen à travers l'imagerie satellitaire,* Chesnais, Cantat, Hamel, 19

Caracté-ristiques	Rayonnement global	Albedo	Energie disponible	Chaleur sensible	Chaleur latente
Centre ville	730 W / m²	20 %	80 % 730 × 0,80 572 W / m²	80 % 572 × 0,80 458 W / m²	20 % 572 × 0,20 114 W / m²
Espace vert	730 W / m²	40 %	60 % 730 × 0,60 429 W / m²	14 % 429 × 0,14 60 W / m²	86 % 429 × 0,86 369 W / m²

Src : *Le district urbain de Caen à travers l'imagerie satellitaire*, Chesnais, Cantat, Hamel, 1992.

Afin de résumer ce qui a été dit auparavant, nous pouvons faire une comparaison entre ville et campagne mais également entre jour et nuit. En ville et en journée, le flux de chaleur sensible va être plus important que celui de chaleur latente. Au contraire, en campagne ce sera le contraire. En outre, le flux de chaleur dans le sol sera plus important en ville qu'en campagne. La nuit, les flux seront stables et restreints en campagne tandis qu'en ville en raison de la restitution tardive de l'énergie, le flux de chaleur latente sera toujours présent ainsi que les flux de chaleur dans le sol.

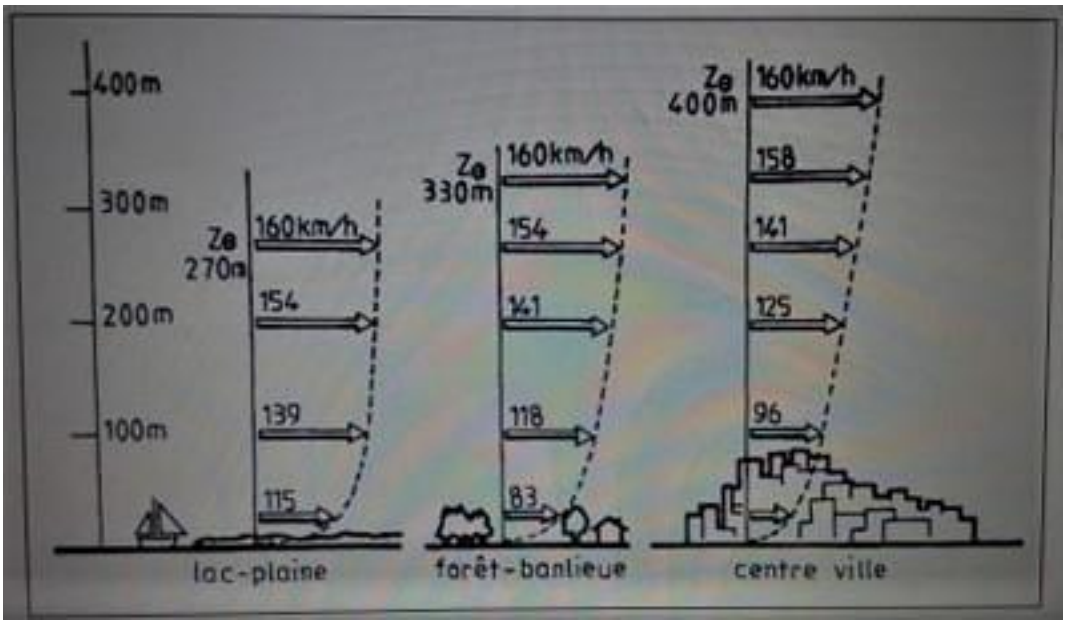
De plus, l'exposition à une grande influence sur l'incidence des rayons solaires. L'exemple le plus classique est l'Adret (versant au soleil) et l'Ubac (versant à l'ombre) dans des espaces accidentés. Nous pouvons mettre ceci en parallèle avec le cas de la ville qui possède de nombreuses formes, hauteurs et orientations de bâtis ce qui engendre possiblement des contrastes entre divers espaces du milieu urbain. Ces constructions verticales peuvent certes capter l'apport énergétique d'une meilleur façon qu'une surface plane, en revanche elles induisent également des zones d'ombres qui peuvent être temporaires ou constantes.



Src : *Adapter les quartiers et les bâtiments au réchauffement climatique*, Catherine Dubois, 2014.

Certaines rues peuvent piéger le rayonnement solaire en le répartissant inégalement. Pour Georges Najjar et al. (*Topographie et climatologie urbaine*, 2010) « c'est la couche dans laquelle nous vivons et où se produit la majorité des échanges. Elle est caractérisée par une très grande hétérogénéité spatiale. L'unité d'étude adaptée à cette couche est le canyon urbain, entité limitée par la rue, les murs et les toits ».

Ceci nous amène à aborder les mouvement d'airs et la rugosité en milieu urbain. Au sein d'une zone urbaine, la multiplicité des constructions entraîne une augmentation de la rugosité et par conséquent une diminution de la vitesse du vent. Ce point est important dans la mesure où lors d'une stagnation de l'air, de stabilité, les conditions pour créer un microclimat sont présentes. A titre d'exemple, pour une même hauteur d'environ 20m au-dessus du sol, on observe une vitesse moyenne d'environ 20 à 30% moins importante en ville (Colombert, 2010 d'après Christian Sacre, 1983). Néanmoins, notons que la ville engendre également des perturbations et turbulences des masses d'air qui peuvent localement accélérer le vent.

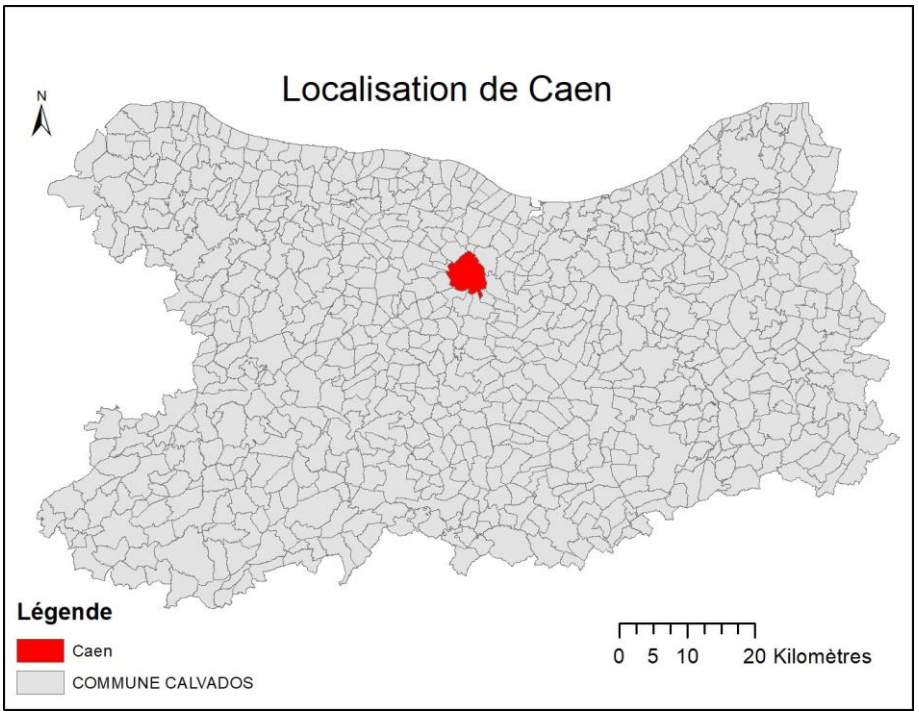


Src : Chatelet, Fernandez, Lavigne, *Architecture climatique*, 1998.

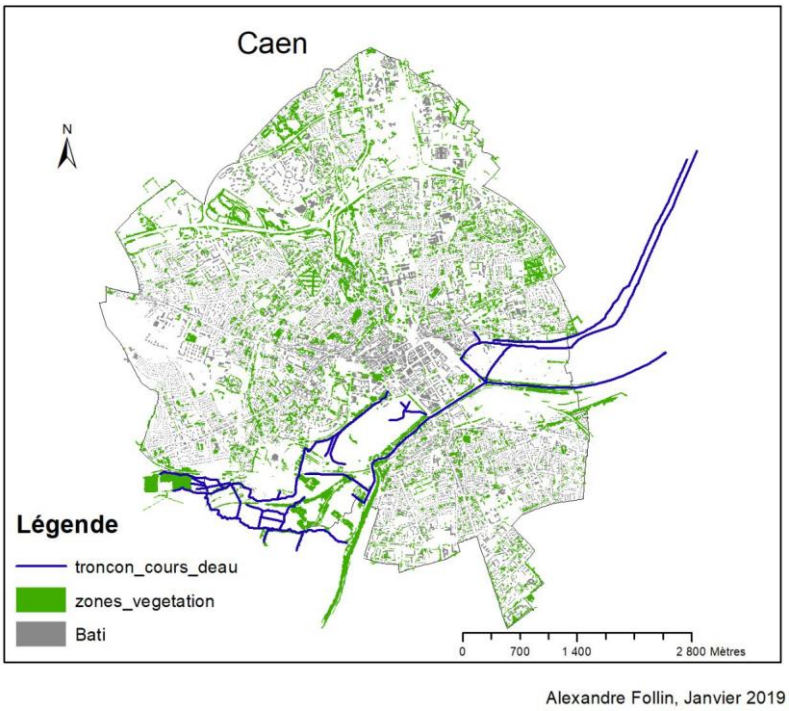
II) Contexte géographique de l'étude :

En ce qui concerne ma recherche, je vais m'intéresser à la ville de Caen. Caen est la préfecture du Calvados, constituant le pôle urbain le plus important de l'ex Basse-Normandie. La ville est composée de 108 461 habitants (Populations légales 2016 INSEE). Nous y retrouvons 4 134,6 hab/km² (INSEE 2015) sur 25,7km². De plus, Caen se situe à 15 kilomètres de la Manche, et à environ 2h et 240km de Paris. Géologiquement la ville s'inscrit dans le Bassin Parisien qui est marqué par des plaines et des plateaux de faibles hauteurs. En outre, Caen repose sur un plateau calcaire ainsi que sur un fond de vallée limoneux. Topographiquement, le plateau Nord culmine à environ 70m, le plateau Sud quant à lui atteint environ 40m. L'agglomération est marquée par un relief peu accidenté. Néanmoins, au sein de ces douces pentes des versants de l'Orne nous pouvons mettre en évidence le dénivelé d'environ 60m (sur ≈ 2km) entre l'Université de Caen-Normandie sur le plateau Nord et la « praire » en fond de vallée. L'hypercentre de la ville est un espace où les dalles et pavés ont lentement été remplacées par du bitume. Le château au nord, le port de plaisance à l'Ouest, l'espace végétalisée de la « prairie » au Sud, et l'abbaye aux Hommes à l'Est structurent ce centre urbain. Le reste de l'agglomération concentre des quartiers résidentiels ainsi que des bâtis de type commerciaux ou encore artisanaux. Concernant la couronne externe de la ville, des quartiers d'habitations à loyers modérés (HLM) structurent le Sud avec les quartiers de « la Guérinière » et celui de la « Grâce de Dieu ». Au nord, au « Chemin Vert » ou encore au « Calvaire Saint-Pierre » les quartiers résidentiels collectifs sont partagés avec de nombreux bâtis dédiés au domaine tertiaire. D'un point de vue plus large, des communes comme Mondeville, Hérouville et Colombelles prolongent l'urbanisation de Caen.

Src : Carte IGN, Géoportail.

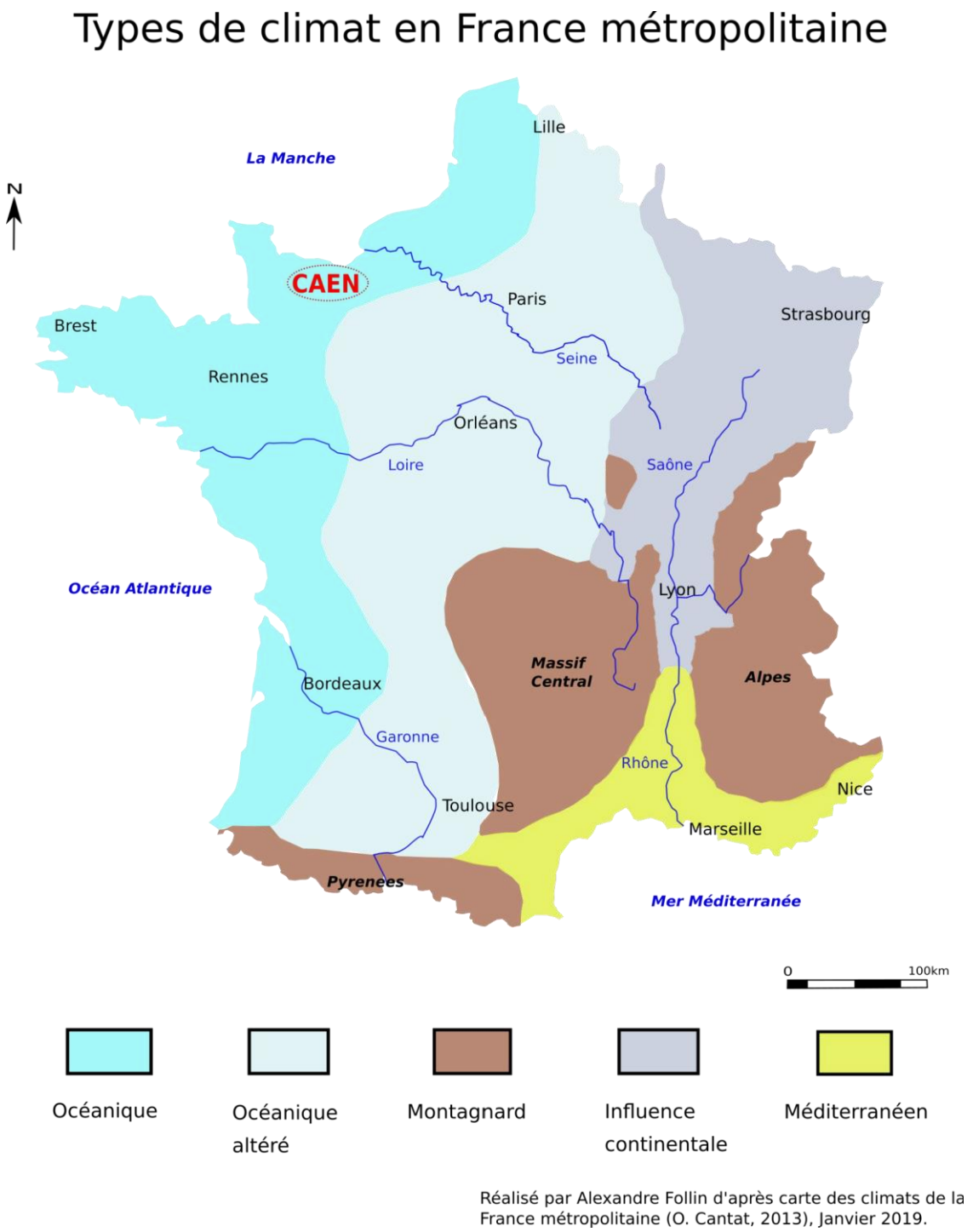


Src : BD Topo, Arcgis, Alexandre Follin, Janvier 2019

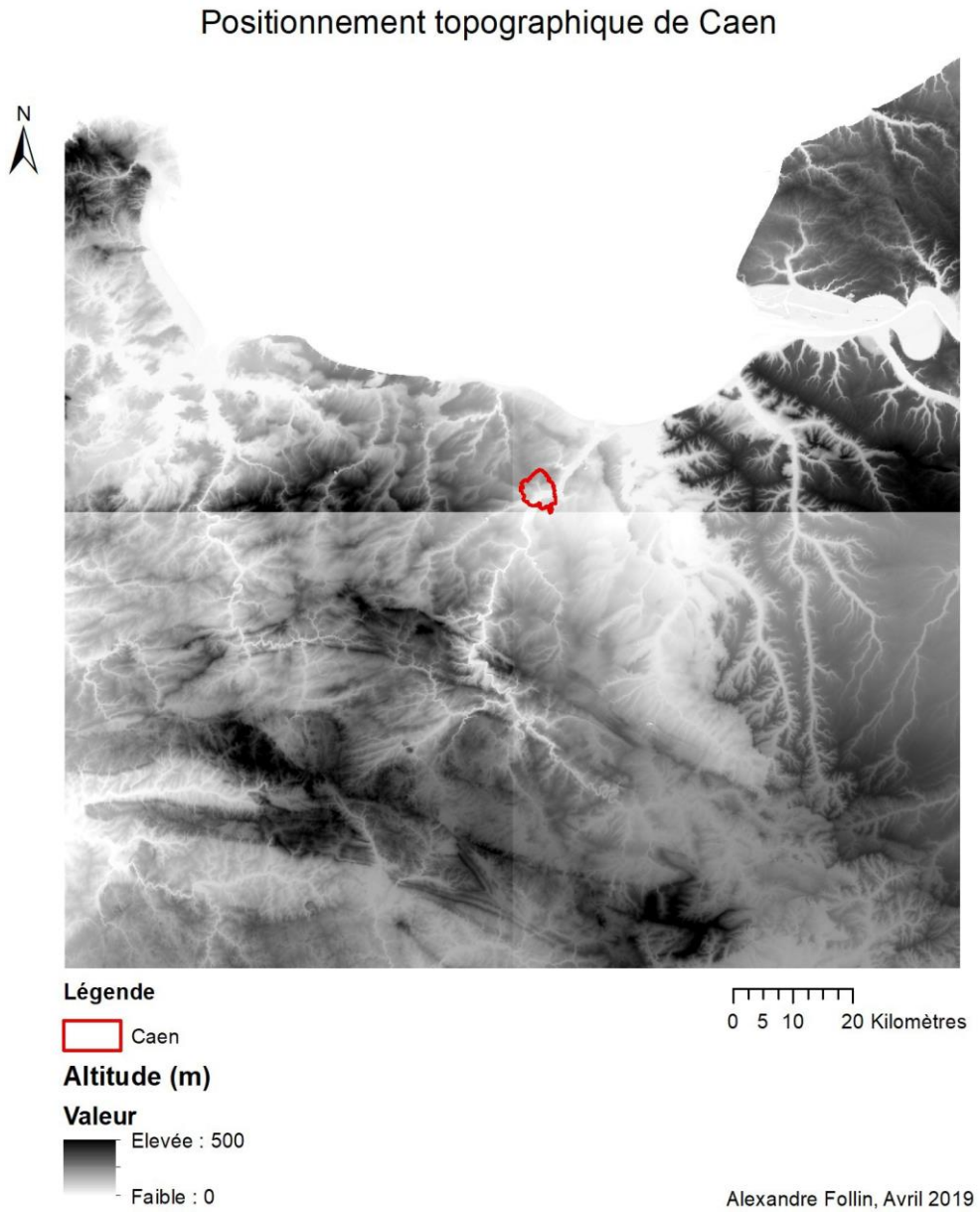


Src : BD Topo, Arcgis, Alexandre Follin, Janvier 2019

La ville s'inscrit également dans un climat océanique « tempéré », par conséquent, la proximité de la mer rend les températures de la ville assez stables et non excessives. Les précipitations sont quant à elles régulières dans l'année avec des moins plus arrosés entre Octobre et Janvier. Pour synthétiser, les masses d'airs provenant des flux d'Ouest confèrent à la région un climat assez doux et pluvieux en hiver (masse d'air océanique) et légèrement frais et humide l'été (masse d'air océanique).

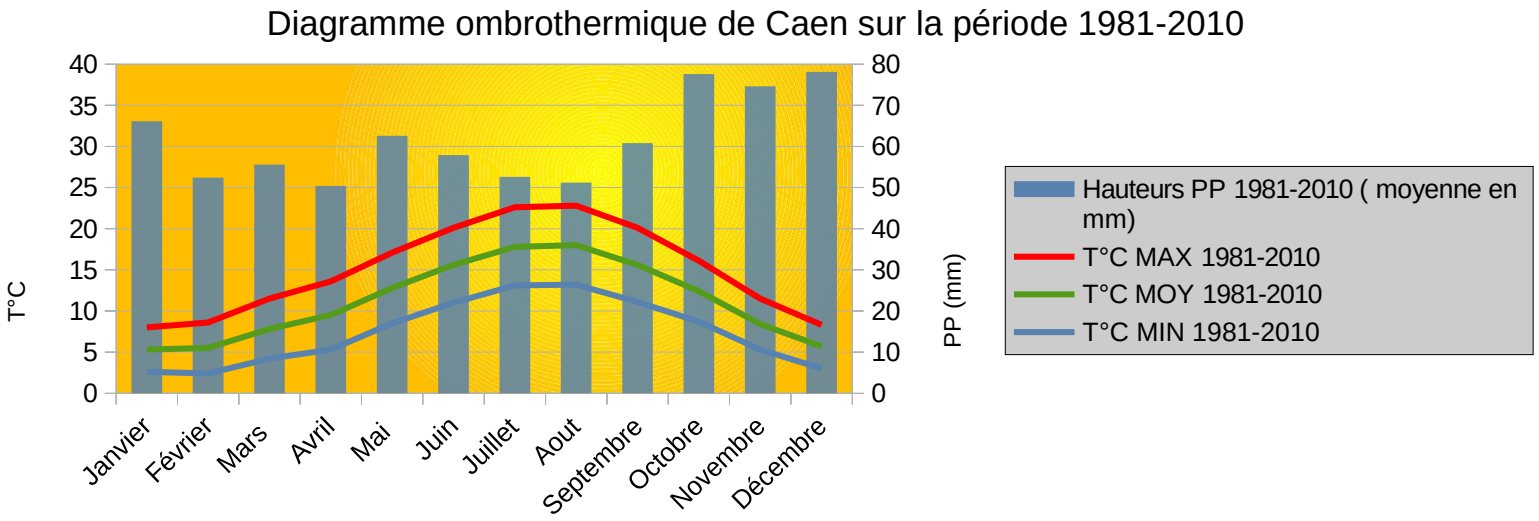


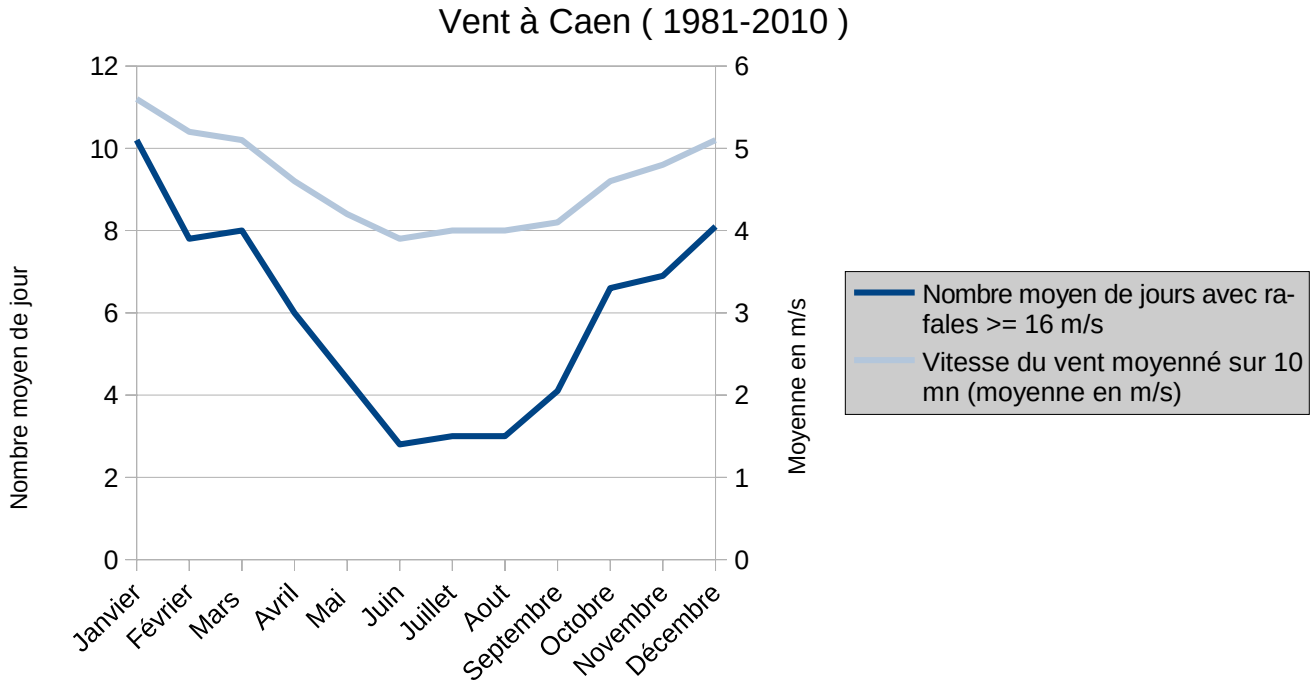
D'un point de vue topographique, nous avons un espace globalement très plat (≈ 3m jusqu'à 70m). Par conséquent il n'y a pas de véritable creux topographique ou d'élévation significative qui pourraient contraindre les masses d'air et ainsi expliquer certaines températures ou différences climatiques avant même d'aborder un effet urbain sur le climat.



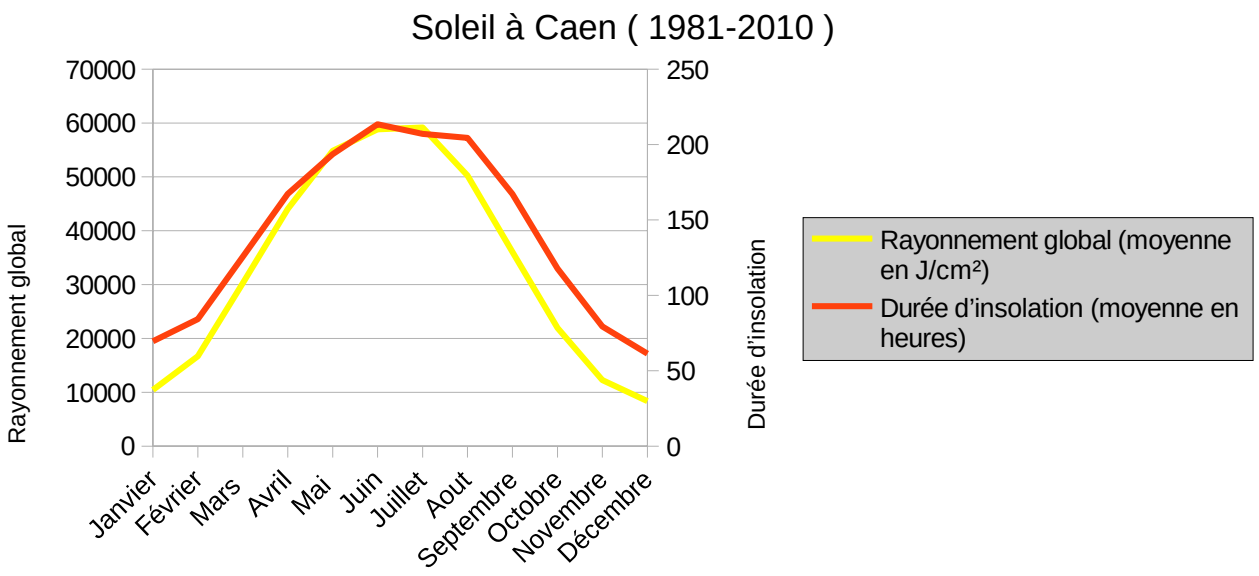
Src : BD Alti 75m, Arcgis, Alexandre Follin, Avril 2019

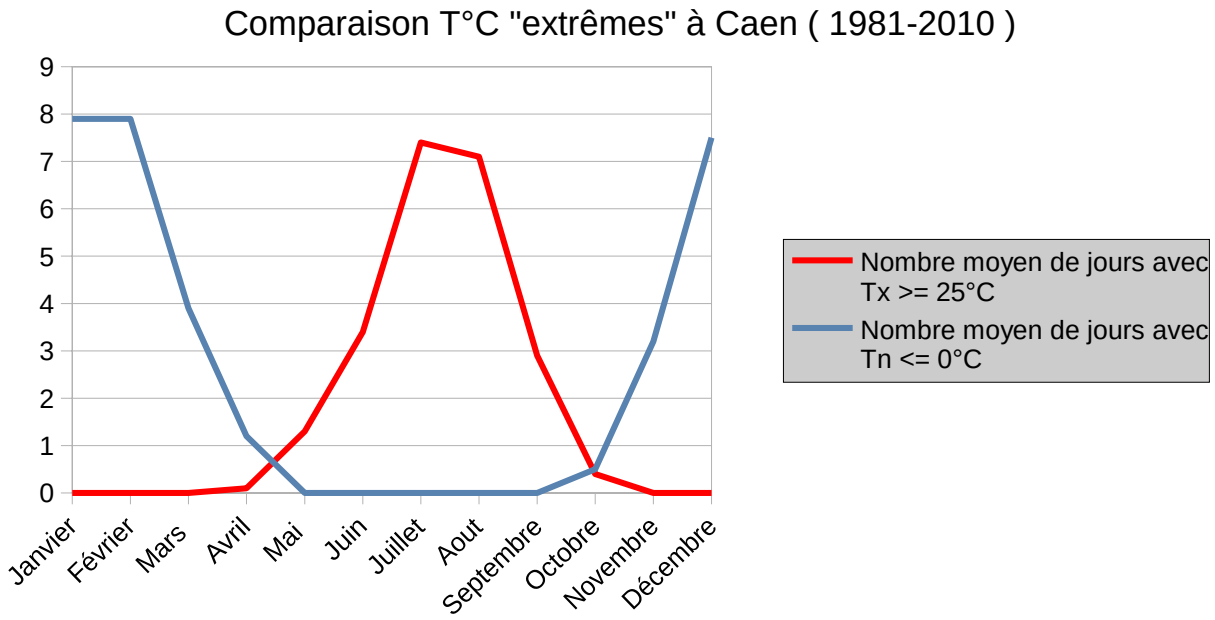
Pour apprécier les tendances climatiques qui caractérisent la ville de Caen, observons quelques représentations graphiques sur la période 1981-2010 :





Src : Graphiques réalisés à partir de la fiche climatologique, statistiques 1981−2010 et records Météo-France, Alexandre Follin, Janvier 2019.



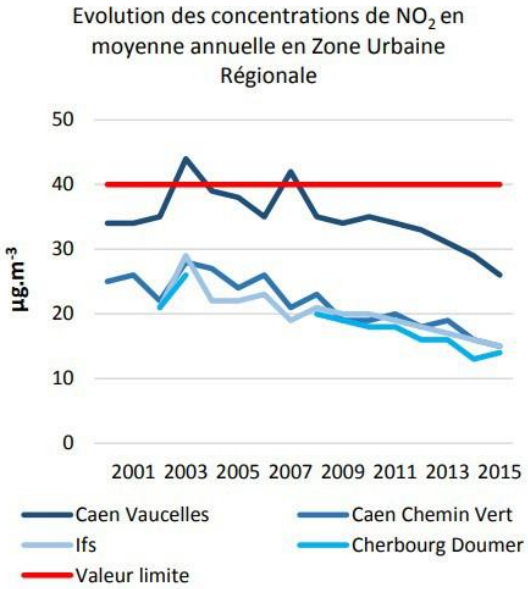


Src : Graphiques réalisés à partir de la fiche climatologique, statistiques 1981−2010 et records Météo-France, Alexandre Follin, Janvier 2019.

Ceci est important car comme le fait entendre Gisèle Escourrou en 1984, « Le climat d'une ville ne peut pas se séparer de son environnement. » De plus, G.Escourrou met en lumière le fait que « pour bien comprendre le climat d'une agglomération, il est préférable d'étudier les rapports entre les bilans d'énergie différents (celui de la ville et ceux de la périphérie) plutôt qu'une simple étude des changements à l'intérieur de la ville liés à l'urbanisation ». C'est pour ces raisons qu'une comparaison entre la station Météo-France de Carpiquet (14650) et une station Davis Vantage Pro2 au centre de Caen (14000) sera faite en amont des mesures intra-urbaine. Ajoutons également que la comparaison ville-campagne a été réalisée sur la période Décembre 2018 - Mars 2019. Les mesures urbaines ont été faites entre Février et Avril 2019. De plus, ces mesures itinérantes seront réalisées à divers horaires (car ICU plus présent la nuit) ainsi que lors de divers types de temps (car ICU plus présent lors d'un temps clair et calme) afin d'obtenir la meilleure représentativité possible.

III) Comparaison « Ville-Campagne »

Comme évoqué précédemment, le climat d'une ville ne peut pas s'étudier si l'on ne prend en compte que celle ci. En effet, une ville s'inscrit dans un contexte plus large qui est souvent déterminant lors de l'analyse du climat de l'agglomération. Nous avons vu en amont que la topographie générale n'est pas un facteur important dans le climat de la ville de Caen. La pollution, pouvant être un élément important dans le climat d'une ville fortement industrialisée ou en position topographique favorisant les concentration de polluants semble également être un élément négligeable à Caen. En effet, « depuis l'année 2000, deux dépassements de la valeur limite annuelle, applicable depuis 2010, sont survenus en 2003 et 2007, uniquement à la station de proximité du trafic de Caen Vaucelles » (atmonormandie, *rapport de mesures 2015,* 2016).



Src : atmonormandie, *rapport de mesures 2015,* 2016.

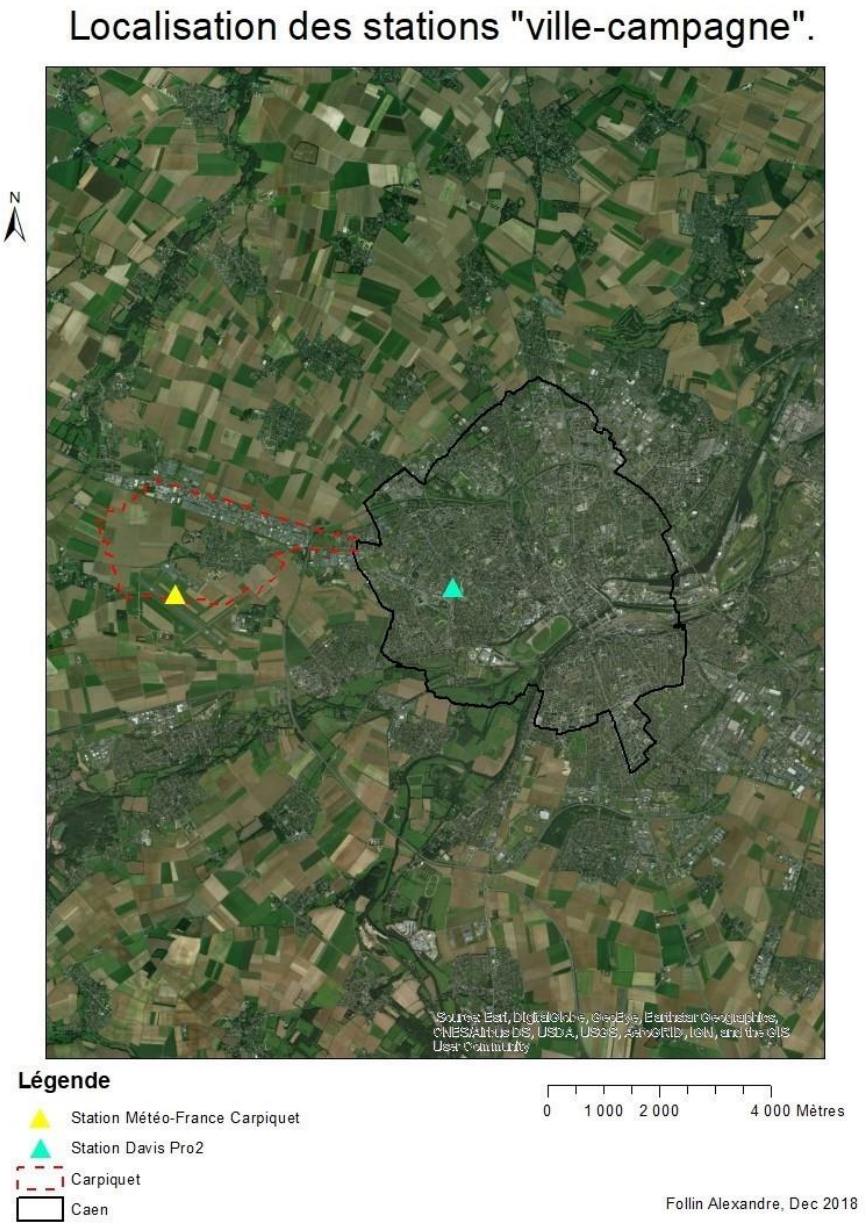
Il apparaît alors judicieux de comparer la ville avec sa « campagne » ou tout du moins une zone périphérique ne présentant pas des caractéristiques urbaines marquées. L'idée est alors d'établir si un phénomène d'îlot de chaleur urbain est présent à Caen et si la ville se démarque réellement de ce qui l'environne. Pour ce faire, nous avons choisi une comparaison entre deux points (≈ 6km de distance) qui nous donnera les facteurs température, humidité, précipitation, vent, et insolation. Ajoutons que la prise de mesure est calibrée pour une mesure par heure. En outre, la prise de mesure s'est déroulée du 18 Décembre 2018 (12h00 UTC) jusqu'au 15 Mars 2019 (22h59 UTC).

L'objectif de ce mémoire de recherche n'est pas essentiellement de trouver de grandes différences climatiques. Ici, nous voulons procéder à l'appréhension du phénomène d'îlot de chaleur urbain de l'agglomération caennaise qui reste méconnu. Il faut également être conscient que la recherche se déroule en période hivernale, tandis que l'îlot de chaleur urbain est globalement plus présent en été. Pour étayer ceci, J.Dettwiller fait état en 1970 du fait que « la ventilation intense, durant la saison froide, élimine une grande partie de cette chaleur artificielle, tandis que durant l'été, où les vents restent généralement plus faibles, l'influence de la nature du sol devient prépondérante ». Par conséquent, une forme de continuité et le développement du projet pourrait

être intéressant à l'avenir dans une démarche de connaissance et/ou de réduction de l'îlot de chaleur urbain (si celui ci devenait un réel enjeu dans l'agglomération). Voici donc la localisation des deux stations :

- La station Météo-France de Carpiquet (14650) qui constituera notre point référence de « campagne ».

- Une station Davis Vantage Pro2 : « Station professionnelle formée d'un ensemble de capteurs (ISS) et d'une console d'affichage LCD. La console d'affichage reçoit les données provenant de l'ISS sur 868 Mhz à une distance de 300 m maxi. Alimentation de l'ISS est assurée par le panneau solaire intégré et la console d'affichage est fournie avec un transformateur secteur » (http://www.littoclime.net/6152-station-vantage-pro-2-sans-fils,fr,4,6152.cfm) à Caen qui constitue-ra notre point référence pour le climat de ville.



Src : BD Topo, Arcgis, Alexandre Follin, Janvier 2019

Notons que l'installation de la station Davis n'a pas été réalisée sans réflexion. En effet, il est préférable de comparer du comparable, dès lors, l'établissement de la station Davis devait se faire dans un site « type » normalisé, c'est à dire plat, engazonné, avec de l'espace en hauteur et une assez faible obstruction sur les cotés. Par conséquent, la station a été orientée Sud, 19 allée des Merisiers dans le jardin d'un particulier, le 18 décembre 2018. Ce site possède globalement les qualités d'un site normalisé, de plus il constitue la référence pour un jardin urbain. En outre, la station est placée chez un particulier pour se prémunir contre les détériorations ou vols pouvant survenir dans un espace public. Voici ci dessous quelques photographies de cette station qui constituera notre point référence « ville » :

Src : Photographies Alexandre Follin, 18/12/18, 10h05.

Src : Capture d'écran image Google street view, Alexandre Follin, Avril 2019

Src : Captures d'écran géoportail, Alexandre Follin, Avril 2019

Voici également quelques informations et précisions concernant l'emplacement de la station Météo-France située dans l'enceinte de l'aéroport de Caen-Carpiquet (qui constituera notre point référence « campagne ») :

LOCALISATION	
Département:	CALVADOS(14)
Commune:	CARPIQUET
Lieu-dit:	AEROPORT DE CAEN
Latitude:	49°10'48" Nord
Longitude:	0°27'22" Ouest
Date localisation:	25/04/2008
Altitude:	67 m
Date d'ouverture:	01/10/1944
Date de fermeture:	Ouvert

Src : Météo-France, *14137001 CAEN-CARPIQUET AEROPORT DE CAEN*, 2017

Src : Météo-France, *14137001 CAEN-CARPIQUET AEROPORT DE CAEN*, 2017

Concernant, la station Météo-France, la récolte des données a eu lieu par le biais d'Olivier Cantat (UFR géographie, Geophen, Caen) qui possède l'accès aux données Météo-France qui sinon, sont assez difficile à obtenir. Dans un autre temps, la récolte de données de la Station Davis Vantage Pro2 se fait grâce au logiciel WEATHERLINK qui permet d'extraire les données de la station directement via une connexion USB.

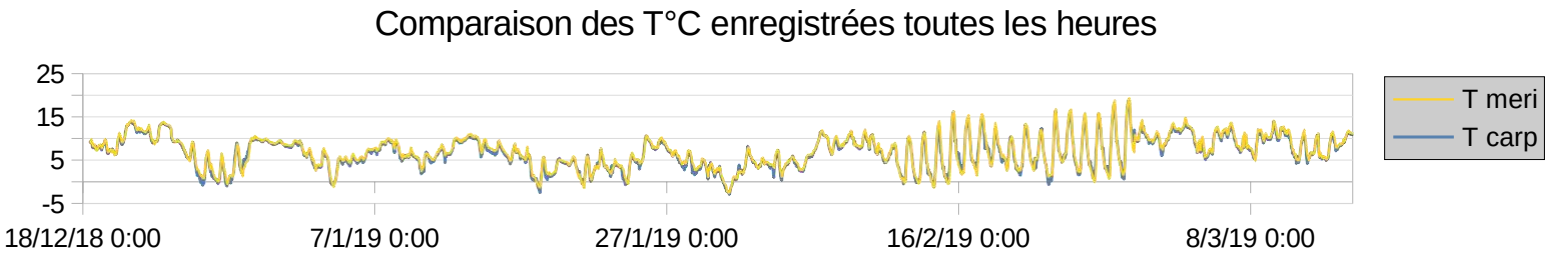
Src : Fonctionnalités du logiciel Weatherlink, Avril 2019, Alexandre Follin

Après avoir procédé à la récolte des données, la question de la nature des données et de leur qualité n'est plus à aborder car il apparaît que nos données sont sérieuses (Météo-France et station « professionnelle »). Par la suite, avec une mise en forme nous pouvons faire figurer les données dans un tableau Excel qui représentera l'intégralité de notre jeu de données. Un point important de compréhension, la station Carpiquet est représentée en bleu sous le nom de Carp. La station Davis Vantage de Caen est représentée en jaune sous le nom de Meri (allée des merisiers) :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1		°C	°C	°C	°C	°C	km/h		km/h		mm	J/cm²			°C	°C	°C	%	°C	km/h		km/h		mm	J/cm²
2		T meri	TX meri	TN meri	HR meri	TD meri	FF meri	DD meri	FXI meri	DXI meri	RR meri	NRJ meri			T carp	TX carp	TN carp	HR carp	TD carp	FF carp	DD carp	FXI carp	DXI carp	RR carp	NRJ ca
3	18/12/18 12:00	9	9	8,8	76	5	3,2	SE	14,4	E	0	16		18/12/18 12:00	9	9	8,9	68	3,4	30,6	150	46,4	150	0	20
4	18/12/18 13:00	8,9	9,2	8,9	75	4,7	3,2	ESE	11,2	ENE	0	16		18/12/18 13:00	9,2	9,2	8,9	66	3,2	32,8	160	46,8	160	0	21
5	18/12/18 14:00	9,1	9,2	8,9	74	4,7	1,4	SE	14,4	E	0	10		18/12/18 14:00	9,1	9,4	9,1	65	2,9	22	160	49,7	160	0	11
6	18/12/18 15:00	9,9	9,9	9	67	4	1,4	ESE	11,2	E	0	6		18/12/18 15:00	9,4	9,4	9	63	2,7	24,1	180	38,2	160	0	7
7	18/12/18 16:00	9,6	10,1	9,6	71	4,6	3,2	ESE	19,4	ESE	0	1		18/12/18 16:00	8,7	9,6	8,6	70	3,6	28,4	170	48,2	170	0,2	0
8	18/12/18 17:00	8,7	9,7	8,7	79	5,2	3,2	ESE	17,6	ESE	0,25	0		18/12/18 17:00	7,9	8,7	7,9	81	4,8	26,6	180	49,3	180	0,6	0
9	18/12/18 18:00	8,2	8,7	8,2	84	5,6	3,2	ESE	14,4	E	0,76	0		18/12/18 18:00	7,8	8	7,8	86	5,6	30,2	170	46,1	170	0,6	0
10	18/12/18 19:00	8,2	8,2	8,1	86	6	3,2	ESE	17,6	SE	0,76	0		18/12/18 19:00	7,8	7,9	7,7	89	6,1	31	180	51,1	160	0,8	0
11	18/12/18 20:00	8,7	8,7	8,2	86	6,5	4,7	ESE	17,6	SE	0	0		18/12/18 20:00	8,1	8,4	7,8	90	6,5	28,8	190	47,2	190	0	0
2082	15/3/19 2:59	11,4	11,5	11,1	88	9,5	7,9	W	30,6	SW	0	0		15/3/19 2:59	11	11,1	10,8	92	9,8	41	260	68,8	270	0	0
2083	15/3/19 3:59	11,3	11,5	11,3	89	9,6	7,9	W	30,6	SW	0	0		15/3/19 3:59	11	11	10,9	92	9,8	38,9	260	69,1	260	0	0
2084	15/3/19 4:59	11,3	11,4	11,3	88	9,4	9,7	W	33,8	W	0	0		15/3/19 4:59	10,9	11	10,9	91	9,4	40,3	260	74,2	260	0	0
2085	15/3/19 5:59	11,3	11,3	11,2	86	9,1	7,9	W	27,4	WSW	0	0		15/3/19 5:59	11	11,1	10,8	88	9	44,3	270	75,6	280	0	0
2086	15/3/19 6:59	11	11,4	10,9	88	9,1	7,9	W	24,1	W	0	1		15/3/19 6:59	10,8	10,9	10,6	90	9,2	40,3	270	58,7	260	0	0
2087	15/3/19 7:59	11,3	11,4	11	87	9,2	7,9	W	28,8	WSW	0	5		15/3/19 7:59	10,8	11	10,7	92	9,6	34,6	260	61,9	270	0	2
2088	15/3/19 8:59	11,6	11,6	11,2	88	9,6	7,9	W	24,1	SW	0	15		15/3/19 8:59	11,2	11,2	10,8	92	9,9	36,4	250	58,3	250	0	21
2089	15/3/19 9:59	11,9	12	11,5	86	9,7	9,7	W	33,8	WSW	0	21		15/3/19 9:59	11,5	11,6	11,2	89	9,8	43,6	260	72	250	0	34
2090	15/3/19 10:59	12,3	12,3	11,9	85	9,9	11,2	W	28,8	W	0	33		15/3/19 10:59	11,8	11,8	11,5	87	9,7	42,1	260	67	260	0	39
2091	15/3/19 11:59	11,9	12,3	11,9	87	9,8	9,7	W	32	W	0	23		15/3/19 11:59	11,4	11,8	11,4	91	9,9	41,8	260	71,3	250	0	29
2092	15/3/19 12:59	11,7	12	11,7	88	9,8	9,7	W	27,4	W	0	26		15/3/19 12:59	11,3	11,5	11,3	92	10	38,9	260	60,8	260	0,2	34
2093	15/3/19 13:59	11,7	11,7	11,6	88	9,8	7,9	W	22,7	W	0	23		15/3/19 13:59	11,3	11,4	11,3	92	10	41,4	250	61,6	250	0	32
2094	15/3/19 14:59	11,6	11,7	11,4	89	9,8	9,7	W	28,8	SW	0	19		15/3/19 14:59	11,3	11,3	11,1	91	9,9	40,3	260	62,6	260	0,2	25
2095	15/3/19 15:59	11,8	11,8	11,6	86	9,5	9,7	W	28,8	WSW	0	19		15/3/19 15:59	11,2	11,4	11,2	90	9,7	37,8	260	60,5	270	0	19
2096	15/3/19 16:59	11,4	11,8	11,3	88	9,5	7,9	W	25,9	W	0	15		15/3/19 16:59	10,8	11,2	10,8	92	9,6	38,5	250	62,3	250	0	15
2097	15/3/19 17:59	11,1	11,4	11,1	88	9,2	7,9	W	27,4	W	0	4		15/3/19 17:59	10,5	10,8	10,5	93	9,4	33,1	250	73,1	270	0	2
2098	15/3/19 18:59	10,8	11,1	10,8	88	8,9	7,9	W	27,4	SSW	0	0		15/3/19 18:59	10,4	10,6	10,4	91	9	33,1	260	61,2	250	0	0
2099	15/3/19 19:59	10,8	10,9	10,8	87	8,8	7,9	W	32	W	0	0		15/3/19 19:59	10,4	10,5	10,3	90	8,8	38,2	260	60,5	230	0	0
2100	15/3/19 20:59	10,9	10,9	10,8	86	8,6	7,9	W	22,7	WNW	0	0		15/3/19 20:59	10,2	10,4	10,2	91	8,8	34,6	250	57,6	250	0	0
2101	15/3/19 21:59	10,4	10,9	10,3	89	8,7	6,5	W	25,9	SW	0	0		15/3/19 21:59	10	10,2	9,9	92	8,8	31,7	250	59	260	0	0
2102	15/3/19 22:59	10,7	10,7	10,4	87	8,6	4,7	SW	22,7	WNW	0	0		15/3/19 22:59	10,1	10,3	10,1	91	8,7	31	240	45,7	250	0	0

Src : Tableau des données récoltées, Alexandre Follin, Avril 2019.

Afin de simplifier la vision du tableau de données nous pouvons premièrement faire un très simple graphique des températures récoltées toutes les heures afin de comparer nos deux stations et ainsi voir si, de prime abord, une différence significative apparaît :



Src : Graphique réalisé à partir des données Météo-France et station Davis, Avril 2019, Alexandre Follin

Avec ce simple graphique, nous pouvons constater que le paramètre (T°C) n'est pas suffisant pour analyser les différences entre nos deux stations. En effet, se limiter aux températures moyennes dans un travail climatique semble bel et bien insuffisant. Nous pouvons observer à première vue que les températures de la station de Caen sont égales ou très légèrement supérieures à celles de Carpiquet. Mais il faut aller plus loin car aucunes différences n'apparaissent.

Par conséquent, nous pouvons calculer les moyennes horaires (du 18 Décembre 2018 au 15 Mars 2019) de nos deux stations afin d'avoir un meilleur aperçu des possibles différences :

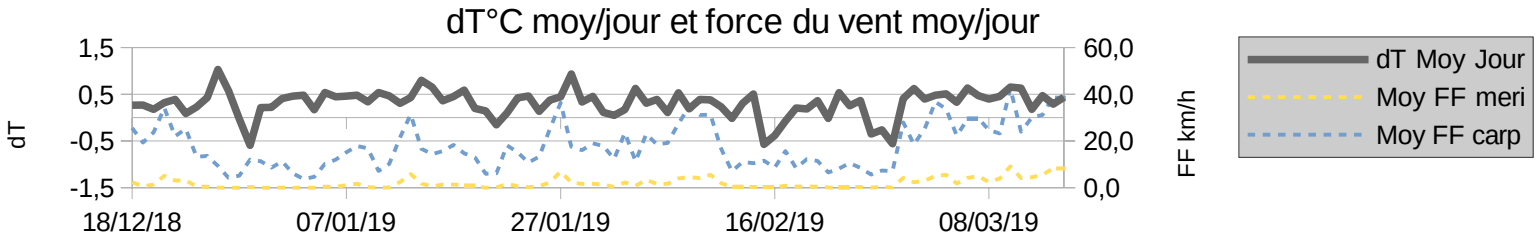
		°C	°C	°C	°C	°C	km/h		km/h			J/cm²
		T meri	TX meri	TN meri	HR meri	TD meri	FF meri		FXI meri			NRJ meri
0		6,0	6,3	5,8	85,6	3,7	1,3		8,4			0,0
1		6,0	6,2	5,8	85,5	3,7	1,4		8,6			0,0
2		5,8	6,2	5,7	85,7	3,6	1,7		9,1			0,0
3		5,7	5,9	5,6	86,0	3,5	1,6		8,8			0,0
4		5,5	5,8	5,4	86,2	3,4	1,5		8,7			0,0
5		5,5	5,7	5,3	86,6	3,4	1,4		8,3			0,0
6		5,4	5,6	5,2	86,6	3,3	1,6		8,6			0,0
7		5,4	5,6	5,2	86,8	3,4	1,6		8,9			0,2
8		5,5	5,7	5,2	86,7	3,4	1,6		9,0			2,9
9		6,1	6,2	5,4	86,3	4,0	1,8		9,9			11,0
10		7,4	7,4	6,1	83,3	4,6	2,1		11,6			29,5
11		8,5	8,6	7,3	79,6	5,1	2,6		12,8			47,6
12		9,2	9,3	8,4	77,6	5,4	3,1		14,6			41,2
13		9,7	9,9	9,1	76,1	5,5	3,2		14,9			36,6
14		9,9	10,1	9,5	75,5	5,6	3,2		14,9			28,3
15		9,9	10,2	9,7	75,5	5,6	2,9		14,2			22,0
16		9,6	10,0	9,5	75,9	5,4	2,6		13,4			17,2
17		8,9	9,6	8,9	78,3	5,2	2,0		11,3			6,9
18		8,0	8,9	8,0	80,6	4,9	1,6		9,1			0,7
19		7,4	8,1	7,3	82,5	4,5	1,3		8,2			0,0
20		6,9	7,5	6,8	83,8	4,3	1,3		7,6			0,0
21		6,6	7,0	6,5	84,6	4,2	1,4		8,1			0,0
22		6,4	6,7	6,3	85,1	4,0	1,4		7,5			0,0
23		6,2	6,5	6,0	85,5	3,9	1,4		8,2			0,0

		°C	°C	°C	%	°C	km/h		km/h			J/cm²
		T carp	TX carp	TN carp	HR carp	TD carp	FF carp		FXI carp			NRJ carp
0		5,9	6,3	5,6	87,3	3,9	17,3		28,0			0,0
1		5,8	6,2	5,6	87,6	3,8	17,4		29,0			0,0
2		5,6	6,0	5,4	88,2	3,7	16,8		29,2			0,0
3		5,4	5,8	5,2	88,9	3,6	16,8		28,1			0,0
4		5,2	5,6	5,0	89,4	3,5	16,1		27,1			0,0
5		5,3	5,5	4,9	89,7	3,6	17,2		27,7			0,0
6		5,2	5,6	5,0	89,1	3,5	17,7		29,0			0,0
7		5,2	5,5	4,9	89,3	3,6	17,2		28,5			0,1
8		5,5	5,7	4,9	89,1	3,8	17,1		28,4			5,9
9		6,2	6,3	5,4	87,3	4,2	17,5		28,6			25,6
10		7,3	7,3	6,2	84,0	4,7	19,3		30,9			51,2
11		8,3	8,3	7,2	80,1	4,9	20,2		32,8			73,0
12		8,9	9,1	8,1	77,7	5,0	21,0		34,9			85,4
13		9,4	9,6	8,7	75,6	5,1	21,0		34,9			89,1
14		9,6	9,9	9,2	74,8	5,1	20,7		35,1			78,9
15		9,5	9,9	9,2	74,9	5,0	20,1		34,2			59,9
16		9,0	9,6	8,9	76,7	4,9	18,6		32,4			35,8
17		8,1	9,0	8,1	80,4	4,8	16,9		29,8			13,3
18		7,3	8,2	7,3	83,5	4,6	15,4		27,1			1,1
19		6,8	7,5	6,6	85,3	4,4	15,5		26,3			0,0
20		6,4	7,0	6,2	86,6	4,3	15,6		25,9			0,0
21		6,2	6,7	5,9	87,1	4,2	16,3		26,6			0,0
22		6,0	6,5	5,8	87,7	4,1	16,6		27,6			0,0
23		6,0	6,4	5,7	87,8	4,1	17,0		27,7			0,0

Src : Moyennes horaires réalisées à partir des données Météo-France et station Davis, Avril 2019, Alexandre Follin

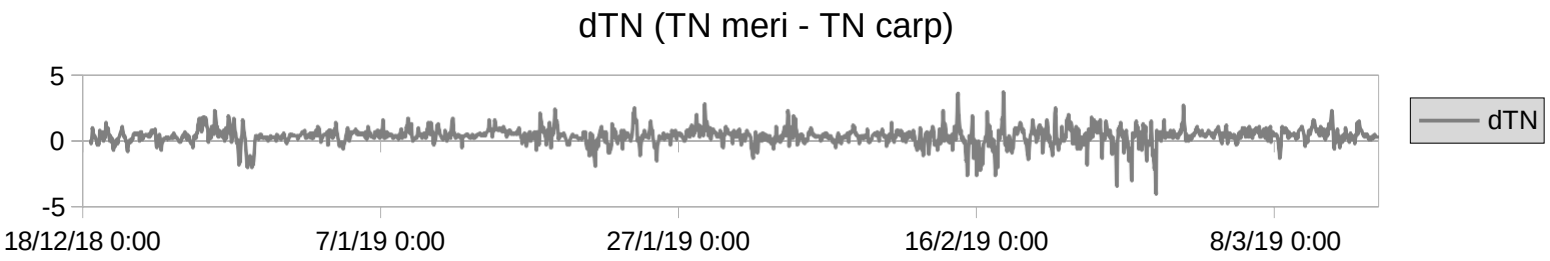
Ceci nous permet de constater que les différences générales entre les deux stations résident dans la force du vent, les rafales de vent et l'énergie reçue. Les contrastes d'éclairements sont présent car nous sommes en période hivernale. De plus, la différence de vent peut s'expliquer par le fait que la station de Caen est située en espace urbain. Par conséquent elle est en quelque sorte « protégée » par les diverses formes de bâti qui augmentent la rugosité et font baisser la vitesse du vent. La différence d'énergie reçue va quant à elle pouvoir être expliquée par les effets d'ombrage du jardin urbain, et par conséquent une différence d'utilisation de l'énergie reçue qui va alimenter principalement le bâti urbain.

De plus, après que nous ayons établi les moyennes journalières, nous pouvons dire que la station située en ville est généralement plus « chaude » que celle de la périphérie. Avec le calcul de la température moyenne journalière de Caen – celle de Carpiquet nous obtenons le dT qui est pratiquement toujours supérieur à 0, donc favorable à Caen :



De surcroît, en ajoutant les forces du vent (en moyenne par jour) nous observons que les périodes où les températures moyennes sur une journée sont favorables à Carpiquet, coïncident avec les périodes où le vent de cette station baisse très nettement. Ceci peut donc constituer un début de piste de travail. Néanmoins avec 1°C d'écart maximum sur une journée, les températures moyennes journalières ne nous permettent pas de tirer de solides enseignements. De manière plus globale, les moyennes journalières des différents paramètres ne sont pas prépondérantes dans l'analyse de nos deux stations. Ceci s'explique par le fait que cette échelle de travail est encore trop large et qu'à ce niveau, nos deux stations sont très semblables.

Par conséquent, nous ne pouvons pas nous limiter à ces simples constatations, il nous faut aller plus loin dans l'analyse. Pour ceci, nous pouvons établir un calcul dTN, c'est à dire TN Meri – TN Carp. Ceci va nous permettre d'obtenir les écarts entre les températures minimales enregistrées sur nos deux stations. Cela va être intéressant puisque nous observons des écarts de températures minimales généralement faibles et stables, néanmoins nous trouvons des périodes ou moments où les écarts deviennent plus importants et changeants. Voici le graphique dTN ainsi qu'un tableau des différences majeures de températures minimales observées :

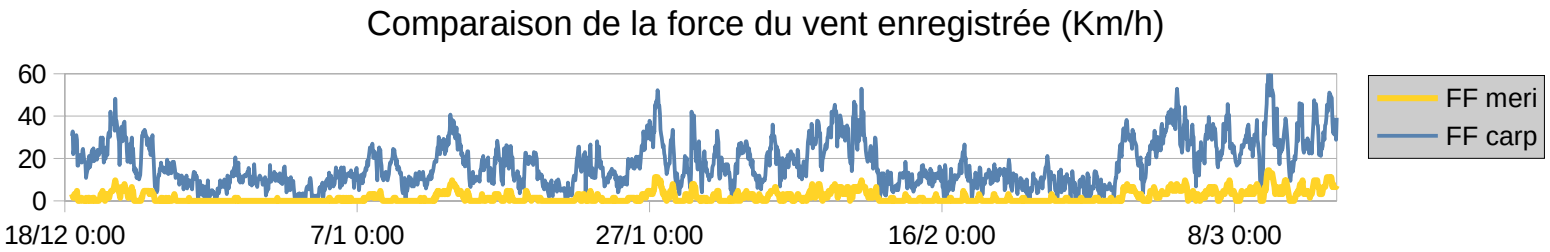


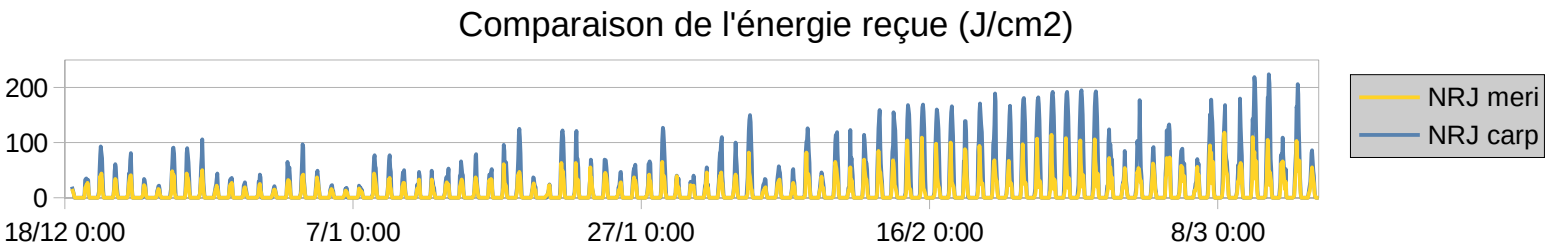
+3,7°C à Caen le 17/02/19 à 19h UTC	+4°C à Carpiquet le 28/02/19 à 01h UTC
+3,6°C à Caen le 14/02/19 à 18h UTC	+3,4°C à Carpiquet le 25/02/19 à 10h UTC
+2,8°C à Caen le 28/01/19 à 18h UTC	+3°C à Carpiquet le 26/02/19 à 10h UTC
+2,7°C à Caen le 01/03/19 à 21h UTC	+2,6°C à Carpiquet le 15/02/19 à 09h UTC
+2,5°C à Caen le 24/01/19 à 01h UTC	+2,6°C à Carpiquet le 17/02/19 à 06h UTC

Src : Graphique et tableau réalisés à partir des données Météo-France et station Davis, Avril 2019, Alexandre Follin

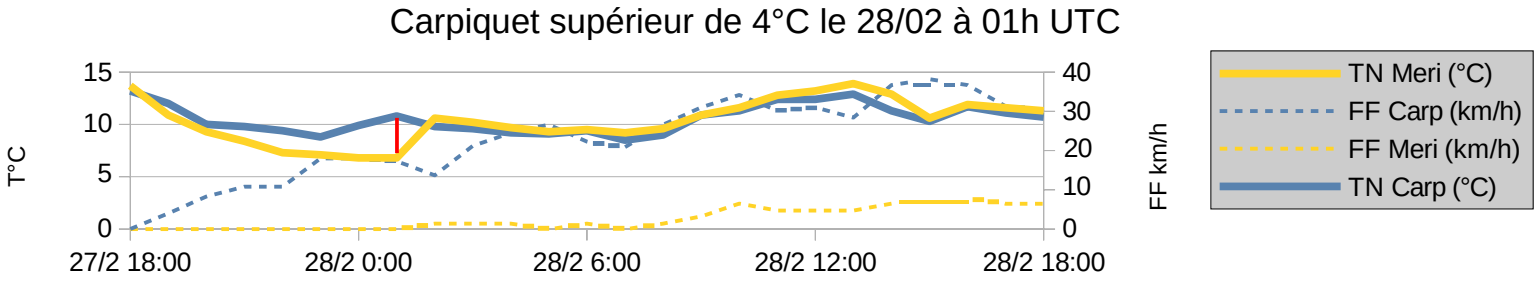
Le premier élément important est que sur 2100 valeurs dTN, 1686 sont en faveur de Caen (>0), 322 en faveur de Carpiquet (<0) et 92 égale à 0. Ceci met en exergue l'effet urbain et la chaleur plus importante en ville qu'en périphérie. Néanmoins la seconde idée est que contrairement aux idées reçues, la ville n'est pas forcement toujours plus chaude que sa périphérie, « l'îlot de chaleur » peut également laisser place à des lieux de fraîcheur. En outre, avant d'essayer de comprendre ces différences nous observons que les horaires UTC où les différences de TN apparaissent sont globalement semblables. Lorsque Caen est supérieur c'est généralement en fin de journée. A l'inverse, lorsque Carpiquet est supérieur c'est généralement le matin.

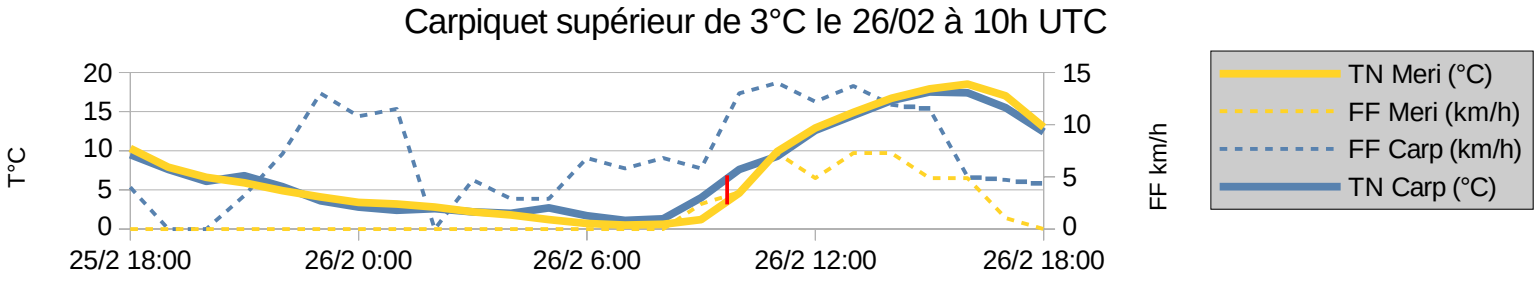
Afin de comprendre pourquoi les différences de températures minimales sont plus importantes lors de certains moments que d'autres, nous pouvons mettre en exergue les graphiques de la force du vent enregistrée ainsi que l'énergie reçue (Graphiques réalisés à partir des données Météo-France et station Davis, Avril 2019, Alexandre Follin) :

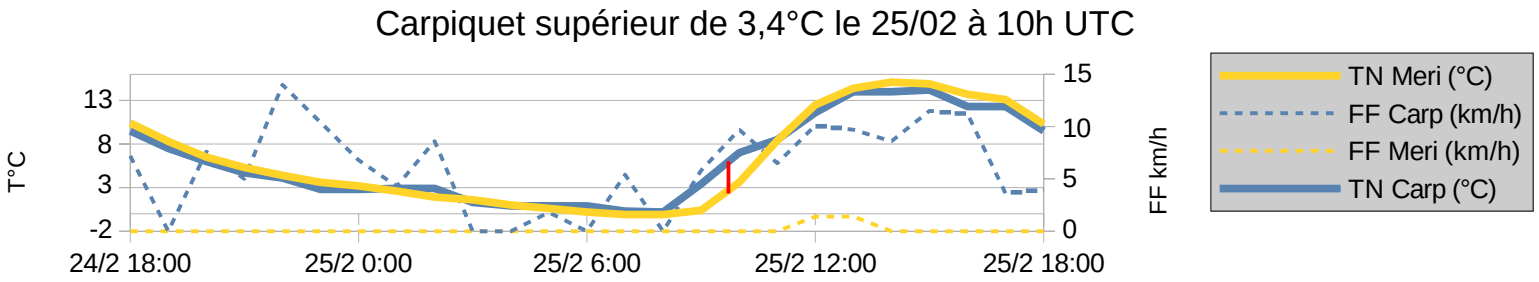




Si nous mettons ces graphiques en perspective avec celui des dTN, nous nous apercevons que la période où le vent était très faible (≈ du 12 au 28 Février 2019) correspond à la période où l'énergie reçue est la plus forte et différente entre nos stations. Cette période correspond également à la période où les dTN sont les plus importantes. Nous pouvons penser que le vent est un paramètre majeur dans l'explication des différences de températures minimales entre nos deux stations. Après la globalité, attardons nous sur les moments où les différences marquées sont apparues :



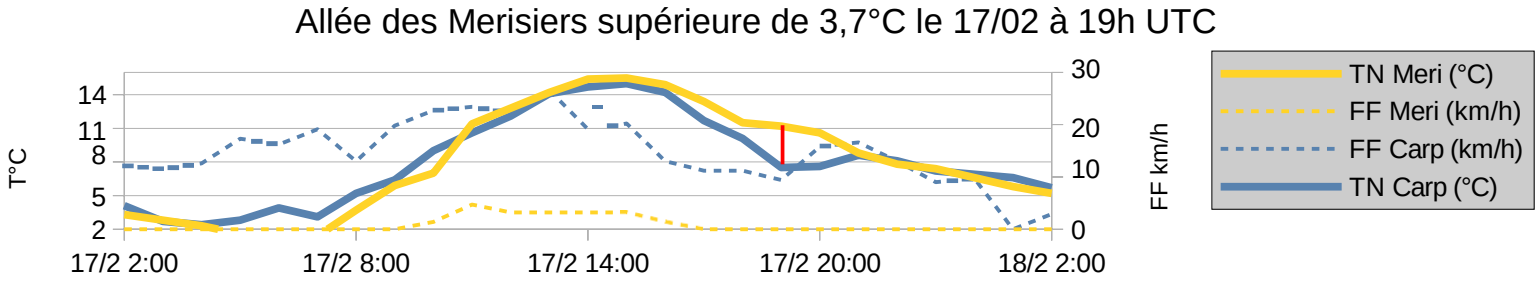


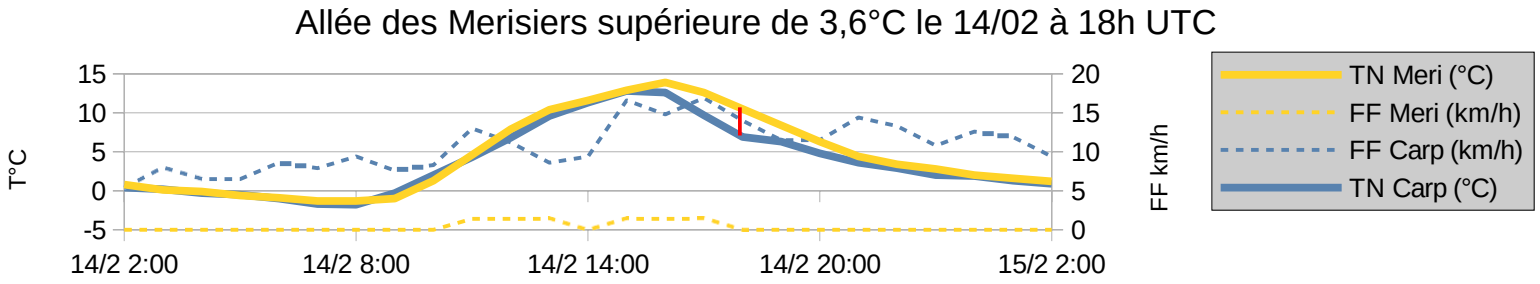


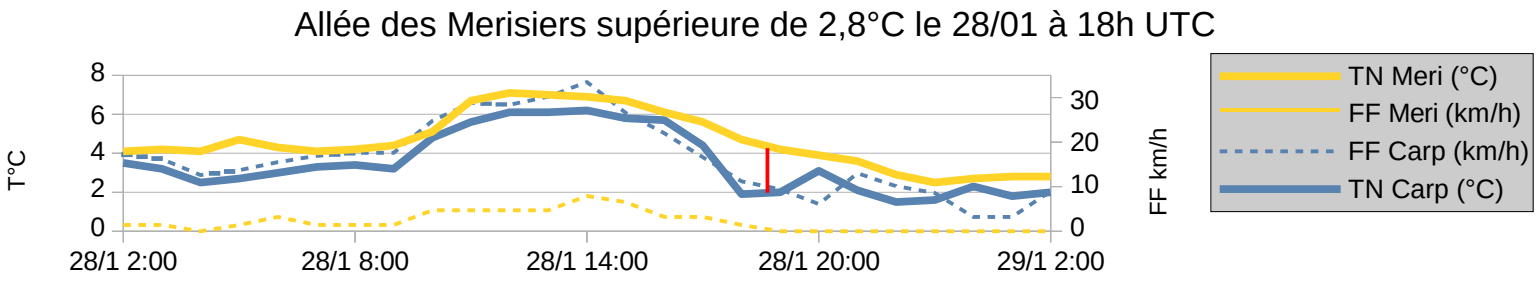
Src : Graphiques réalisés à partir des données Météo-France et station Davis, Avril 2019, Alexandre Follin

Tout d'abord, comme évoqué précédemment, nous observons que le point de mesure de périphérie (Carpiquet) est bien supérieur en température lors de certains moments. Ceci va par conséquent contre les idées reçues d'un îlot de chaleur urbain marqué, et d'une chaleur toujours plus présente dans la ville. Ici, nous pouvons observer qu'un des paramètres majeurs dans l'établissement d'une différence de température est le vent. En effet, il apparaît qu'avant chaque différence élevée en faveur de Carpiquet, le vent est nul à Caen tandis qu'il est présent à Carpiquet (pourtant de faible force). De plus, le contexte est toujours après une décroissance des températures, par conséquent, nous pouvons penser que le « froid s'installe » lentement dans le jardin où la station Davis est placée. Mais la différence importante va s'expliquer dans le fait que ce froid va avoir le temps de « stagner » dans la mesure où le vent est totalement absent de l'espace urbain, il n'y a donc pas de brassage d'air et le refroidissement reste présent. Au contraire à Carpiquet, la même dynamique de refroidissement est en cours, néanmoins le vent est présent, ce qui peut permettre aux masses d'airs de ne pas stagner, elles se réchauffent légèrement par leurs mouvements. A ce stade de notre étude, il semble important de noter le paradoxe. Les différences de températures les plus importantes ont été recensées en faveur de l'espace dit en « campagne ». Ceci peut être expliqué par l'occupation du sol, le contexte temporel (nuit ou matin), et le « type de temps » avec la présence du paramètre majeur qu'est le vent.

Néanmoins, malgré des différences importantes en faveur de Carpiquet, la majorité des différences de températures minimales sont en faveur de Caen. Attardons nous sur quelques unes de celles ci :





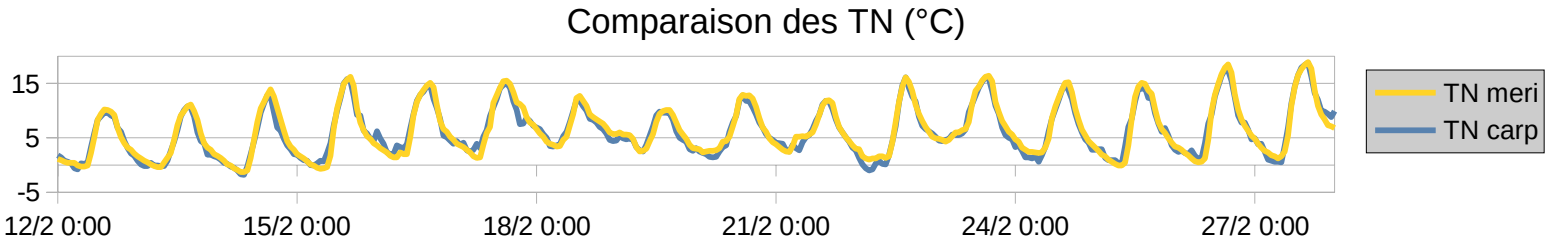


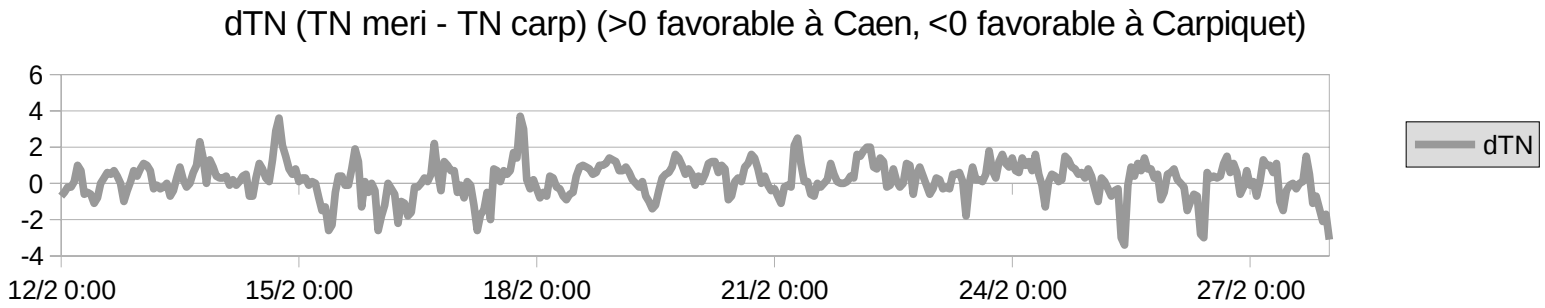
Src : Graphiques réalisés à partir des données Météo-France et station Davis, Avril 2019, Alexandre Follin

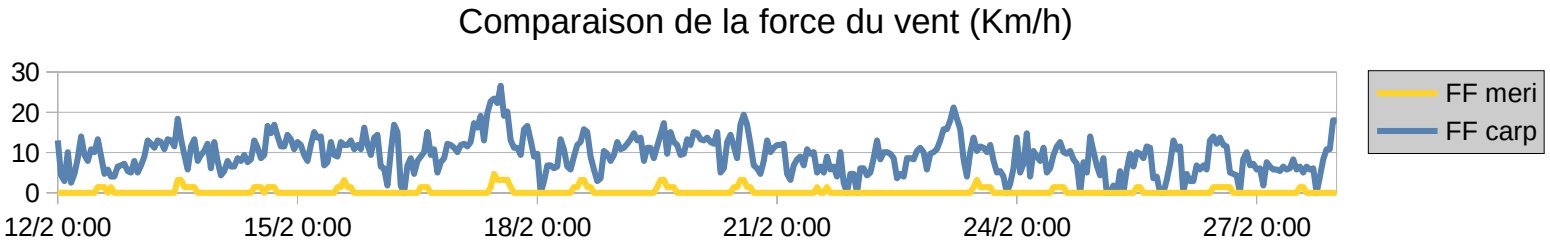
Nous observons dans ce cas présent que les différences les plus importantes en faveur de Caen ont lieu dans le même contexte temporel, en fin de journée après que les deux espaces aient reçu les apports d'énergie tout au long de la journée. Dans un premier temps, nous pouvons émettre l'hypothèse que cela est imputable au phénomène urbain c'est à dire des matériaux et bâtis qui chauffent plus ce qui rend en fin de journée, le jardin urbain plus chaud que l'espace de périphérie. Néanmoins, nous avons une fois de plus remarqué que le vent était possiblement un élément de compréhension. Il apparaît que lors des différents moments exposés ci dessus la situation est comme dans le cas précédent, du vent à Carpiquet et pratiquement absent à Caen. Mais ici, nous observons que la force du vent n'est pas la même que dans le cas des différences positives pour Carpiquet. En effet, avant les différences positives pour Carpiquet, le vent était présent avec une assez faible énergie. Ici il est présent pratiquement toujours au dessus de 10km/h. Ceci est accompagné de rafales pouvant atteindre 46,8km/h à 9h59 UTC et 36km/h à 13h59 UTC le 17/02/19. Nous remarquons ce même phénomène le 28/01/19 avec des rafales à 53,3km/h à 13h59 UTC et 50km/h à 14h59 UTC.

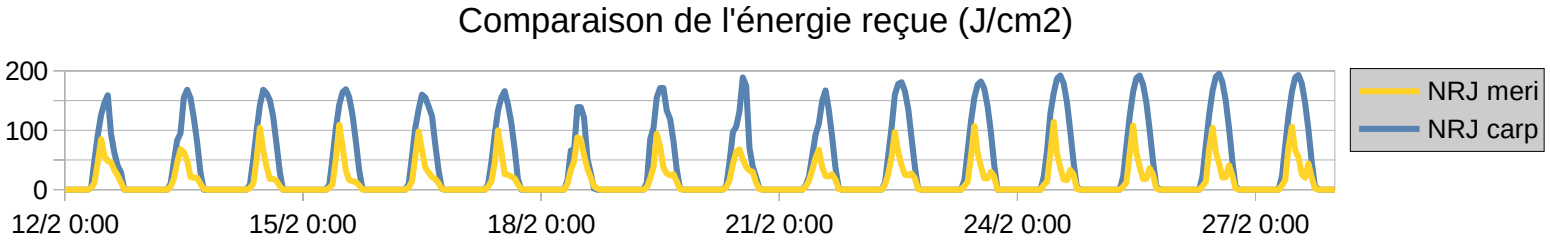
Ceci nous amène donc à penser que la force du vent plus importante et les rafales élevées à Carpiquet favorisent le fait que l'espace ne peut pas se réchauffer à la même vitesse que le jardin de l'espace urbain qui est un espace assez confiné et au contact du bâti urbain qui restitue sa chaleur. En outre, il apparaît que les différences significatives en faveur de Caen tel que l'illustre les graphiques ci dessus répondent aux mêmes critères : L'occupation du sol, un contexte temporel semblable (fin de journée) et également à un type de temps, avec la présence de vent assez important à Carpiquet (>10km/h et rafales).

A présent attardons nous sur la période du 12 au 28 Février 2019 qui, comme le montre le graphique dTN, est une période singulière puisque c'est elle qui comprend globalement toutes les différences majeures de températures entre nos deux stations :

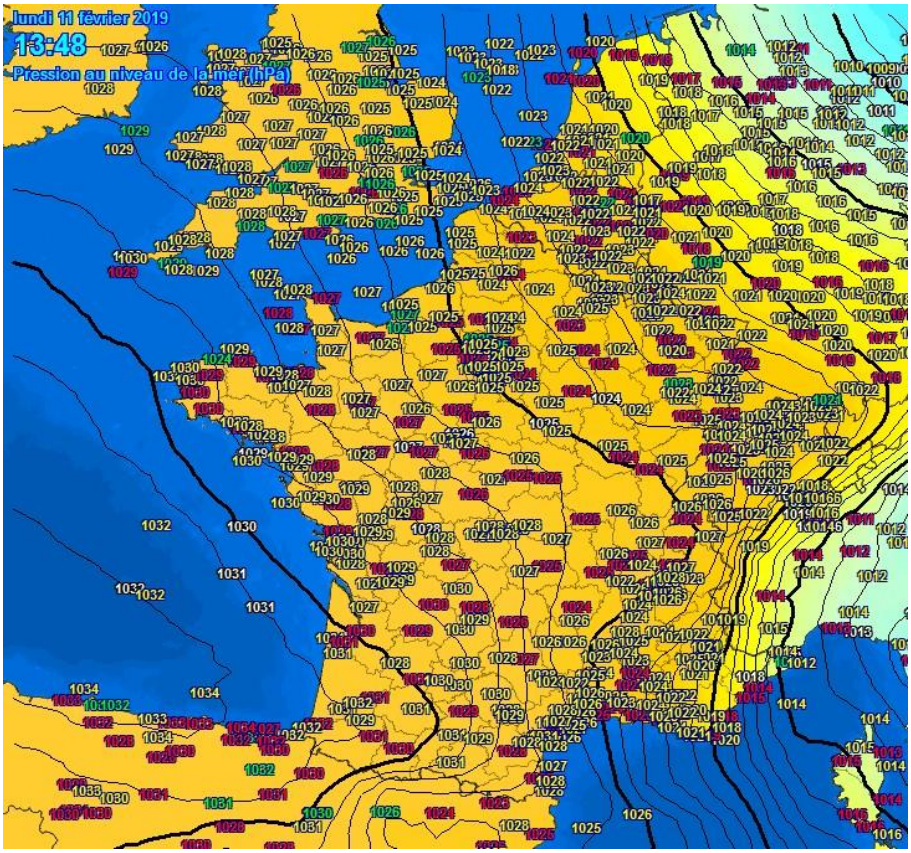


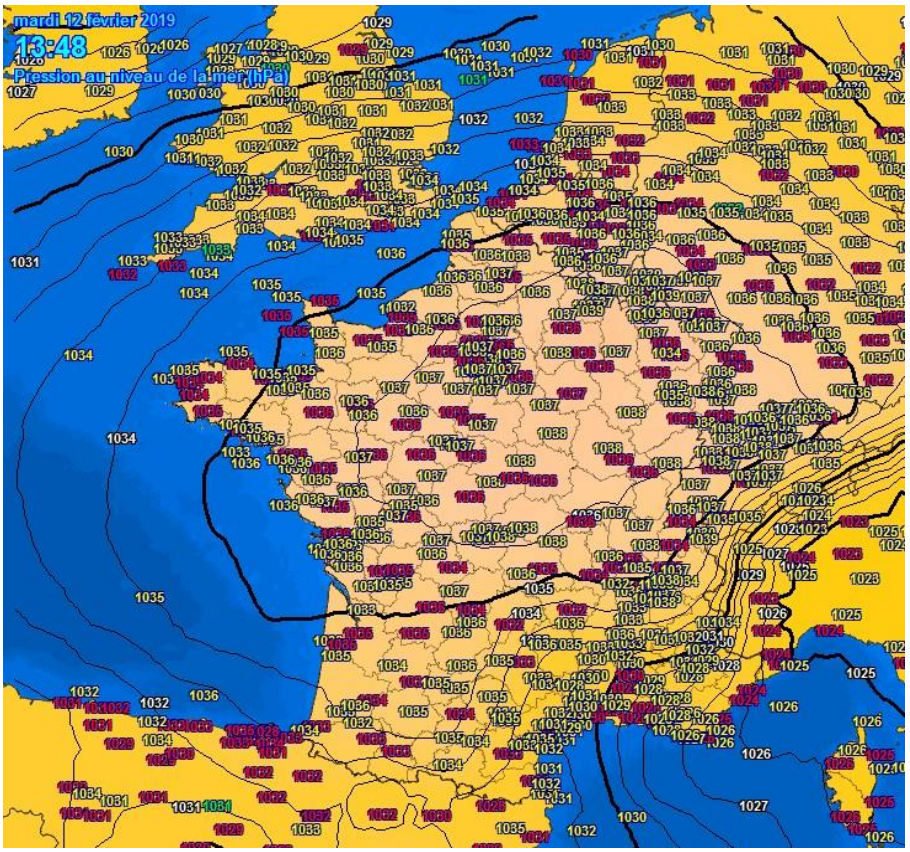






Src : Graphiques réalisés à partir des données Météo-France et station Davis, Avril 2019, Alexandre Follin





Src : Carte d'observation des pression (hPa) du Lundi 11/02 et du Mardi 12/02, Météociel.

Il est intéressant de noter que cette période confirme un postulat de départ. En effet, nous avons vu qu'un îlot de chaleur urbain ne pourra se développer pratiquement que lors d'un temps clair et calme. Ici, nous observons qu'à partir du 12 Février il a une chute de la force du vent (km/h) et une hausse de l'énergie reçue (J/cm²). C'est au sein de cette période que les différences de TN les plus visibles apparaissent. De surcroît, il apparaît très net que le paramètre majeur dans l'établissement de différences climatiques à cette échelle est le type de temps avec l'importance du paramètre venteux. Nous observons sur les graphiques ci dessus qu'en fin de journée du 17 Février, le vent devient plus fort à Carpiquet, ce qui engendre directement une différence positive importance pour Caen. A l'inverse, le 25 Février, nous observons un vent faible à Carpiquet (<10km/h) ce qui engendre une différence importante en faveur de la station. Ce phénomène s'applique également à toute notre campagne de mesure. En effet, les premières différences significatives de TN apparaissent le 29 Décembre 2018, ce qui correspond également à un moment où la force du vent de la station de Carpiquet est en dessous des 10km/h et celle de Caen pratiquement nulle (Carpiquet supérieur de 2°C à 1h59 UTC le 29/12/18 vent à 3,2km/h).

Après la comparaison des données récoltées allée des Merisiers avec celles de la station Météo-France de Carpiquet nous pouvons mettre plusieurs points en avant. Premièrement, malgré une supériorité thermique de la ville et un réel effet urbain global, il apparaît qu'à ce stade de l'étude, parler d'îlot de chaleur urbain est trop fort pour l'agglomération caennaise. Néanmoins notons que l'étude pourrait faire l'objet d'une suite notamment en été, dans un contexte plus favorable à l'établissement de celui ci. En outre, l'étude montre qu'une ville n'est pas seulement le berceau d'îlot de chaleur, le contraire peut être de mise. En effet, il y a un certain effet de site et en quelque sorte une légère « continentalisation » dans le jardin urbain situé allée des Merisiers. Par sa rugosité et les divers effets d'ombrages, la ville peut donc également faire naître des « foyers de fraîcheur » où le vent n'est pas présent et par conséquent laisse stagner un refroidissement. Il apparaît également clair qu'à cette échelle d'étude, le type de temps est le facteur essentiel qui permet ou non aux différences de températures d'apparaître entre le point au sein de la ville et celui au sein de la périphérie. De plus, nous ne pouvons qu'insister sur l'importance du paramètre venteux qui semble être l'une des clés de compréhension des différences de températures entre nos deux stations météorologiques.

IV) Transects urbains :

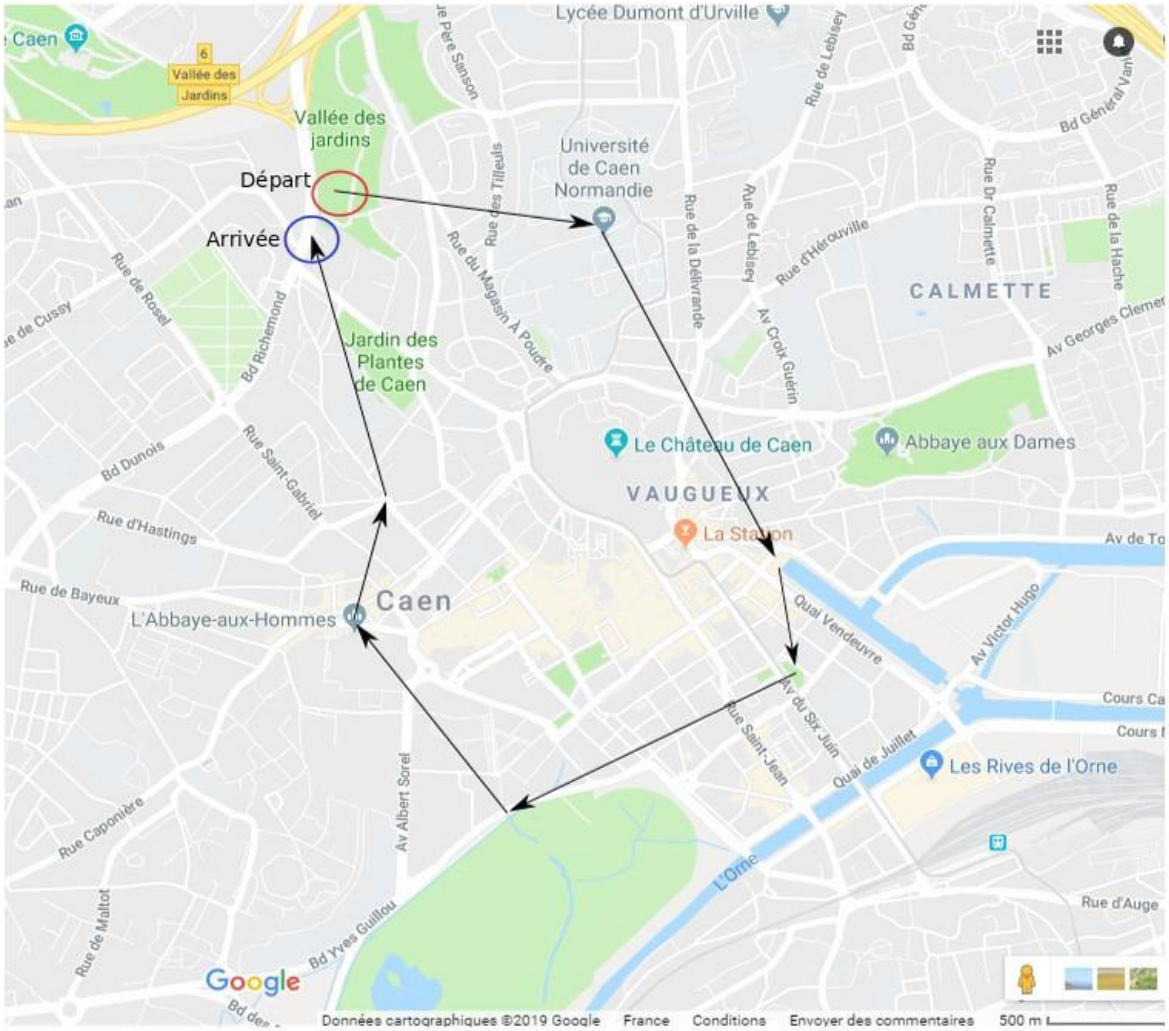
En parallèle de la comparaison ville-campagne faite à l'aide des deux stations fixes, nous avons réalisé des mesures itinérantes au cœur de l'agglomération. Ici, l'idée est de changer d'échelle d'étude et ainsi établir des transects dans le but de caractériser spatialement les différences de températures à l'échelle locale si elles existent.

Pour la réalisation de ces mesures, nous avons fixé un abri météorologique (capteur de température et d'humidité) sur un vélo afin de parcourir le trajet plus facilement qu'à pied. De plus, nous avons toujours voulu parcourir les transects à allure constante afin d'être rigoureux. En outre, nos parcours sont composés de points d'arrêt qui ont été sélectionnés en amont en fonction de la présence de verdure, d'eau, de densité du bâti afin d'obtenir des mesures dans divers contextes et ambiances urbaines. L'idée de départ était de réaliser un temps d'arrêt de 10 minutes sur les points d'arrêt, or après une phase de plusieurs tests, ces temps d'arrêt se sont avérés inutiles, nous les avons donc réduits à 1 minute. Voici l'illustration du matériel utilisé ainsi que le descriptif des trois parcours qui ont été réalisés :

Src : Capteur et abri, Mars 2019, Alexandre Follin.

Src : Photographies du dispositif sur le vélo, Mars 2019, Alexandre Follin

Src : BD topo, Arcgis, Décembre 2018, Alexandre Follin



Src : Google Maps, Décembre 2018, Alexandre Follin

Ce parcours sera basé sur 7 points (du point Nord puis sens des aiguilles). Ajoutons que ce parcours fait 7,8km et qu'il se réalise en environ 32 minutes sans temps d'arrêt :

-1 : Vallée des jardins.

-2 : Université.

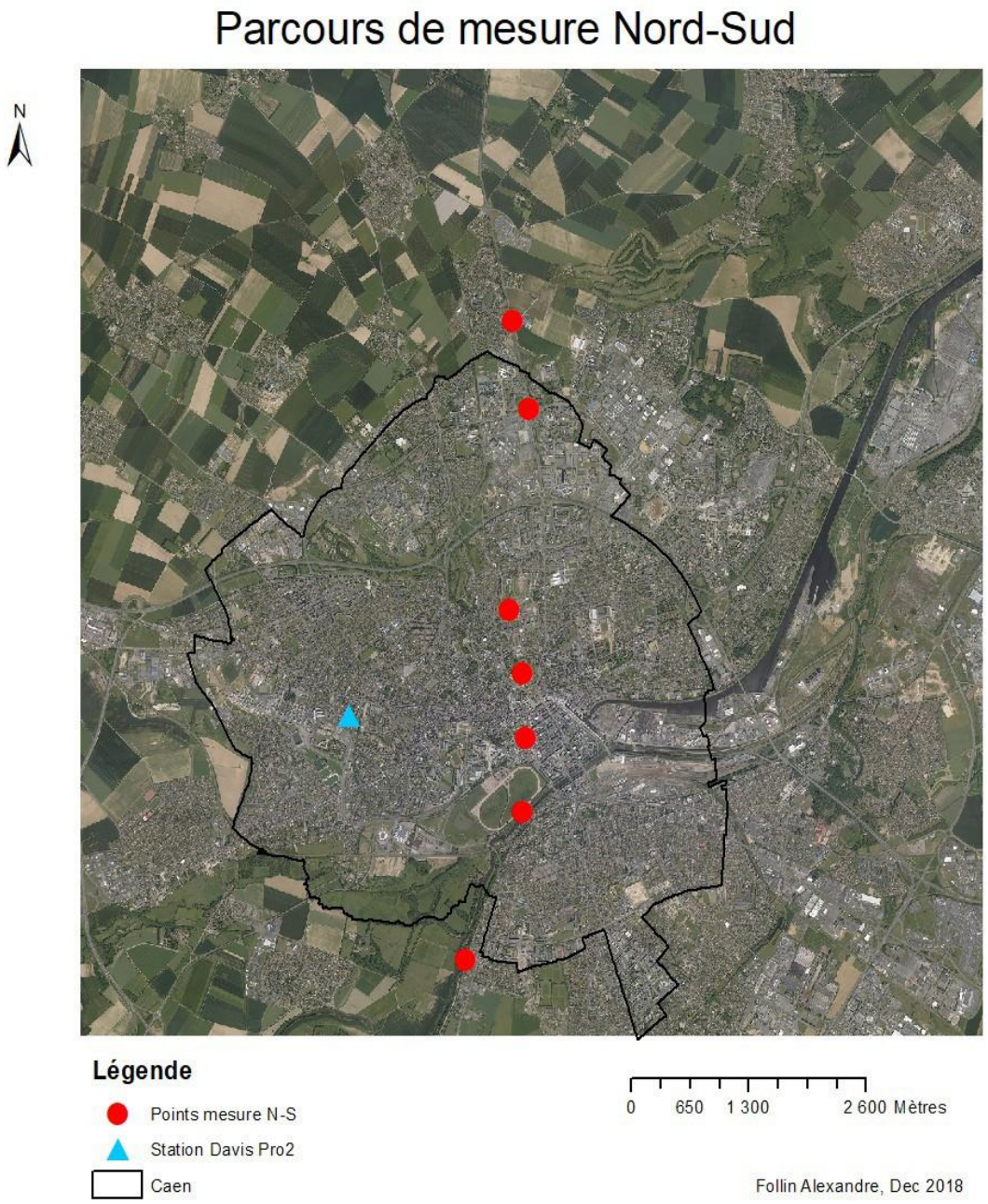
-3 : Port de plaisance.

-4 : Place de la Résistance.

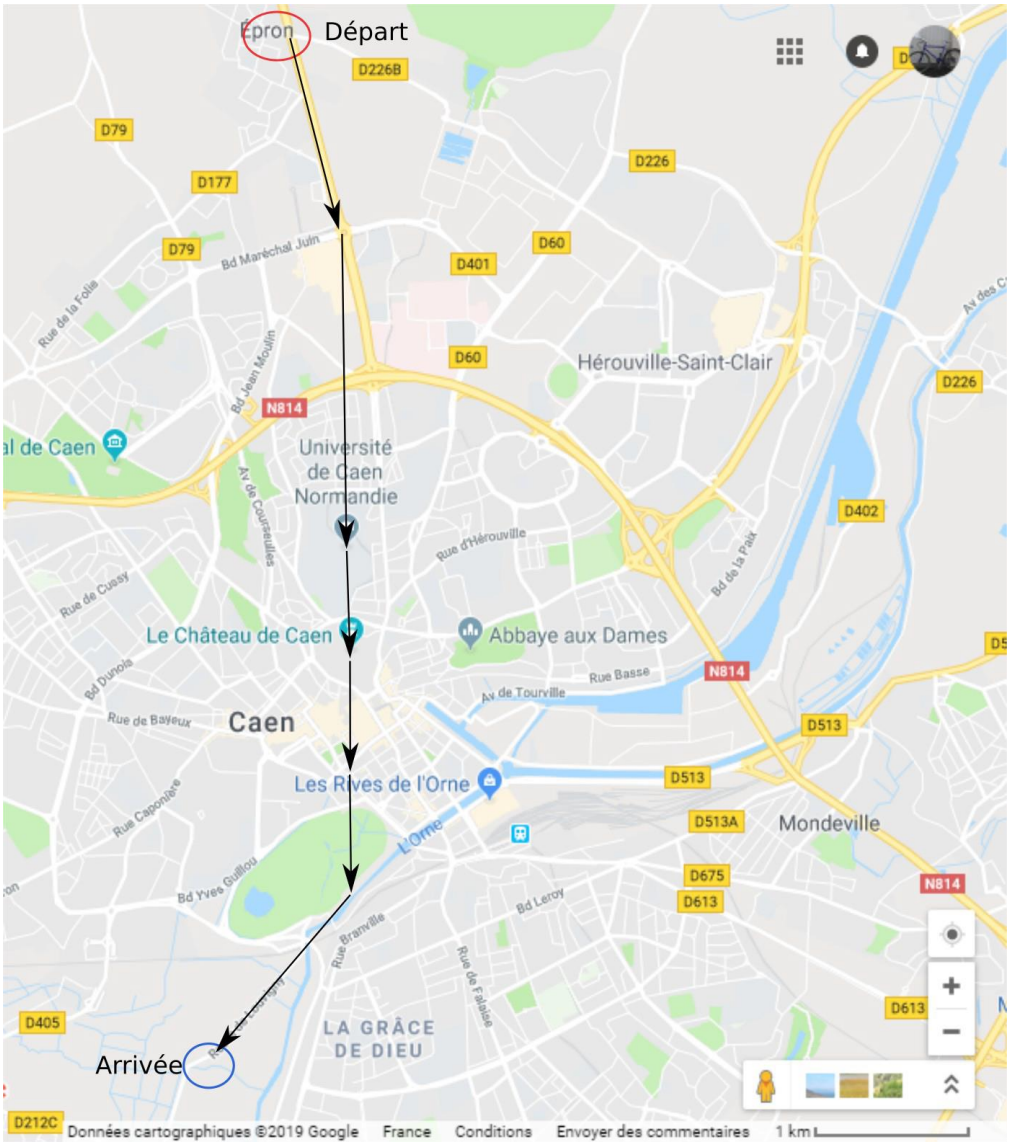
-5 : Hippodrome.

-6 : Mairie.

-7 : Place du Canada.



Src : BD topo, Arcgis, Décembre 2018, Alexandre Follin



Src : Google Maps, Décembre 2018, Alexandre Follin

Ce parcours sera basé sur 7 points (du Nord au Sud). Ajoutons que ce parcours fait 9,5km et qu'il se réalise en environ 36 minutes sans temps d'arrêt :

-1 : Jardiland Epron.

-2 : Côte de Nacre.

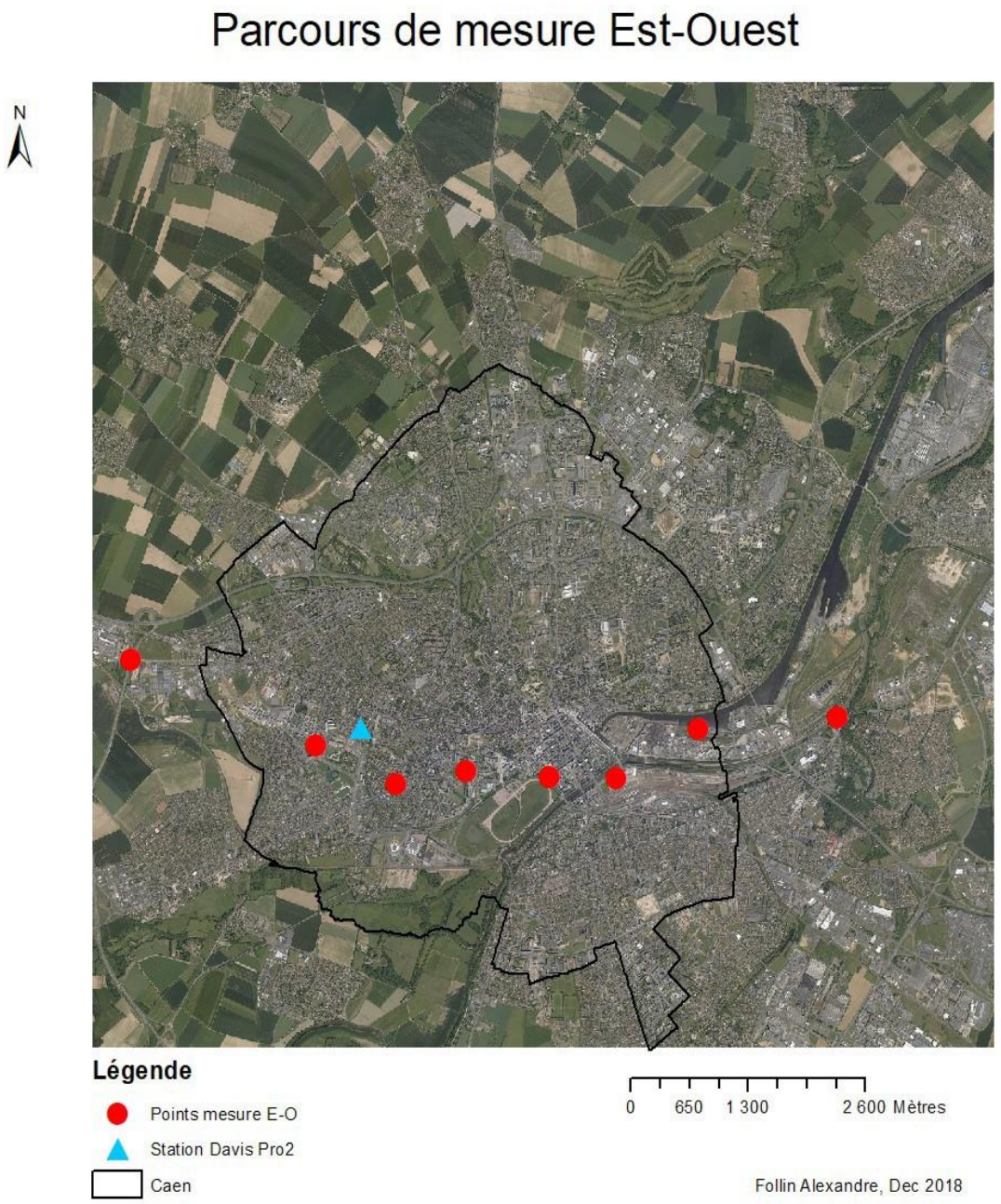
-3 : Université.

-4 : Château de Caen.

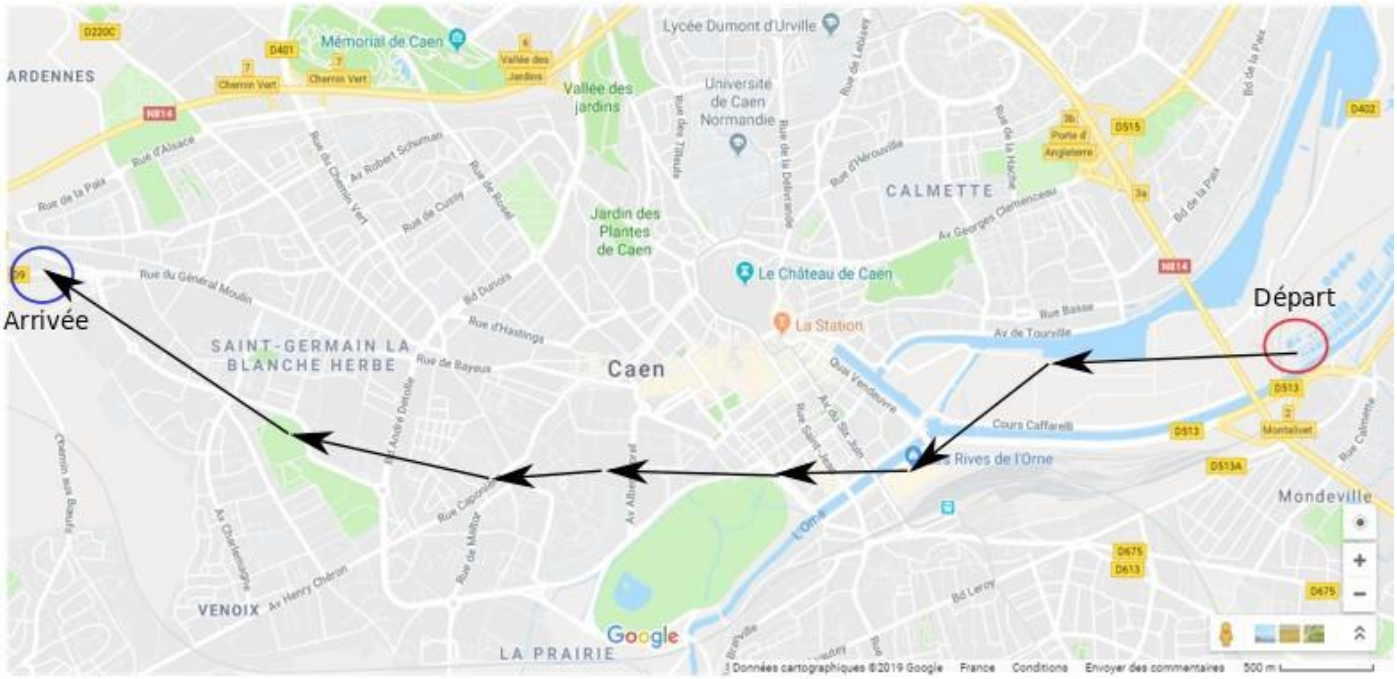
-5 : Place du théâtre.

-6 : Entre prairie et Orne.

-7 : Route de louvigny.



Src : BD topo, Arcgis, Décembre 2018, Alexandre Follin



Src : Google Maps, Décembre 2018, Alexandre Follin

Ce parcours sera basé sur 8 points (de l'Est à l'Ouest). Ajoutons que ce parcours fait <u>11,6km</u> et qu'il se réalise en environ 42 minutes sans temps d'arrêt :

-1 : Route de Colombelles.

-2 : Face au canal.

-3 : Rive de l'Orne.

-4 : Place Foch.

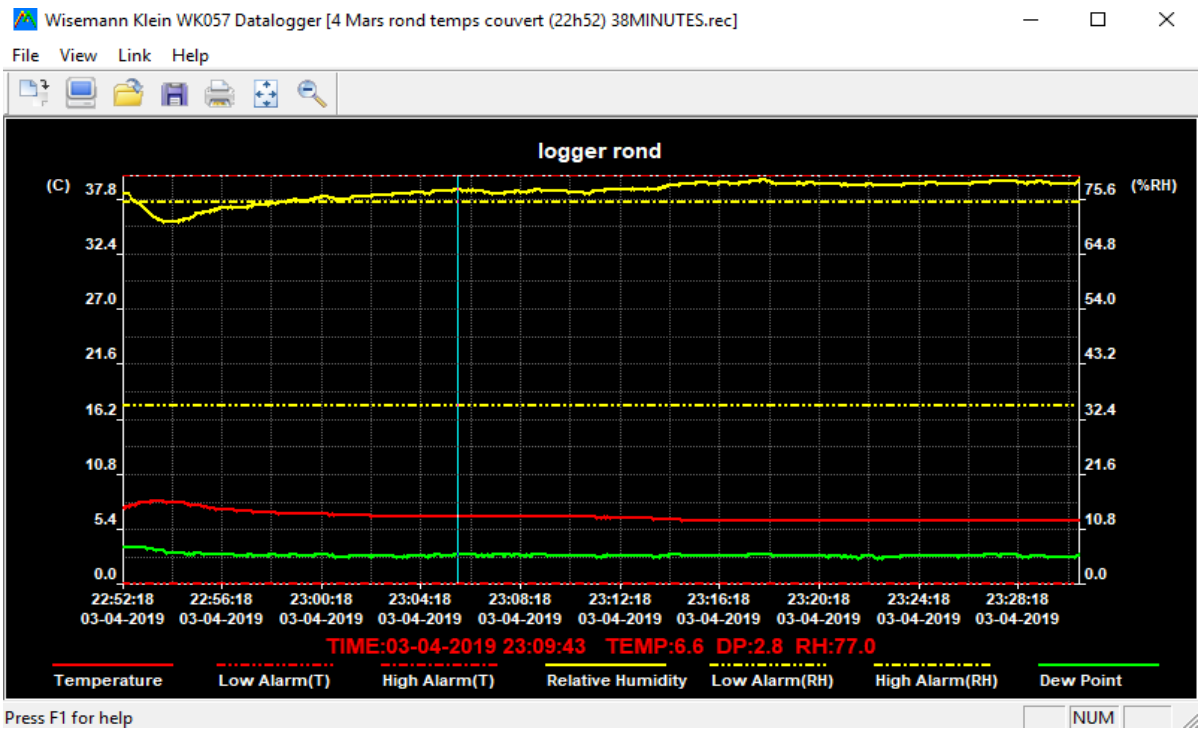
-5 : Stade Helitas.

-6 : Rectorat.

-7 : Stade Michel D'ornano.

-8 : Route de Caen.

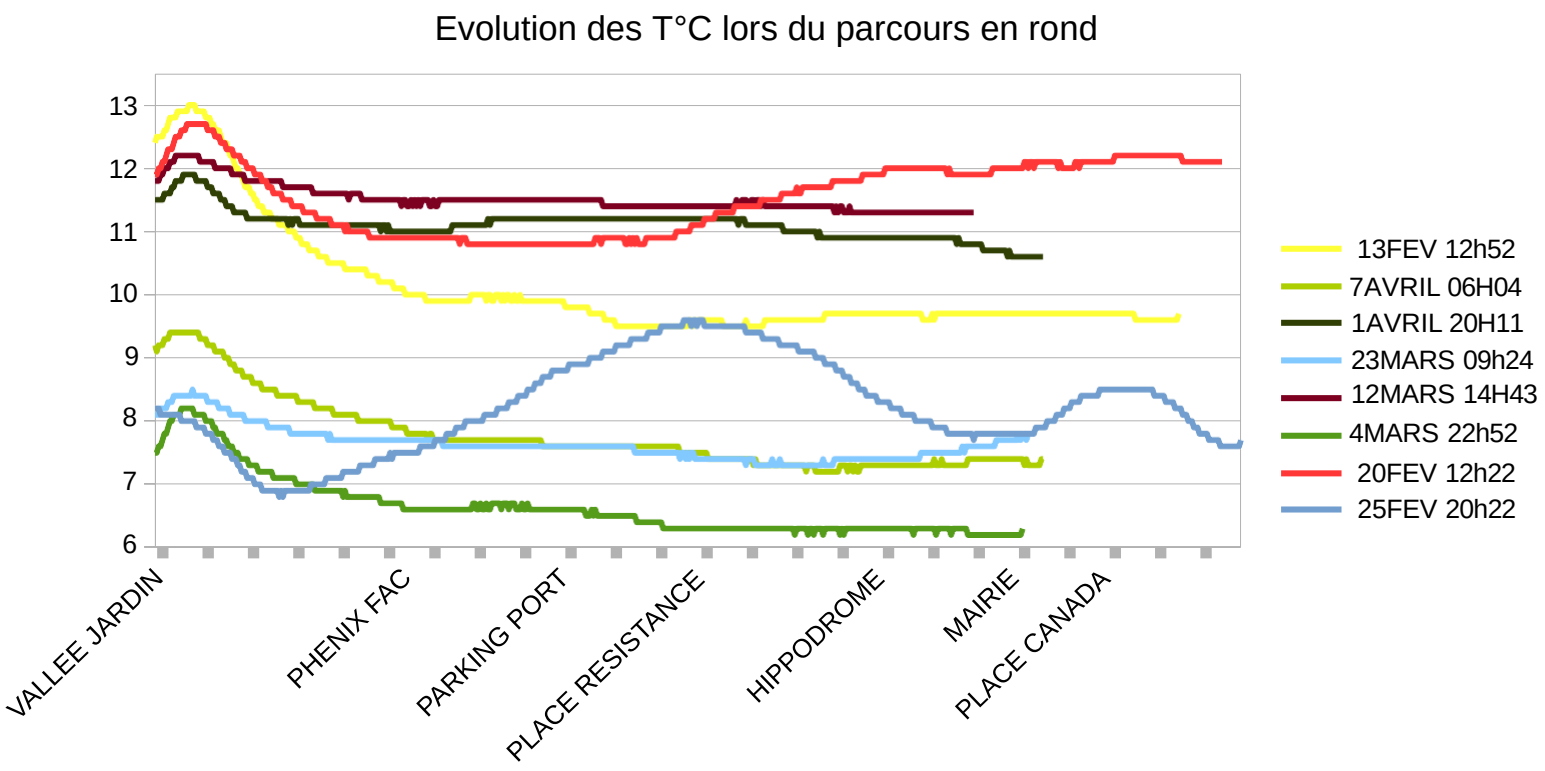
Comme évoqué précédemment, nous avons effectués des transects dans le but d'observer si il y a des différences entre les températures au sein de la ville lors d'un trajet simple et assez rapide (assez rapide pour pouvoir observer des différences qui ne seront pas dues à la plage horaire trop importante). Avant tout, il est important d'aborder la méthodologie et les difficultés rencontrées lors de ce travail. Tout d'abord, l'élément important pour réaliser de bons transects est qu'il faut garder à l'esprit que l'appareil de mesure nécessite un temps de calibrage avec la température extérieure. Par conséquent, il faut penser à sortir l'appareillage à l'air frais avant d'effectuer des mesures. Nous pouvons également rouler quelques minutes avec l'appareil sans qu'il soit mis en route afin qu'il se conforme à la température extérieure. Un protocole sérieux et rigoureux doit donc être fait afin d'avoir toujours la même méthodologie et obtenir des données sérieuses. En outre, notons que les transects effectués ne sont pas simultanés ce qui constitue un point négatif de cette méthode. Cependant, afin d'obtenir une bonne représentativité, ces transects ont été réalisés à différents pas de temps. Ceci est important dans la mesure où l'énergie reçue n'est forcement pas la même à divers horaires ainsi que le stockage et restitution de chaleur du bâti urbain. Mais ces transects ont été également réalisés lors de différents types de temps. Ce point est tout aussi important puisque nous savons que l'îlot de chaleur urbain se manifeste plutôt en temps clair et calme. Par conséquent, les transects ont été réalisées lors des différents types de temps possibles durant la période d'obtention des mesures. Ainsi du 12 Février au 7 Avril 2019, nous avons fait les 3 parcours 8 fois. En ce qui concerne la récolte des données, une fois le parcours fini, il suffit d'insérer le capteur via le port USB dans un ordinateur et nous pouvons extraire les données par le biais du logiciel DATA LOGGER. Les données peuvent ainsi être visibles dans le logiciel puis transférées sous Excel pour être traitées. Nous avons également calculé la différence entre la température maximale (TX) et minimale (TN) lors des divers parcours.

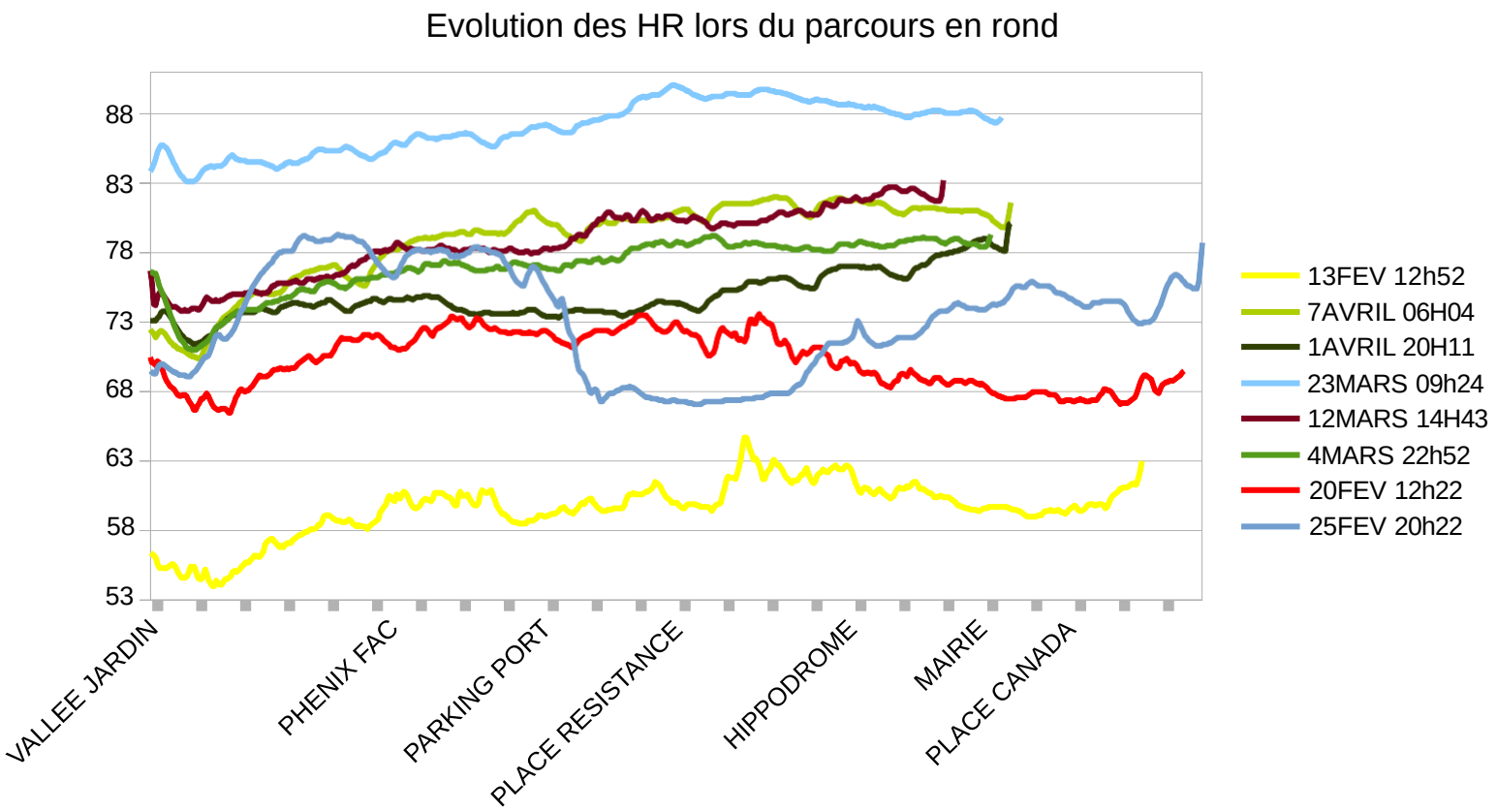


Src : Logiciel DATA LOGGER, vue du 4 Mars, Alexandre Follin.

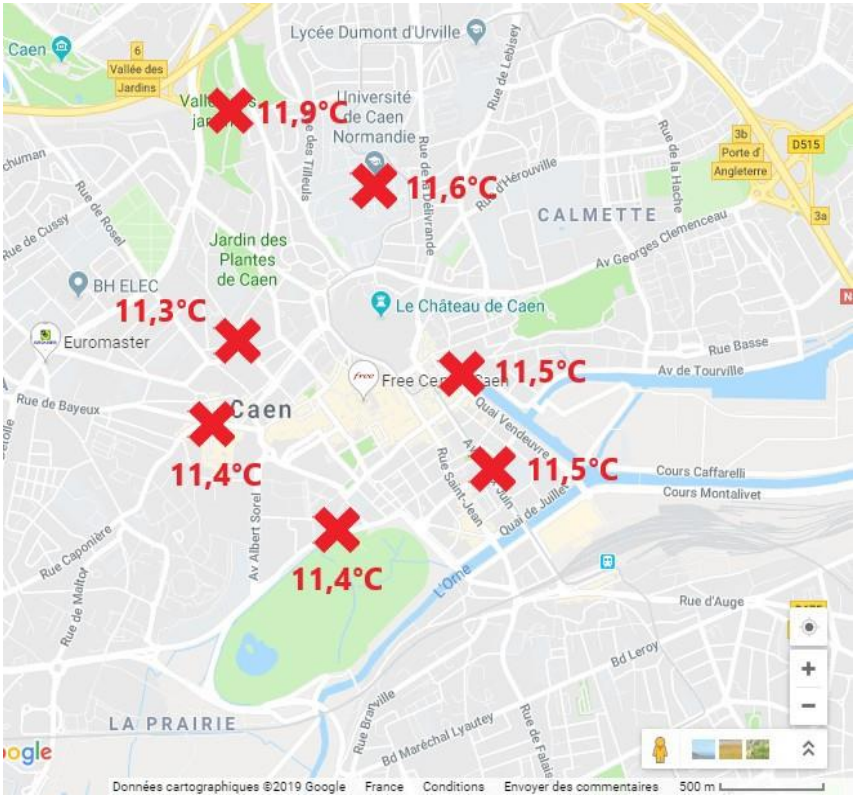
<u>Parcours en rond</u> :

- 1 Avril temps clair et calme (20H11) : 39MINUTES. Différence entre TX et TN : 1,3
- 4 Mars temps couvert (22h52) : 38MINUTES. Différence entre TX et TN : 2
- 7 Avril temps clair et clame (06h04) : 40MINUTES. Différence entre TX et TN : 2,2
- 12 Mars temps couvert venteux pluvieux (14h43) : 36MINUTES. Différence entre TX et TN : 0,9
- 13 Février temps clair et calme (12h52) : 45MINUTES. Différence entre TX et TN : 3,5
- 20 Février temps clair et calme (12h22) : 47MINUTES. Différence entre TX et TN : 1,9
- 23 Mars temps couvert (09h24) : 39MINUTES. Différence entre TX et TN :1,2
- 25 Février temps clair calme (20h22) : 48MINUTES. Différence entre TX et TN : 2,8

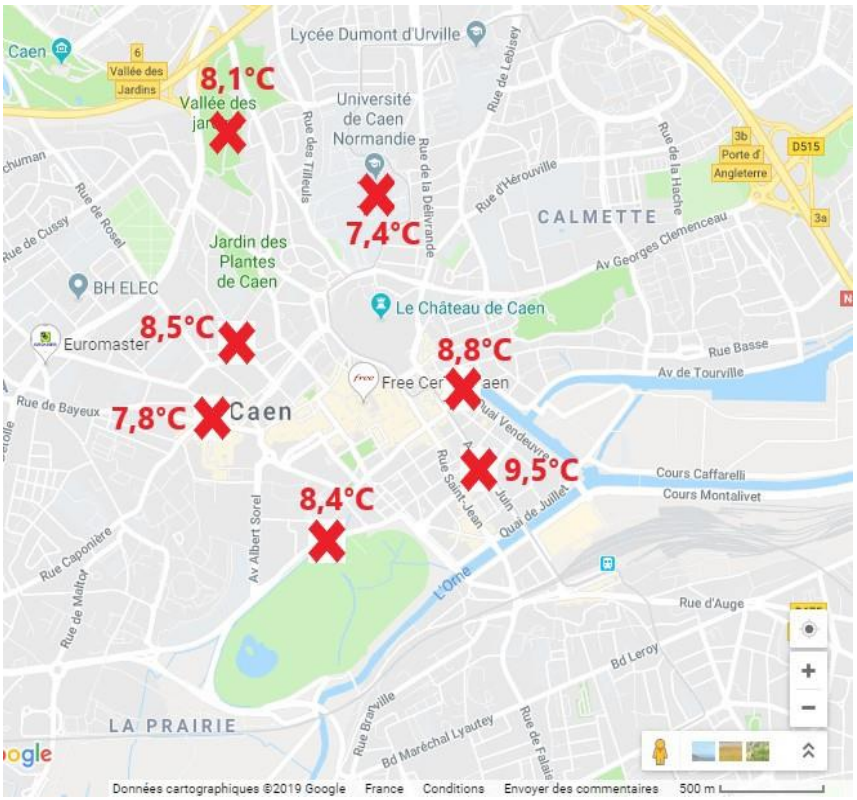

Evolution des T°C lors du parcours en rond
13
12
11
10
9
8
7
6
VALLEE JARDIN
PHENIX FAC
PARKING PORT
PLACE RESISTANCE
HIPPODROME
MAIRIE
PLACE CANADA
13FEV 12h52
7AVRIL 06H04
1AVRIL 20H11
23MARS 09h24
12MARS 14H43
4MARS 22h52
20FEV 12h22
25FEV 20h22


Evolution des HR lors du parcours en rond
88
83
78
73
68
63
58
53
VALLEE JARDIN
PHENIX FAC
PARKING PORT
PLACE RESISTANCE
HIPPODROME
MAIRIE
PLACE CANADA
13FEV 12h52
7AVRIL 06H04
1AVRIL 20H11
23MARS 09h24
12MARS 14H43
4MARS 22h52
20FEV 12h22
25FEV 20h22

12 Mars temps couvert venteux pluvieux (14h43) : 36MINUTES. Différence entre TX et TN : 0,9



25 Février temps clair calme (20h22) : 48MINUTES. Différence entre TX et TN : 2,8

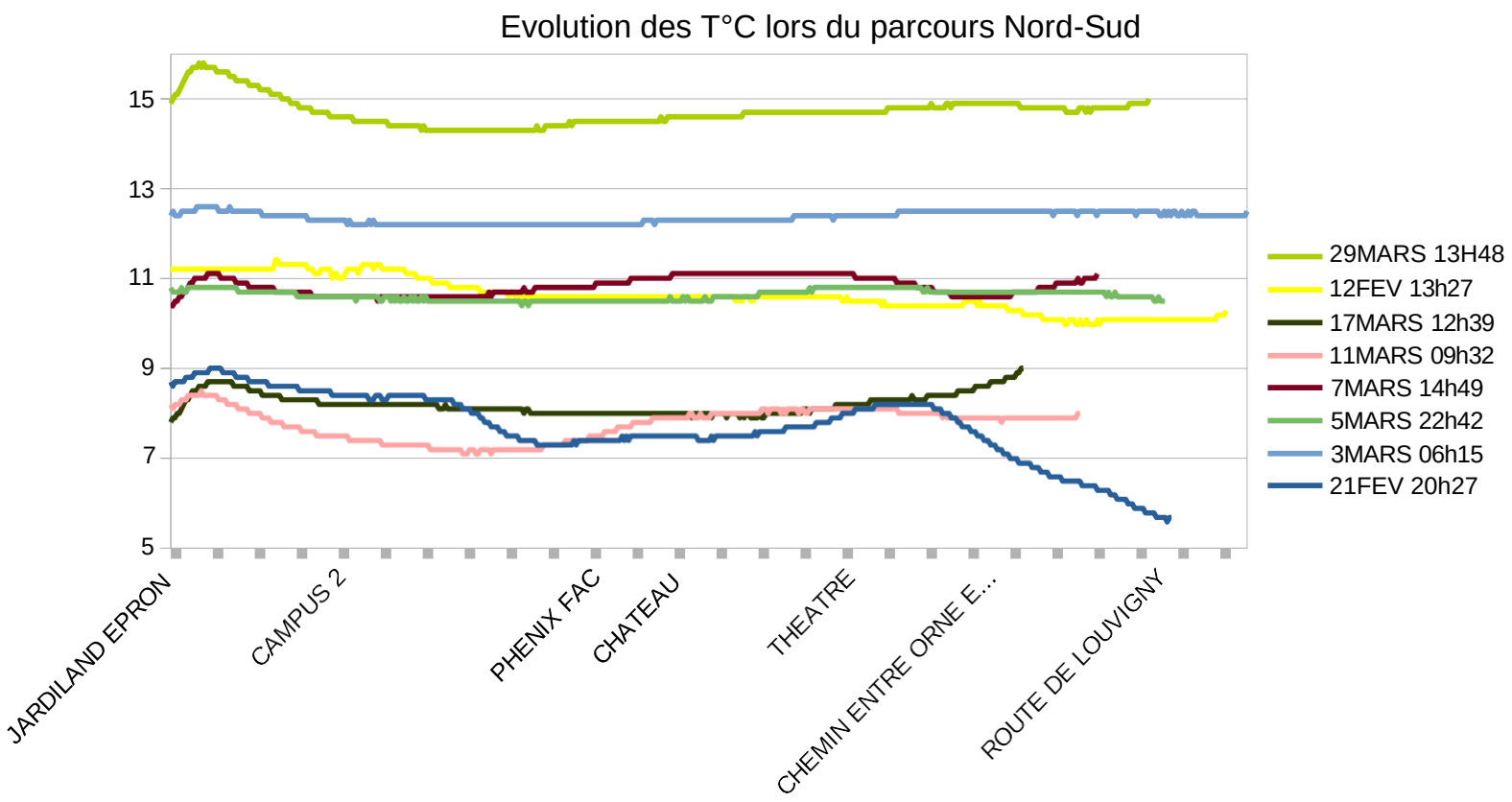


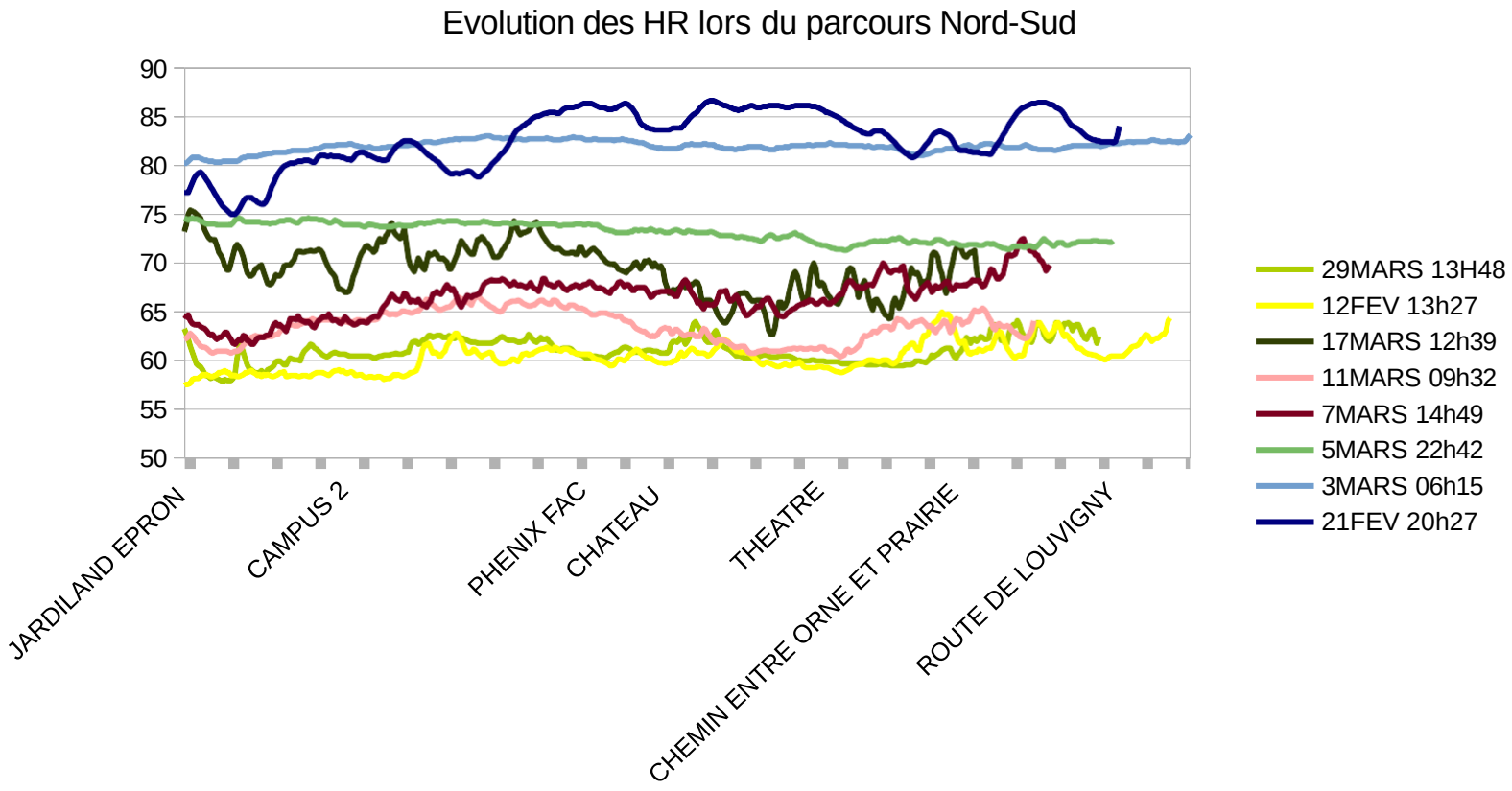
Src : Google Maps, modifié par Alexandre Follin, Avril 2019.

Ce premier parcours est intéressant puisqu'il nous enseigne qu'à l'échelle du centre de l'agglomération, le paramètre essentiel pour des différences de T°C est le type de temps. En effet, il apparaît que lors d'un temps couvert et/ou agité les températures sont lissées et les différences sont difficiles à appréhender. De plus, sur ce parcours uniquement urbain, un paramètre entre en jeu : la topographie. En effet, nous apercevons sur le graphique des températures qu'au début des parcours les températures forment une sorte de « bosse ». Ceci correspond au trajet entre la vallée des jardins et la faculté de Caen où le terrain est légèrement accidenté. De surcroît, nous pouvons possiblement mettre en corrélation les écarts de températures avec l'occupation du sol. Par exemple lors du parcours du 25 Février, la température la plus élevée se trouve aux alentours de la place de la Résistance, qui est un espace fortement anthropisé avec des bâtis présents sur toutes les orientations ce qui couvre la place et la confine. Par conséquent, à cette échelle de travail, le type de temps fourni un potentiel puis la légère topographie et l'occupation du sol peuvent expliquer les écarts de températures.

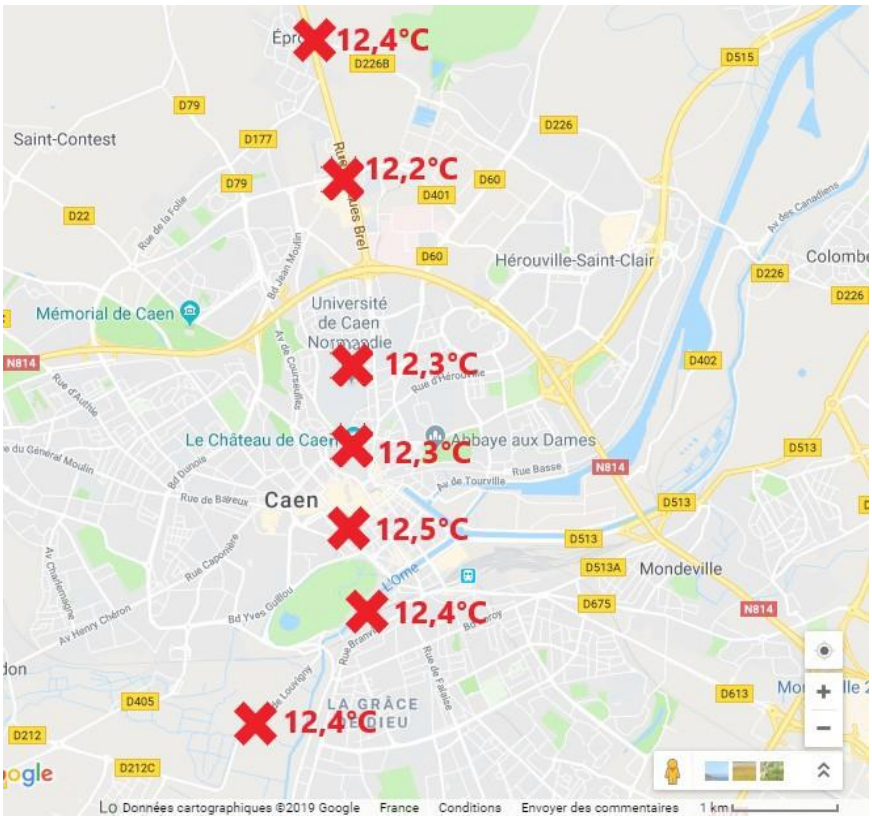
Parcours Nord-Sud :

- 12 Février temps clair et calme (13h27) : 41MINUTES. Différence entre TX et TN : 1,4
- 3 Mars temps couvert et venteux (06h15) : 42MINUTES. Différence entre TX et TN : 0,4
- 5 Mars temps couvert et venteux (22H42) : 38MINUTES. Différence entre TX et TN : 0,4
- 7 Mars temps mitigé couvert/éclaircies (14h49) : 35MINUTES. Différence entre TX et TN : 0,7
- 11 Mars temps nuageux (09h32) : 36MINUTES. Différence entre TX et TN : 1,4
- 17 Mars temps calme et légères averses (12h39) : 23MINUTES. Différence entre TX et TN : 1,2
- 21 Février temps clair et calme (20h27) : 39MINUTES. Différence entre TX et TN : 3,4
- 29 Mars temps clair et calme (13h48) : 37MINUTES. Différence entre TX et TN : 1,5

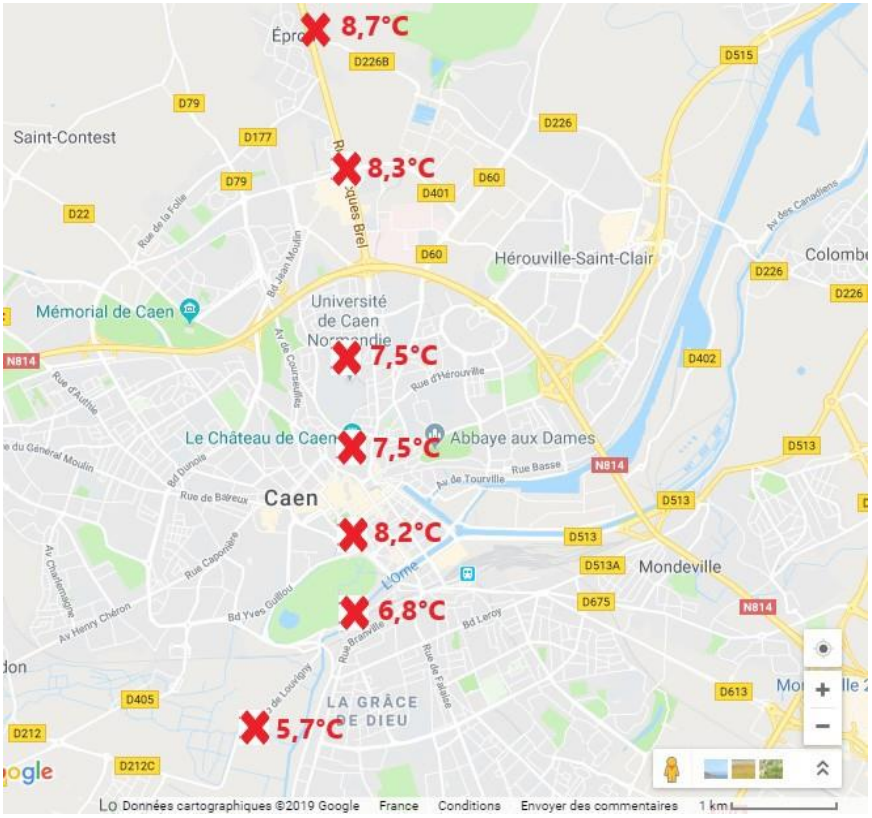

Evolution des T°C lors du parcours Nord-Sud
15
13
11
9
7
5
JARDILAND EPRON
CAMPUS 2
PHENIX FAC
CHATEAU
THEATRE
CHEMIN ENTRE ORNE E...
ROUTE DE LOUVIGNY
29MARS 13H48
12FEV 13h27
17MARS 12h39
11MARS 09h32
7MARS 14h49
5MARS 22h42
3MARS 06h15
21FEV 20h27


Evolution des HR lors du parcours Nord-Sud
90
85
80
75
70
65
60
55
50
JARDILAND EPRON
CAMPUS 2
PHENIX FAC
CHATEAU
THEATRE
CHEMIN ENTRE ORNE ET PRAIRIE
ROUTE DE LOUVIGNY
29MARS 13H48
12FEV 13h27
17MARS 12h39
11MARS 09h32
7MARS 14h49
5MARS 22h42
3MARS 06h15
21FEV 20h27

3 Mars temps couvert et venteux (06h15) : 42MINUTES. Différence entre TX et TN : 0,4



21 Février temps clair et calme (20h27) : 39MINUTES. Différence entre TX et TN : 3,4

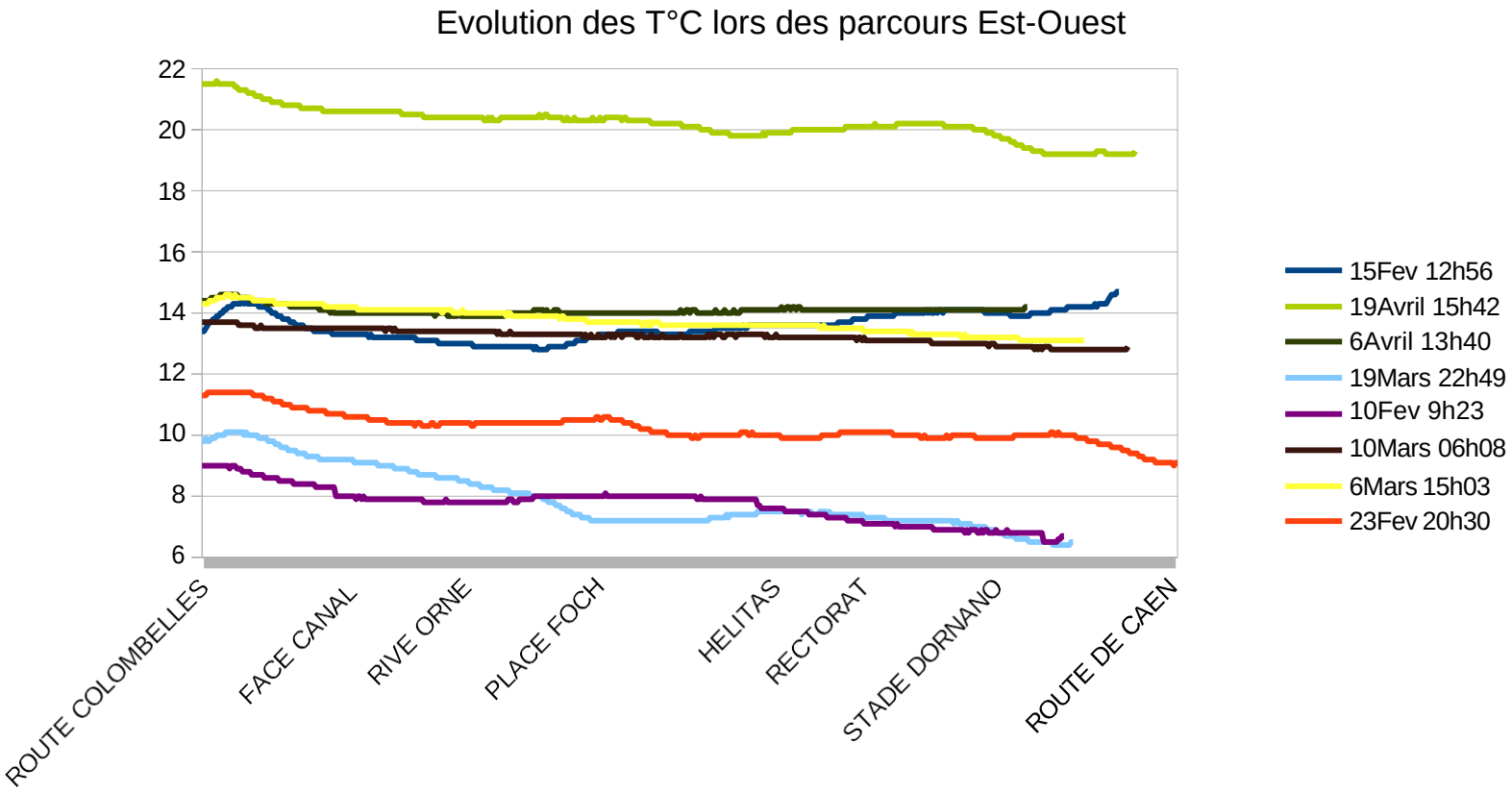


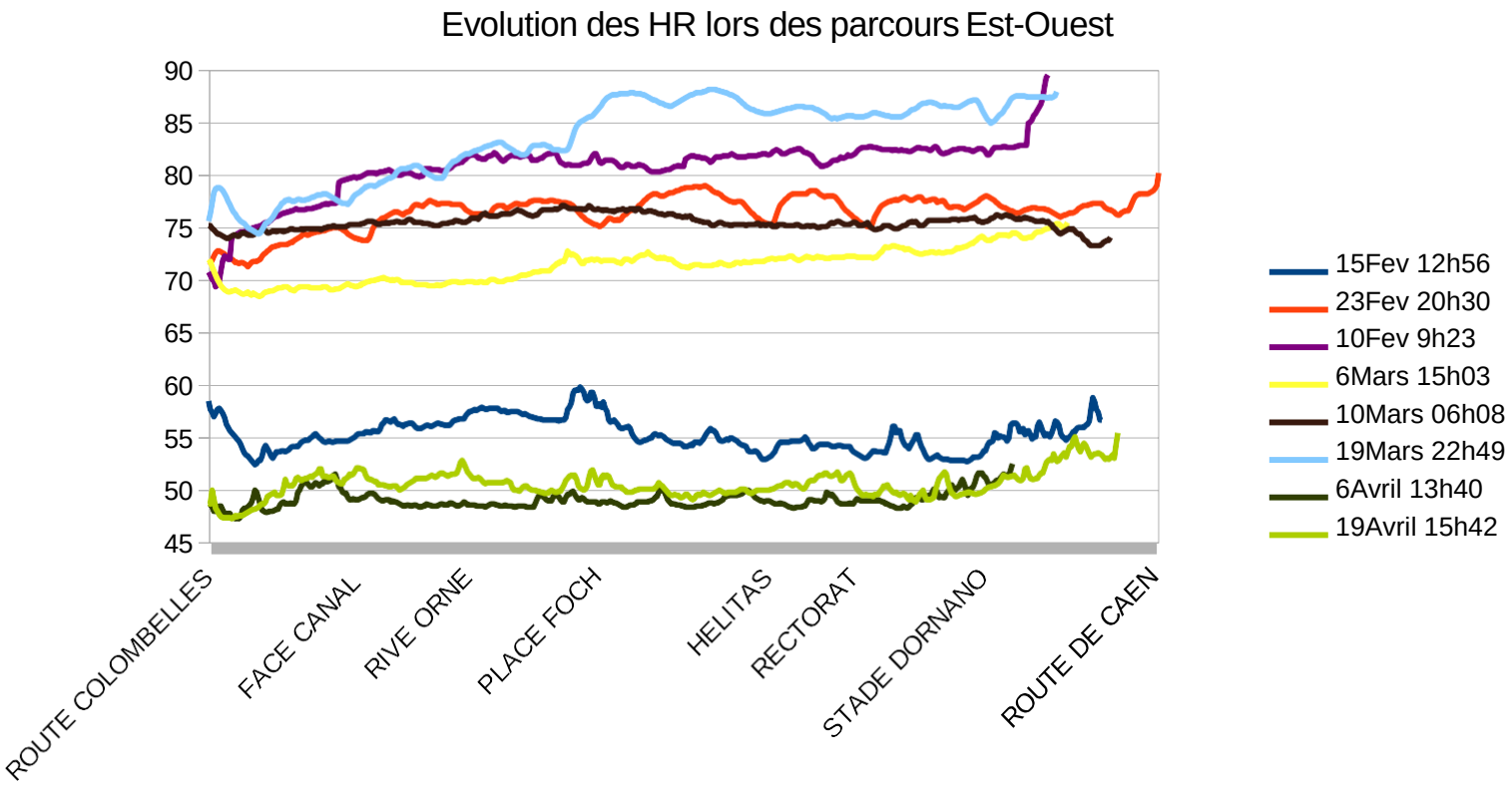
Src : Google Maps, modifié par Alexandre Follin, Avril 2019.

Lors de ce parcours, l'élément majeur est toujours le type de temps. En effet, lorsque nous observons les différences entre TX et TN des parcours, elles sont en cohérence avec le type de temps. Par exemple, le 3 et le 5 Mars, malgré le fait qu'un parcours fut réalisé à 6h15 et 22h42, la dynamique est la même. Le temps couvert et venteux lisse les températures et ne permet pas l'apparition de différences (0,4°C au maximum). En revanche, nous observons le 21 Février lors d'un temps clair et calme que la température baisse puis remonte dans l'hyper centre ville commerçant aux alentours du théâtre de Caen. L'horaire de début de soirée coïncide peut être avec la lente restitution de chaleur des bâtis concentrés dans l'hyper centre. Ceci nous permet donc une fois encore de pouvoir possiblement corréler les écarts de températures avec l'occupation du sol. En outre, nous observons que lorsqu'on ressort de l'agglomération vers le Sud moins dense en bâtis, la température chute. Une fois de plus, il apparaît que le type de temps dicte l'apparition ou non d'espaces différenciés thermiquement, l'occupation du sol va quant à elle expliquer les contrastes thermiques lors du trajet.

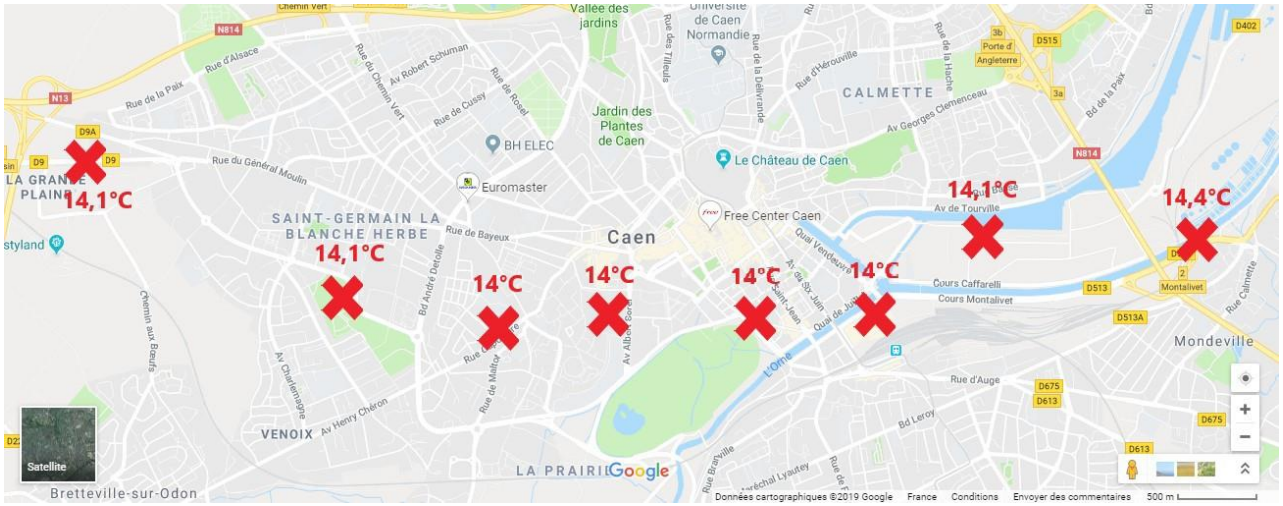
Parcours Est-Ouest :

- 6 Avril temps mitigé clair/couvert (13h40) : 38MINUTES. Différence entre TX et TN : 0,7
- 6 Mars temps couvert (15h03) : 40MINUTES. Différence entre TX et TN : 2
- 10 Février temps couvert puis pluie (9h23) : 47MINUTES. Différence entre TX et TN : 2,5
- 10 Mars temps couvert venteux (06h08) : 42MINUTES. Différence entre TX et TN : 0,9
- 15 Février temps clair et calme (12h56) : 42MINUTES. Différence entre TX et TN : 1,9
- 19 Avril temps clair et calme (15h42) : 43MINUTES. Différence entre TX et TN : 2,4
- 19 Mars temps clair et calme (22h49) : 40MINUTES. Différence entre TX et TN : 3,4
- 23 Février temps clair calme (19h54) : 45MINUTES. Différence entre TX et TN : 2,4

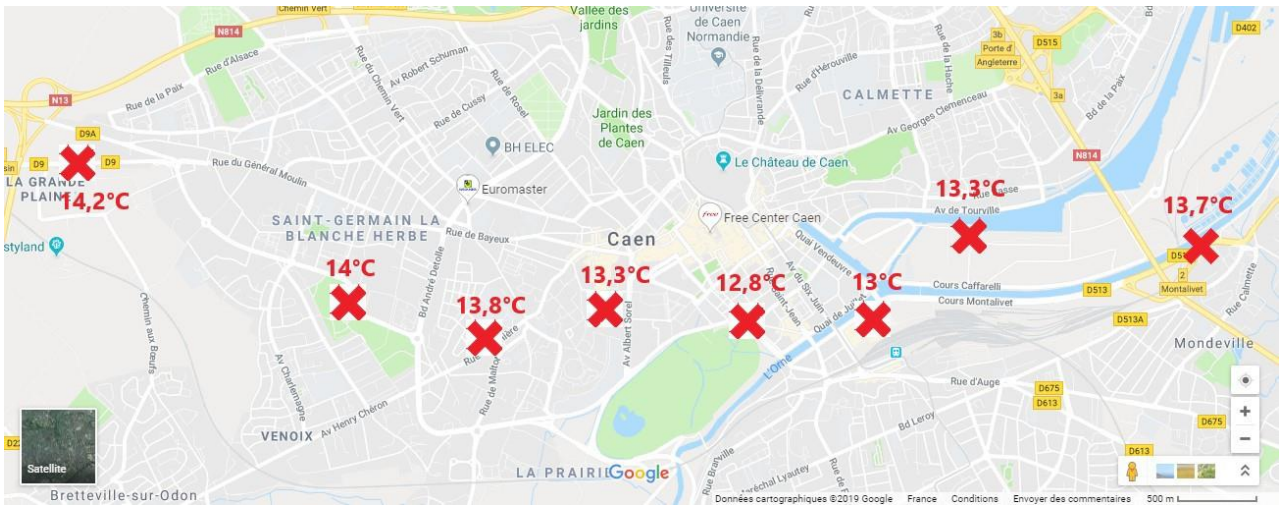

Evolution des T°C lors des parcours Est-Ouest
22
20
18
16
14
12
10
8
6
ROUTE COLOMBELLES
FACE CANAL
RIVE ORNE
PLACE FOCH
HELITAS
RECTORAT
STADE DORNANO
ROUTE DE CAEN
15Fev 12h56
19Avril 15h42
6Avril 13h40
19Mars 22h49
10Fev 9h23
10Mars 06h08
6Mars 15h03
23Fev 20h30


Evolution des HR lors des parcours Est-Ouest
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
ROUTE COLOMBELLES
FACE CANAL
RIVE ORNE
PLACE FOCH
HELITAS
RECTORAT
STADE DORNANO
ROUTE DE CAEN
15Fev 12h56
23Fev 20h30
10Fev 9h23
6Mars 15h03
10Mars 06h08
19Mars 22h49
6Avril 13h40
19Avril 15h42

6 Avril temps mitigé clair/couvert (13h40) : 38MINUTES. Différence entre TX et TN : 0,7



15 Février temps clair et calme (12h56) : 42MINUTES. Différence entre TX et TN : 1,9



Src : Google Maps, modifié par Alexandre Follin, Avril 2019.

Enfin lors de ce dernier parcours, l'élément majeur pour l'établissement de différences de températures est une nouvelle fois le type de temps. En effet, lorsqu'il est clair et calme comme le 19 Mars et 19 Avril, les différences apparaissent et des contrastes thermiques entre divers espaces se dégagent. En revanche lorsque le temps et couvert et venteux comme le 10 Mars, les températures sont lissées et les différences sont difficiles à observer. Cependant le 10 Février lors d'un temps couvert nous observons une différence à noter entre la TX et la TN. Cela est du à une dégradation rapide du type de temps puisque la pluie est apparue à la fin du parcours en parallèle des températures décroissantes. De surcroît, après une nouvelle fois exposé l'importance du type de temps un autre élément apparaît possiblement. En effet, nous pouvons nous demander si le parcours du 15 Février n'est pas lié au paramètre topographique. Lors de celui ci nous observons que les températures minimales sont enregistrées aux alentours de la « prairie » espace le plus bas de la ville topographiquement. Il apparaît qu'en amont (vers l'Est) et en aval (vers l'Ouest) les températures sont plus élevées. Nous pouvons donc nous demander si il n'y a pas eu un mini effet « cuvette » où la fraîcheur a pu stagner lors un temps clair et calme (2,6km/h de vent en moyenne sur la journée relevée sur la station Davis Vantage Pro2).

Pour conclure, nous pouvons établir le fait que les transects réalisés ont eu globalement du mal à mettre en évidence d'importantes différences thermiques. Plusieurs hypothèses concernant la difficulté de faire apparaître ces différences : l'obtention des mesures en période hivernale, la longueur trop courte de nos parcours, la taille de l'agglomération ne permettant pas de grands écarts ? Néanmoins, ces parcours sont très intéressants pour mettre en exergue le rôle prédominant du type de temps. En effet, il apparaît net que lors d'un temps couvert et/ou venteux les températures sont lissées et aucunes dissemblances significatives n'apparaissent. En revanche, malgré la période hivernale et un « beau temps » relativement léger, il apparaît que dès l'instant où le temps devient clair et calme, quelques différences de températures apparaissent et ont la possibilité de se mettre en place. De surcroît, ce travail permet également d'illustrer le rôle de la topographie dans la micro-climatologie puisqu'elle peut expliquer certaines différences de températures. Enfin, le paramètre non négligeable de l'occupation du sol peut également être une clé de compréhension des écarts de températures. Afin de voir plus loin, ces transects nous permettent de tirer quelques enseignements. En effet, nous pouvons extraire quelques sites références pour le climat urbain qui seraient propices à l'installation d'une station fixe pour bien caractériser le climat urbain de Caen. Par exemple, le « cœur de ville » chaud et hyper anthropisé semble se trouver au niveau du théâtre de Caen. À contrario, nous pourrions également faire apparaître l'espace de la « prairie » comme un espace représentant le point le plus végétal, humide et également le plus bas topographiquement de la ville. Par ailleurs, nous pouvons penser que cette période d'enregistrement de mesures itinérantes pourrait être encore améliorée. Premièrement, nous pourrions réaliser divers transects mais cette fois ci en simultané, ceci permettrait d'obtenir une meilleure représentativité thermique de la ville en un moment donné. En outre, nous pourrions utiliser les trajets de bus ou de tramway pour avoir des parcours aller-retour qui quadrillent bien la ville jusqu'à ses extrémités. Dans l'idéal et avec l'aide des services de la ville, nous pourrions possiblement mettre un collecteur de données sur un bus ou un tramway. Ceci nous permettrait de réaliser des transects aller-retour avec un parcours et une vitesse toujours similaires.

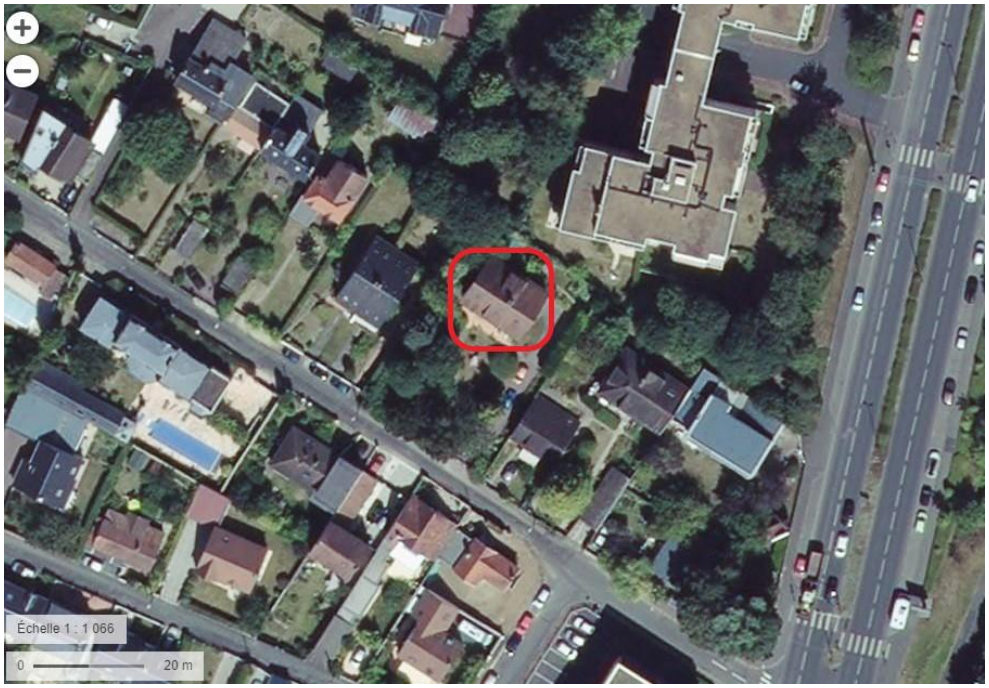
V) ENVI-met (Environmental Meteorology) :

Le logiciel ENVI-met est né à l'université de géographie de Bochum en Allemagne par le biais de Michael Bruse. Il simule les interactions entre l'atmosphère, le bâti et la végétation. Le modèle 3D qu'est ENVI-met repose sur une grille géométrique qui peut couvrir une zone pouvant aller jusqu'à 1km sur 1km. Par conséquent, ce logiciel n'a pas pour but de modéliser le climat d'une agglomération. L'idée est plutôt de modéliser un espace restreint, un pâté de maison ou un quartier. ENVI-met est disponible gratuitement avec des explications principalement en anglais pour la prise en main. ENVI-met peut calculer les diverses variables d'un bilan d'énergie mais également les écoulements de vent autour des divers bâtis. Afin de réaliser une simulation, l'interface du logiciel nous permet de renseigner divers paramètres tel que : un pas de temps, la disposition des divers bâtis et leurs hauteurs, le type de sol, les routes, la présence de végétaux et leurs natures, etc (outil SPACES). Après la digitalisation de l'espace voulu, une simulation peut être lancée, celle ci peut prendre entre quelques heures voir quelques jours selon la modélisation. L'outil de visualisation LEONARDO nous permet par la suite d'obtenir les résultats de la modélisation effectuée. Dans notre cas, la modélisation à été effectuée sur le pâté de maison avec la station Davis Vantage Pro2 (cercle rouge sur les illustrations). La modélisation représente la journée du 26 Février 2019. Le choix a été fait de modéliser cette journée dans la mesure où l'amplitude des températures était importante.

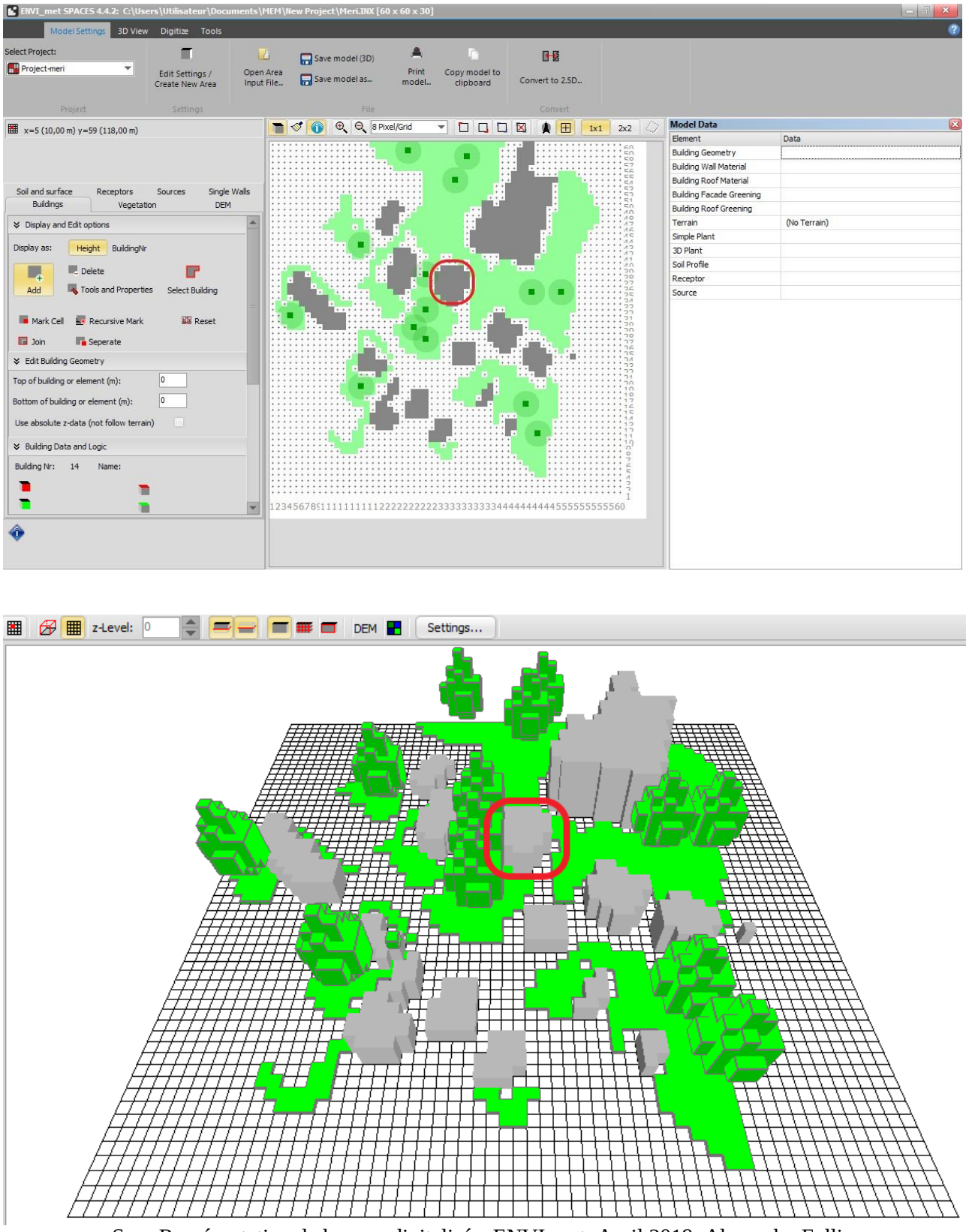
En effet, la T°C fut de 0,7°C à 6h59 UTC et de 18,8°C à 15h59 UTC.
L'humidité relative est passée de 91% à 7h59 UTC à 49% à 14h59 UTC.
L'énergie reçue fut de 0 J/cm² à 6h59 UTC puis de 104 J/cm² à 10h59 UTC.

Voici les moyennes journalières de divers paramètres pour la journée du 26 Février 2019 dans le jardin du 19 Allée des Merisiers à Caen :

°C	°C	°C	°C	°C	km/h	km/h	J/cm²
T meri	TX meri	TN meri	HR meri	TD meri	FF meri	FXI meri	NRJ meri
8,3	9,0	7,6	75,8	3,9	0,35	2,4	16,9

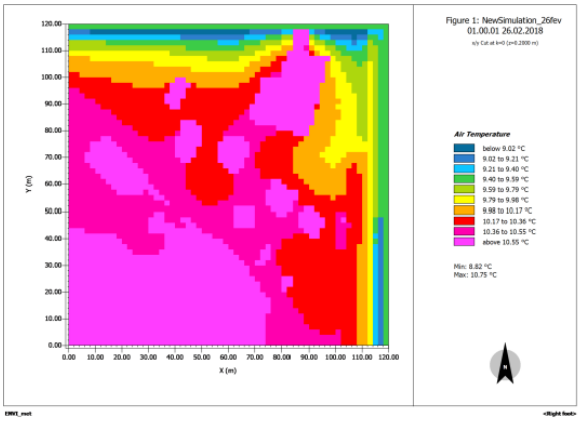


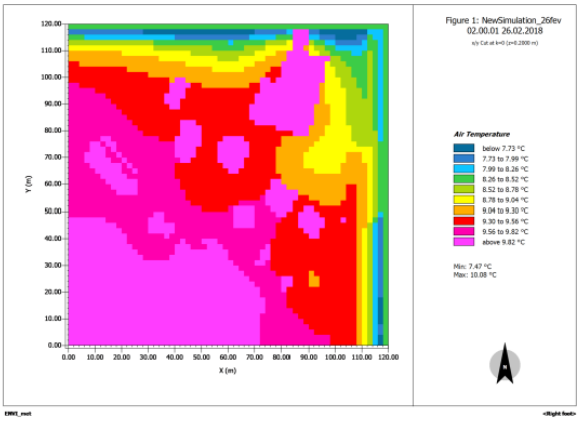
Src : vue aérienne de la zone digitalisée, géoportail.

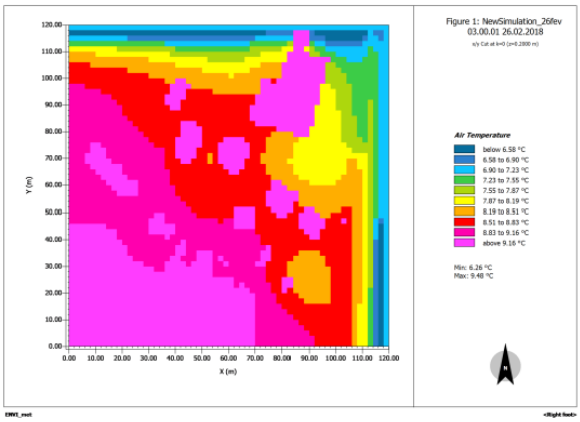


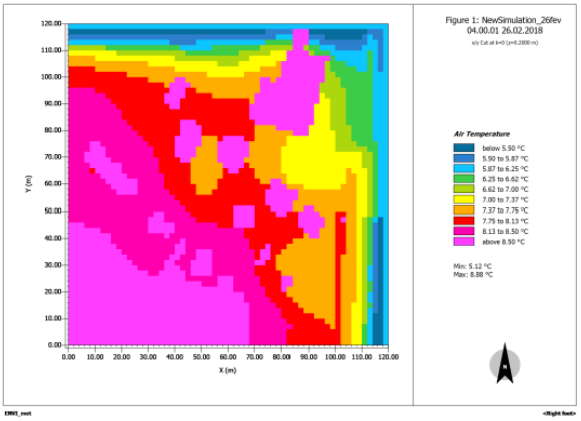
Src : Représentation de la zone digitalisée, ENVI-met, Avril 2019, Alexandre Follin.

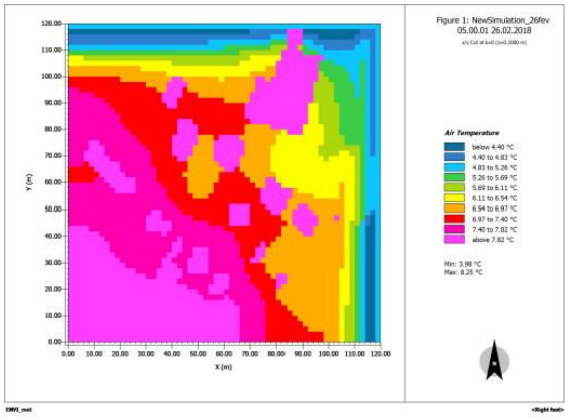
Le premier paramètre de la modélisation est celui de la T°C voici ce donne la modélisation de 01h à 23h :

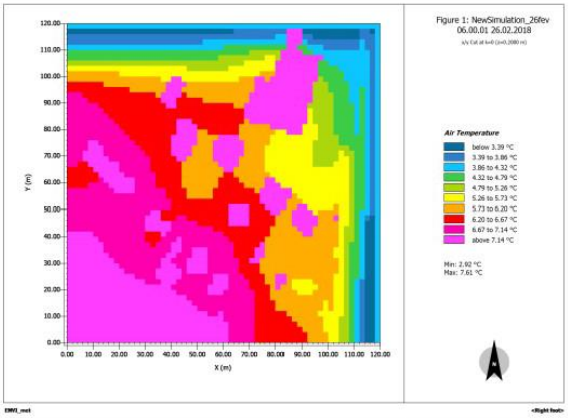


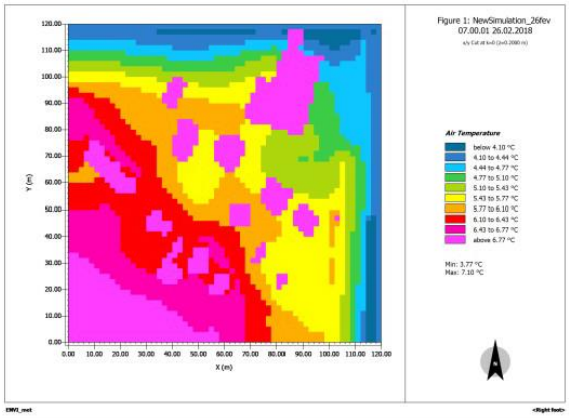


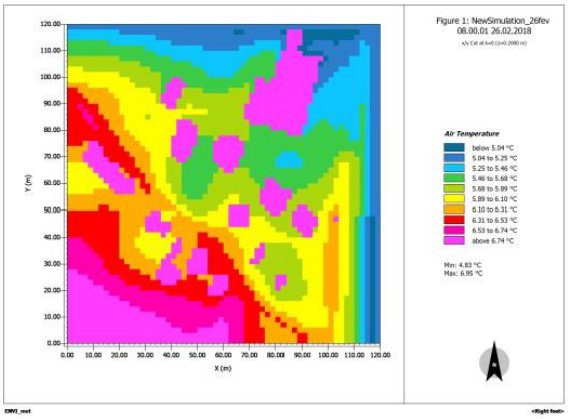












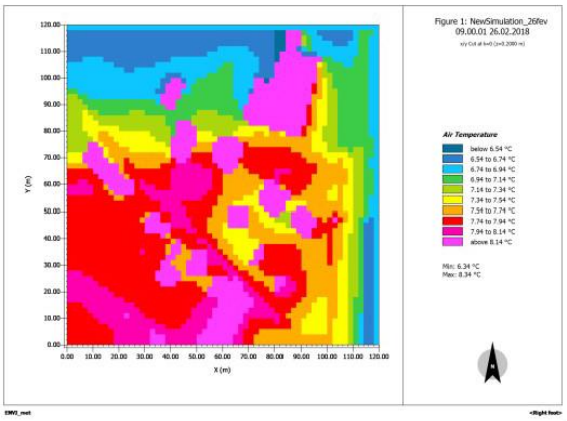


Figure 1: NewSimulation_26fev
09.00.01 26.02.2018
Air Temperature
below 6.54 °C
6.54 to 6.74 °C
6.74 to 6.94 °C
6.94 to 7.14 °C
7.14 to 7.34 °C
7.34 to 7.54 °C
7.54 to 7.74 °C
7.74 to 7.94 °C
7.94 to 8.14 °C
above 8.14 °C
Min: 6.34 °C
Max: 8.34 °C
X (m)
Y (m)

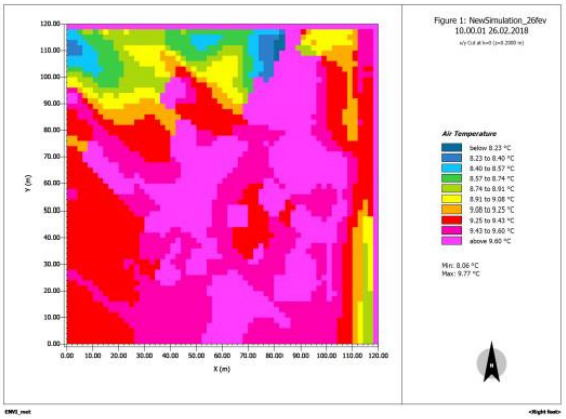


Figure 1: NewSimulation_26fev
10.00.01 26.02.2018
Air Temperature
below 8.23 °C
8.23 to 8.40 °C
8.40 to 8.57 °C
8.57 to 8.74 °C
8.74 to 8.91 °C
8.91 to 9.08 °C
9.08 to 9.25 °C
9.25 to 9.43 °C
9.43 to 9.60 °C
above 9.60 °C
Min: 8.06 °C
Max: 9.77 °C
X (m)
Y (m)

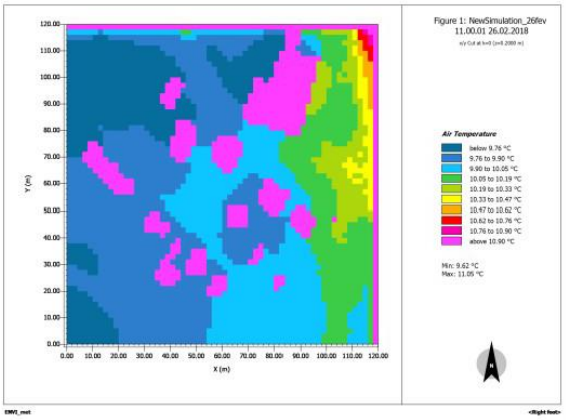


Figure 1: NewSimulation_26fev
11.00.01 26.02.2018
Air Temperature
below 9.76 °C
9.76 to 9.90 °C
9.90 to 10.05 °C
10.05 to 10.19 °C
10.19 to 10.33 °C
10.33 to 10.47 °C
10.47 to 10.62 °C
10.62 to 10.76 °C
10.76 to 10.90 °C
above 10.90 °C
Min: 9.62 °C
Max: 11.05 °C
X (m)
Y (m)

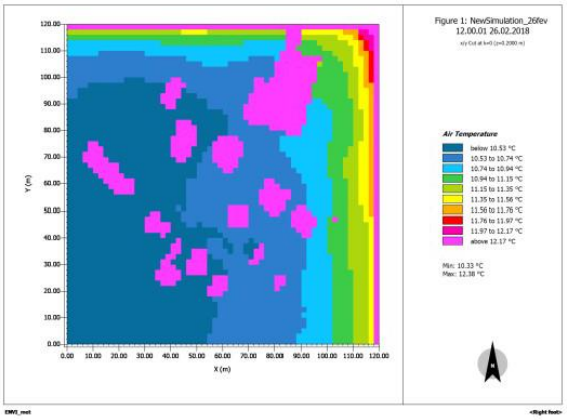


Figure 1: NewSimulation_26fev
12.00.01 26.02.2018
Air Temperature
below 10.53 °C
10.53 to 10.74 °C
10.74 to 10.94 °C
10.94 to 11.15 °C
11.15 to 11.35 °C
11.35 to 11.56 °C
11.56 to 11.76 °C
11.76 to 11.97 °C
11.97 to 12.17 °C
above 12.17 °C
Min: 10.33 °C
Max: 12.38 °C
X (m)
Y (m)

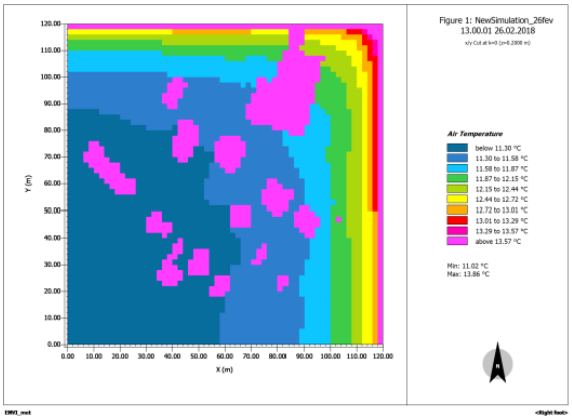


Figure 1: NewSimulation_26fev
13.00.01 26.02.2018
Air Temperature
below 11.30 °C
11.30 to 11.58 °C
11.58 to 11.87 °C
11.87 to 12.15 °C
12.15 to 12.44 °C
12.44 to 12.72 °C
12.72 to 13.01 °C
13.01 to 13.29 °C
13.29 to 13.57 °C
above 13.57 °C
Min: 11.02 °C
Max: 13.86 °C
X (m)
Y (m)

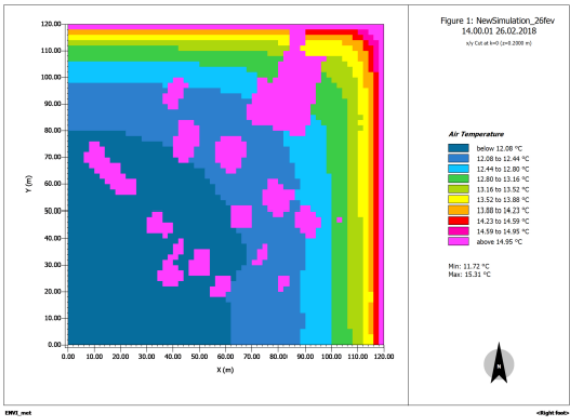


Figure 1: NewSimulation_26fev
14.00.01 26.02.2018
Air Temperature
below 12.08 °C
12.08 to 12.44 °C
12.44 to 12.80 °C
12.80 to 13.16 °C
13.16 to 13.52 °C
13.52 to 13.88 °C
13.88 to 14.23 °C
14.23 to 14.59 °C
14.59 to 14.95 °C
above 14.95 °C
Min: 11.72 °C
Max: 15.31 °C
X (m)
Y (m)

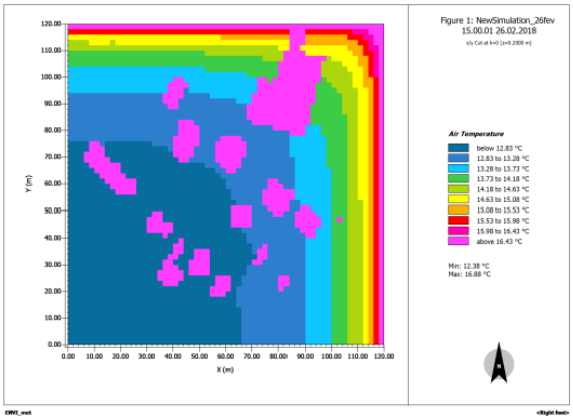


Figure 1: NewSimulation_26fev
15.00.01 26.02.2018
Air Temperature
below 12.83 °C
12.83 to 13.28 °C
13.28 to 13.73 °C
13.73 to 14.18 °C
14.18 to 14.63 °C
14.63 to 15.08 °C
15.08 to 15.53 °C
15.53 to 15.98 °C
15.98 to 16.43 °C
above 16.43 °C
Min: 12.38 °C
Max: 16.88 °C
X (m)
Y (m)

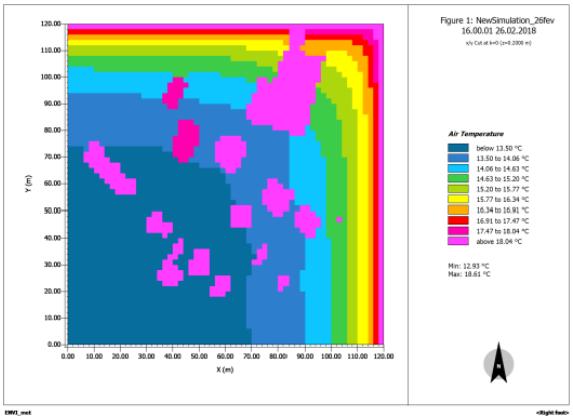
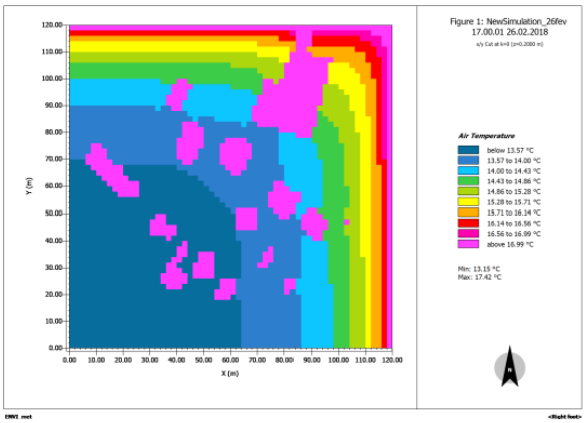
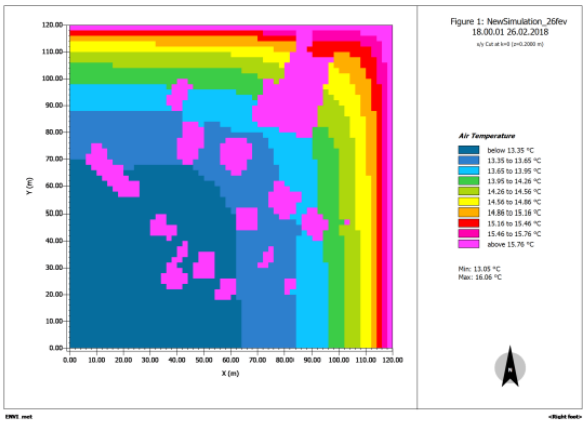
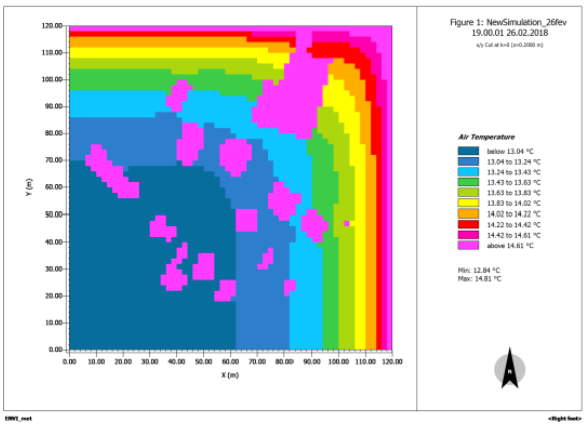
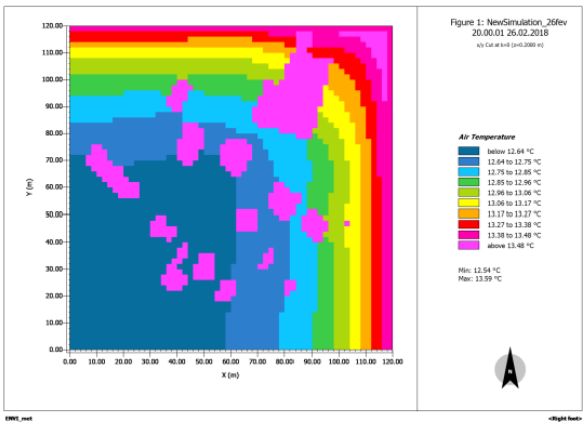


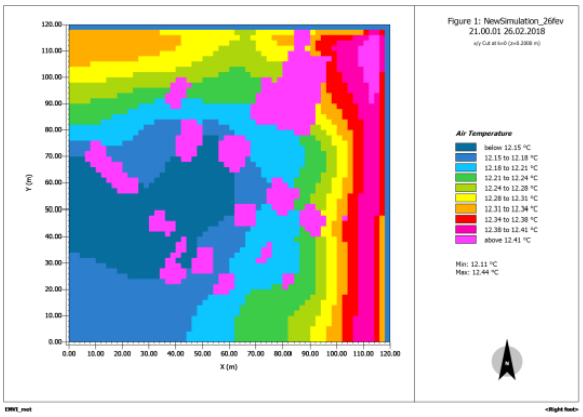
Figure 1: NewSimulation_26fev
16.00.01 26.02.2018
Air Temperature
below 13.50 °C
13.50 to 14.06 °C
14.06 to 14.63 °C
14.63 to 15.20 °C
15.20 to 15.77 °C
15.77 to 16.34 °C
16.34 to 16.91 °C
16.91 to 17.47 °C
17.47 to 18.04 °C
above 18.04 °C
Min: 12.93 °C
Max: 18.61 °C
X (m)
Y (m)

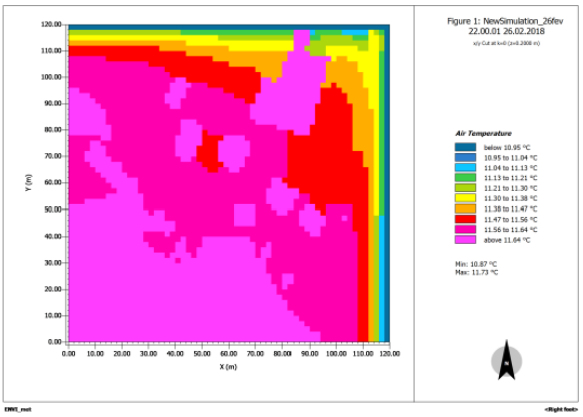


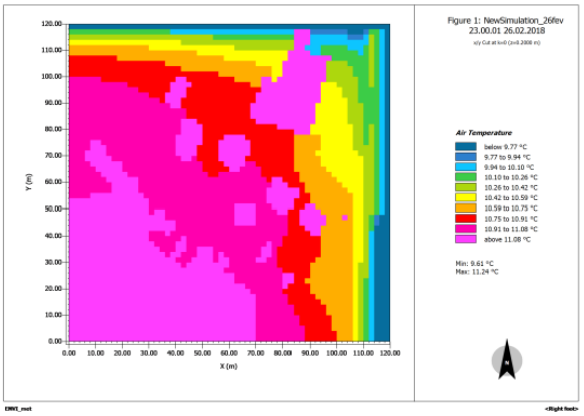








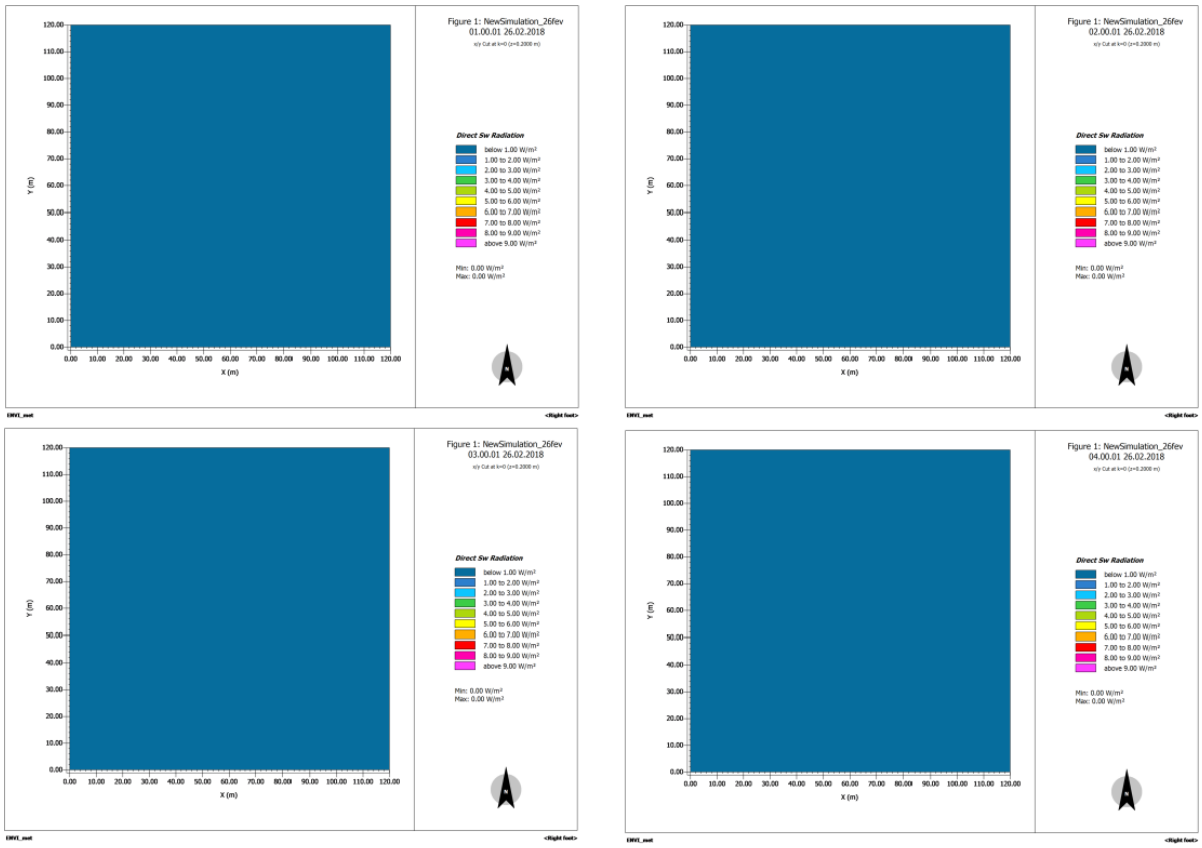




Src : Résultat de la modélisation, LEONARDO, Avril 2019, Alexandre Follin.

Grace à cette modélisation, nous pouvons observer que les bâtiments sont certes visibles « thermiquement » mais ils se détachent réellement de leur environnement à partir de 11h (environ 2°C d'écart). Nous pouvons mettre ceci en perspective avec le travail réalisé lors de la comparaison ville-campagne. Lorsque nous avons calculé les moyennes horaires des divers paramètres climatiques, l'énergie reçue en J/cm² fut la plus importante à 11h. En outre, nos moyennes horaires montrent que l'apport d'énergie est en moyenne de 0 J/cm2 à partir de 19h, cependant, la modélisation montre que les bâtiments ne deviennent semblables thermiquement avec l'espace environnant qu'à partir de 22h. Ceci nous exprime bien la restitution lente de chaleur (facteur essentiel à établissement de l'îlot de chaleur) dans la ville par les constructions ayant emmagasinées l'apport énergétique durant la journée.

De plus, nous avons voulu vérifier si la modélisation de la radiation solaire est également en adéquation avec les données récoltées in situ. Voici donc la modélisation de radiation solaire de 01h à 23h :



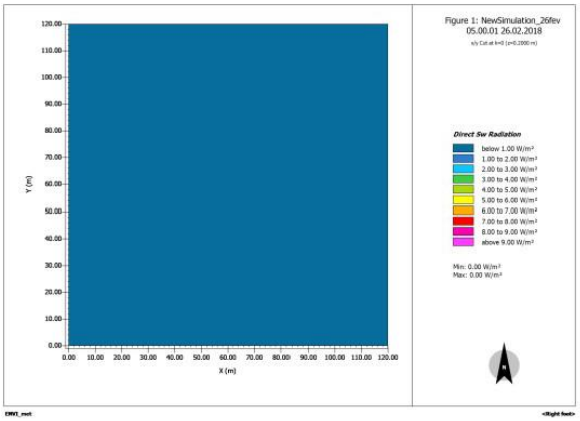


Figure 1: NewSimulation_26fev
05.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 1.00 W/m²
1.00 to 2.00 W/m²
2.00 to 3.00 W/m²
3.00 to 4.00 W/m²
4.00 to 5.00 W/m²
5.00 to 6.00 W/m²
6.00 to 7.00 W/m²
7.00 to 8.00 W/m²
8.00 to 9.00 W/m²
above 9.00 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 0.00 W/m²
X (m)
Y (m)

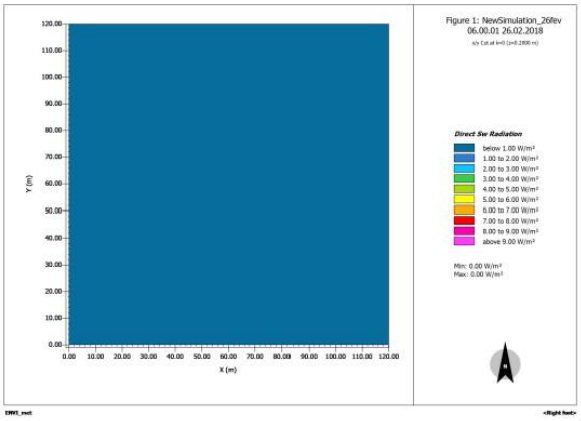


Figure 1: NewSimulation_26fev
06.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 1.00 W/m²
1.00 to 2.00 W/m²
2.00 to 3.00 W/m²
3.00 to 4.00 W/m²
4.00 to 5.00 W/m²
5.00 to 6.00 W/m²
6.00 to 7.00 W/m²
7.00 to 8.00 W/m²
8.00 to 9.00 W/m²
above 9.00 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 0.00 W/m²
X (m)
Y (m)

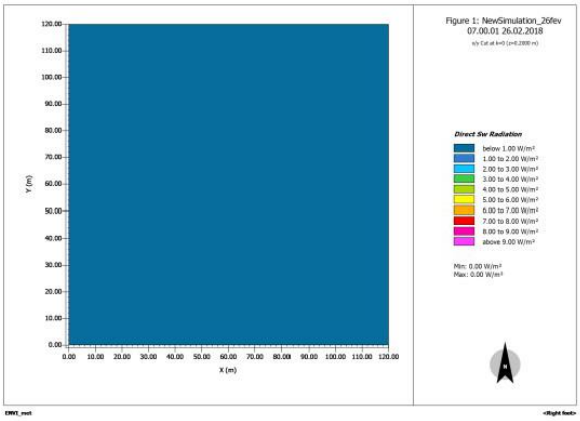


Figure 1: NewSimulation_26fev
07.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 1.00 W/m²
1.00 to 2.00 W/m²
2.00 to 3.00 W/m²
3.00 to 4.00 W/m²
4.00 to 5.00 W/m²
5.00 to 6.00 W/m²
6.00 to 7.00 W/m²
7.00 to 8.00 W/m²
8.00 to 9.00 W/m²
above 9.00 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 0.00 W/m²
X (m)
Y (m)

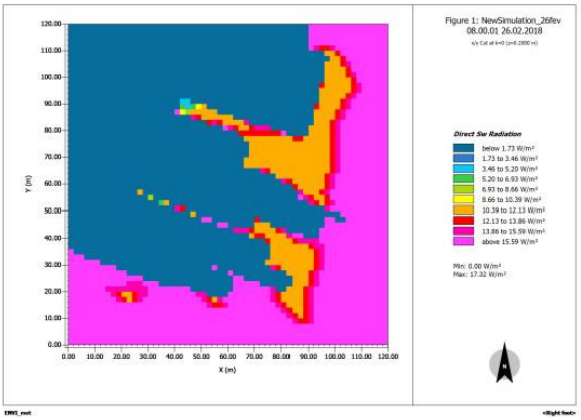


Figure 1: NewSimulation_26fev
08.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 1.73 W/m²
1.73 to 3.46 W/m²
3.46 to 5.20 W/m²
5.20 to 6.93 W/m²
6.93 to 8.66 W/m²
8.66 to 10.39 W/m²
10.39 to 12.13 W/m²
12.13 to 13.86 W/m²
13.86 to 15.59 W/m²
above 15.59 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 17.32 W/m²
X (m)
Y (m)

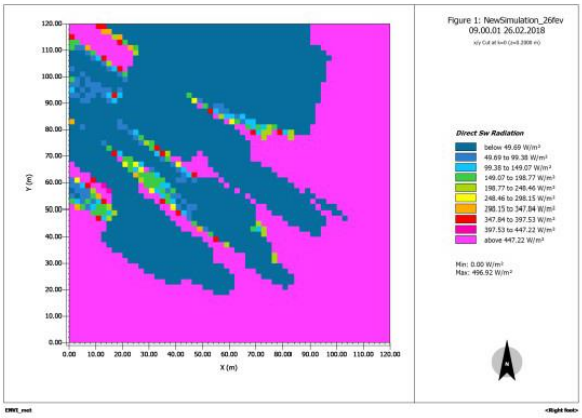


Figure 1: NewSimulation_26fev
09.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 49.69 W/m²
49.69 to 99.38 W/m²
99.38 to 149.07 W/m²
149.07 to 198.77 W/m²
198.77 to 248.46 W/m²
248.46 to 298.15 W/m²
298.15 to 347.84 W/m²
347.84 to 397.53 W/m²
397.53 to 447.22 W/m²
above 447.22 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 496.92 W/m²
X (m)
Y (m)

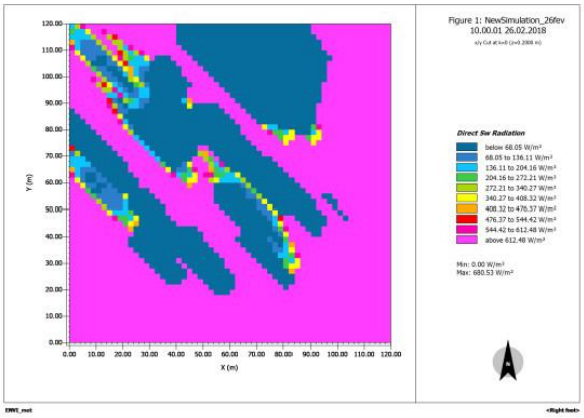


Figure 1: NewSimulation_26fev
10.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 68.05 W/m²
68.05 to 136.11 W/m²
136.11 to 204.16 W/m²
204.16 to 272.21 W/m²
272.21 to 340.27 W/m²
340.27 to 408.32 W/m²
408.32 to 476.37 W/m²
476.37 to 544.42 W/m²
544.42 to 612.48 W/m²
above 612.48 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 680.53 W/m²
X (m)
Y (m)

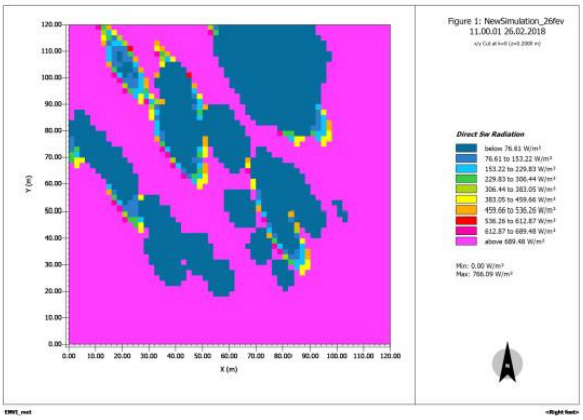


Figure 1: NewSimulation_26fev
11.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 76.61 W/m²
76.61 to 153.22 W/m²
153.22 to 229.83 W/m²
229.83 to 306.44 W/m²
306.44 to 383.05 W/m²
383.05 to 459.66 W/m²
459.66 to 536.26 W/m²
536.26 to 612.87 W/m²
612.87 to 689.48 W/m²
above 689.48 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 766.09 W/m²
X (m)
Y (m)

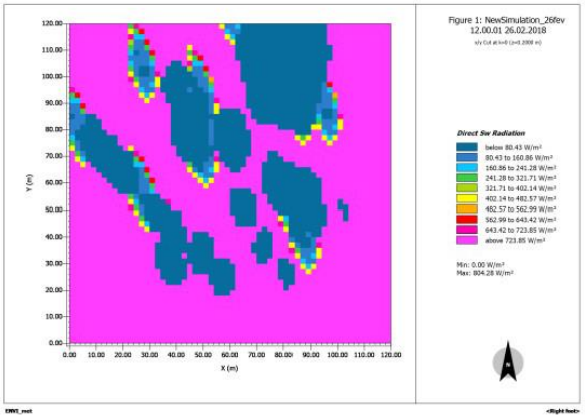


Figure 1: NewSimulation_26fev
12.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 80.43 W/m²
80.43 to 160.86 W/m²
160.86 to 241.28 W/m²
241.28 to 321.71 W/m²
321.71 to 402.14 W/m²
402.14 to 482.57 W/m²
482.57 to 562.99 W/m²
562.99 to 643.42 W/m²
643.42 to 723.85 W/m²
above 723.85 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 904.28 W/m²
X (m)
Y (m)

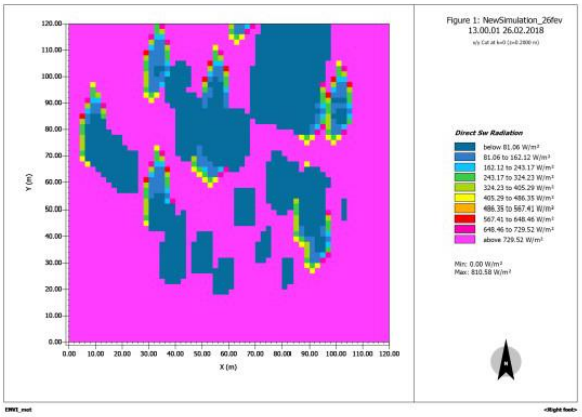


Figure 1: NewSimulation_26fev
13.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 81.06 W/m²
81.06 to 162.12 W/m²
162.12 to 243.17 W/m²
243.17 to 324.23 W/m²
324.23 to 405.29 W/m²
405.29 to 486.35 W/m²
486.35 to 567.41 W/m²
567.41 to 648.46 W/m²
648.46 to 729.52 W/m²
above 729.52 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 810.58 W/m²
X (m)
Y (m)

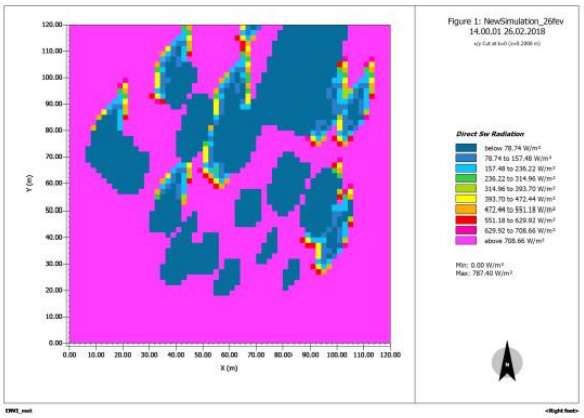


Figure 1: NewSimulation_26fev
14.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 78.74 W/m²
78.74 to 157.48 W/m²
157.48 to 236.22 W/m²
236.22 to 314.96 W/m²
314.96 to 393.70 W/m²
393.70 to 472.44 W/m²
472.44 to 551.18 W/m²
551.18 to 629.92 W/m²
629.92 to 708.66 W/m²
above 708.66 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 787.40 W/m²
X (m)
Y (m)

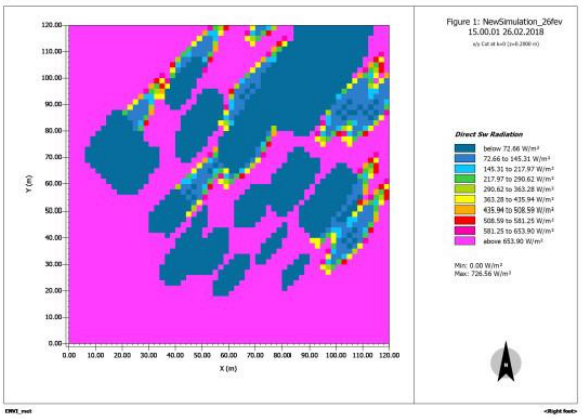


Figure 1: NewSimulation_26fev
15.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 72.66 W/m²
72.66 to 145.31 W/m²
145.31 to 217.97 W/m²
217.97 to 290.62 W/m²
290.62 to 363.28 W/m²
363.28 to 435.94 W/m²
435.94 to 508.59 W/m²
508.59 to 581.25 W/m²
581.25 to 653.90 W/m²
above 653.90 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 726.56 W/m²
X (m)
Y (m)

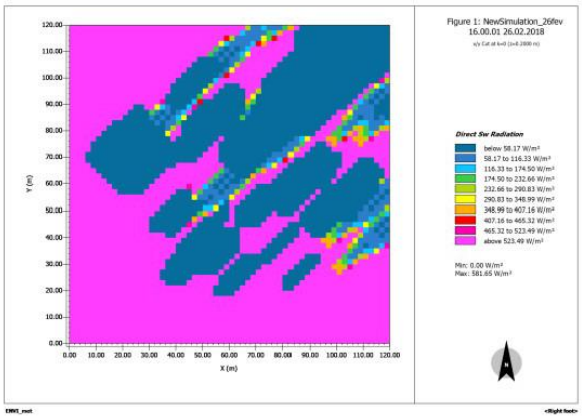


Figure 1: NewSimulation_26fev
16.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 58.17 W/m²
58.17 to 116.33 W/m²
116.33 to 174.50 W/m²
174.50 to 232.66 W/m²
232.66 to 290.83 W/m²
290.83 to 348.99 W/m²
348.99 to 407.16 W/m²
407.16 to 465.32 W/m²
465.32 to 523.49 W/m²
above 523.49 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 581.65 W/m²
X (m)
Y (m)

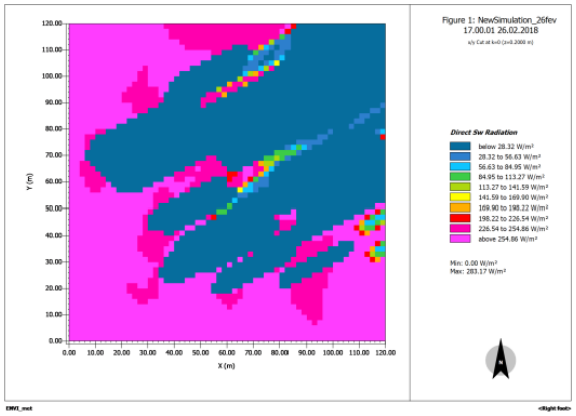


Figure 1: NewSimulation_26fev
17.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 28.32 W/m²
28.32 to 56.63 W/m²
56.63 to 84.95 W/m²
84.95 to 113.27 W/m²
113.27 to 141.59 W/m²
141.59 to 169.90 W/m²
169.90 to 198.22 W/m²
198.22 to 226.54 W/m²
226.54 to 254.86 W/m²
above 254.86 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 283.17 W/m²
X (m)
Y (m)

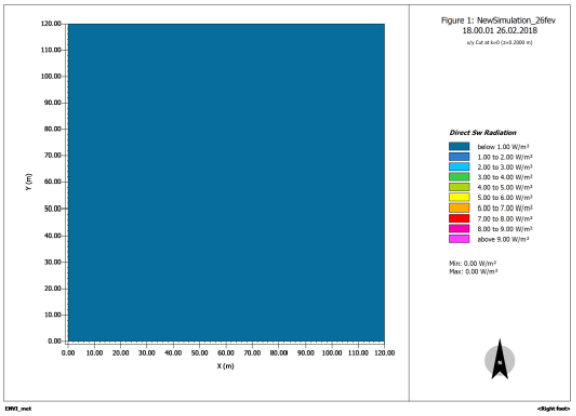


Figure 1: NewSimulation_26fev
18.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 1.00 W/m²
1.00 to 2.00 W/m²
2.00 to 3.00 W/m²
3.00 to 4.00 W/m²
4.00 to 5.00 W/m²
5.00 to 6.00 W/m²
6.00 to 7.00 W/m²
7.00 to 8.00 W/m²
8.00 to 9.00 W/m²
above 9.00 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 0.00 W/m²
X (m)
Y (m)

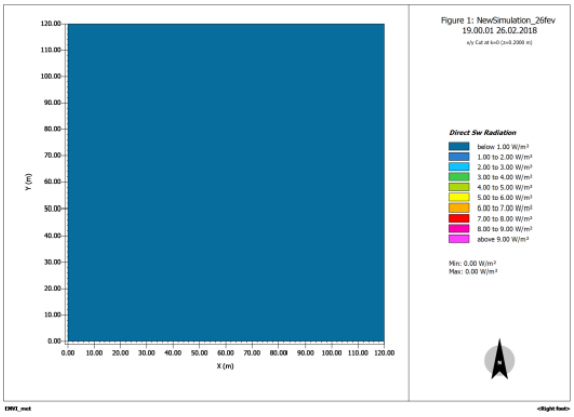


Figure 1: NewSimulation_26fev
19.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 1.00 W/m²
1.00 to 2.00 W/m²
2.00 to 3.00 W/m²
3.00 to 4.00 W/m²
4.00 to 5.00 W/m²
5.00 to 6.00 W/m²
6.00 to 7.00 W/m²
7.00 to 8.00 W/m²
8.00 to 9.00 W/m²
above 9.00 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 0.00 W/m²
X (m)
Y (m)

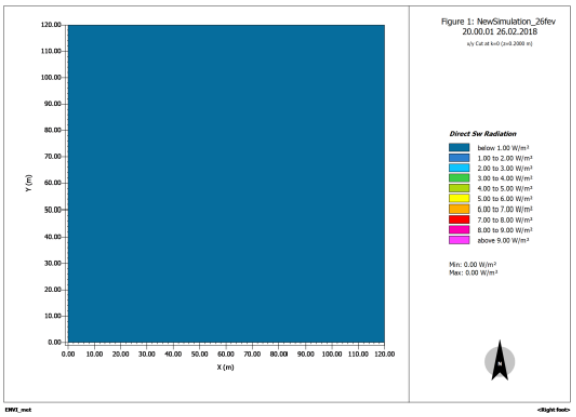
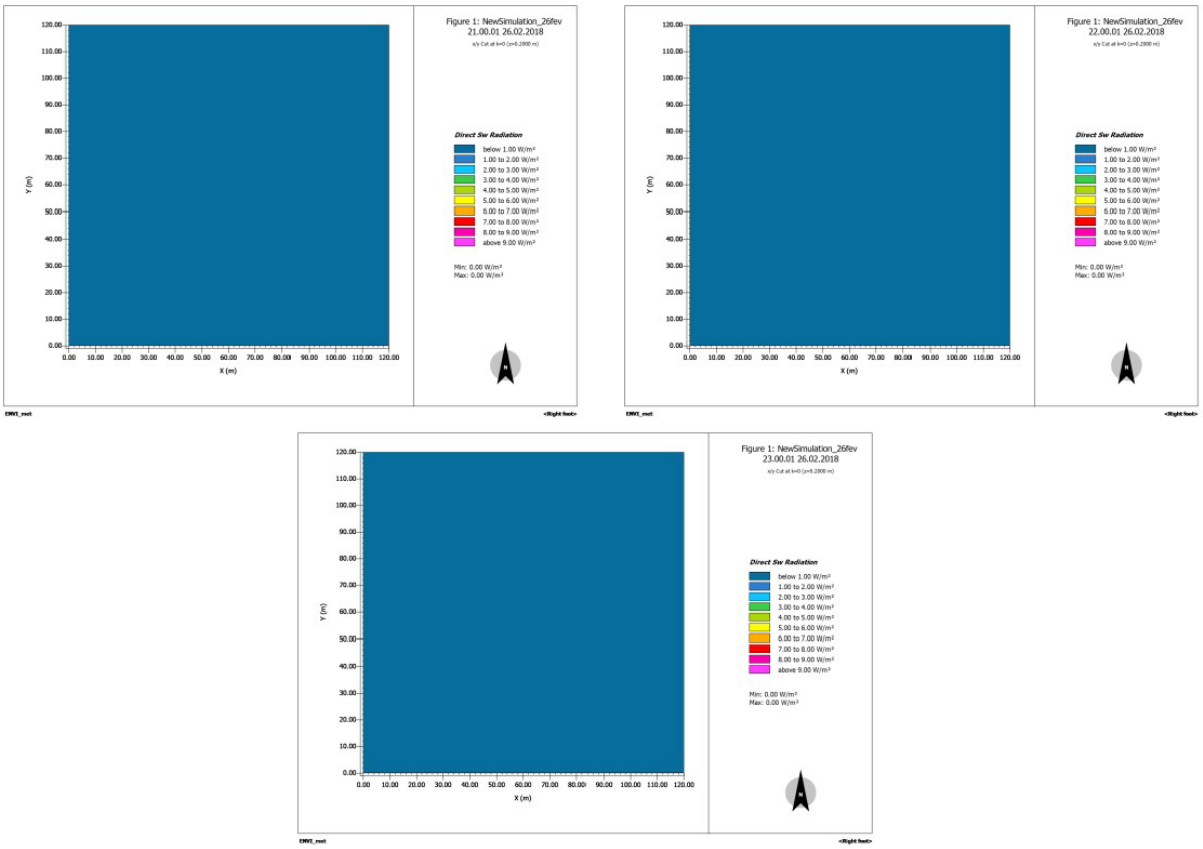


Figure 1: NewSimulation_26fev
20.00.01 26.02.2018
Direct Sw Radiation
below 1.00 W/m²
1.00 to 2.00 W/m²
2.00 to 3.00 W/m²
3.00 to 4.00 W/m²
4.00 to 5.00 W/m²
5.00 to 6.00 W/m²
6.00 to 7.00 W/m²
7.00 to 8.00 W/m²
8.00 to 9.00 W/m²
above 9.00 W/m²
Min: 0.00 W/m²
Max: 0.00 W/m²
X (m)
Y (m)



Src : Résultat de la modélisation, LEONARDO, Avril 2019, Alexandre Follin.

En ce qui concerne le cadre temporel, la modélisation est en accord avec les donnés récoltées si l'on se réfère aux moyennes horaires de l'apport énergétique :

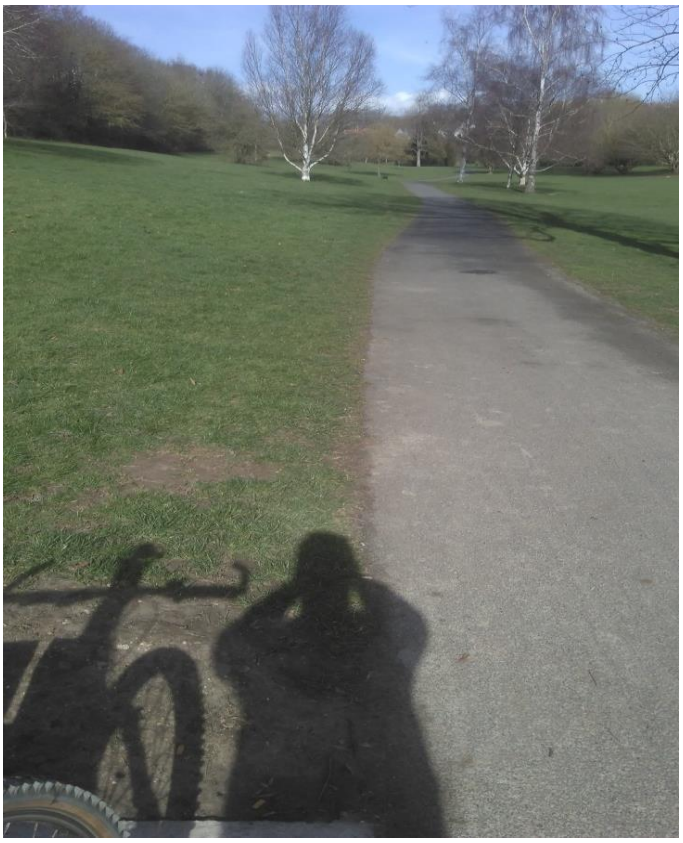
	J/cm²
	NRJ meri
0	0,0
1	0,0
2	0,0
3	0,0
4	0,0
5	0,0
6	0,0
7	0,2
8	2,9
9	11,0
10	29,5
11	47,6
12	41,2
13	36,6
14	28,3
15	22,0
16	17,2
17	6,9
18	0,7
19	0,0
20	0,0
21	0,0
22	0,0
23	0,0

Comme sur la modélisation, l'apport énergétique apparaît réellement à 8h et cesse assez nettement à 17h. Avec la modélisation des températures, nous pouvons donc aisément constater l'effet d'emmagasinement de chaleur du bâti urbain. En effet, la radiation solaire va cesser vers 17h, or, les températures des bâtiments et des surfaces environnantes vont s'homogénéiser seulement vers 22h. De surcroît, nous constatons également les effets d'ombrages. Le bâti urbain réduit la radiation solaire aux alentours des bâtiments. De plus, les espaces environnants aux bâtiments se caractérisent par un réchauffement et refroidissement fort et rapide, autrement dit l'inverse des constructions urbaines. Par conséquent, la modélisation est intéressante puisqu'elle est en corrélation avec la récolte de données dans le jardin 19 allée des merisiers. En effet, nous nous apercevons que la récolte de données brut et la modélisation se complètent. La modélisation se fait par le biais des données récoltées, mais une fois faite, elle confirme la qualité et le sérieux des données. C'est donc un outil pour appuyer et solidifier le travail fait en amont avec le jeu de données.

VI) Utilisation d’une caméra thermique:

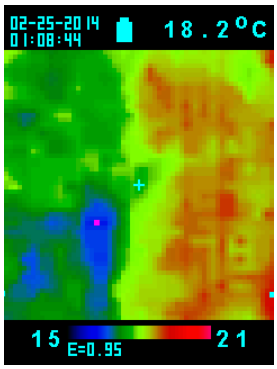
Grace à l’outil qu’est la caméra thermique, nous avons pu réaliser quelques travaux sur l’inertie et l’accumulation/restitution de chaleur de divers matériaux et lieux dans la ville de Caen. La caméra thermique nous permet de prendre une photo thermique puis par le biais d’une Carte Sd intégrée, nous pouvons extraire les photographies sur ordinateur. En outre, une des limites de cet outil est que ses photographies n’ont pas toujours la même échelle de températures et la gamme des couleurs peut varier. Néanmoins, la photographie est composée de « pixels thermiques » que nous pouvons afficher sur Excel, ce qui nous donne les diverses températures qui composent le cliché. Par conséquent, nous pouvons nous même donner une échelle et des couleurs semblables afin de réaliser des travaux d’évolution thermique d’un lieu ou de comparaison thermique entre deux éléments. Petit élément à noter qui n’a aucune incidence sur ce travail, sur les photographies faites par la caméra, la date et l’heure n’est pas exacte, il ne faut pas en tenir compte :

Comparaison et évolution thermique du chemin en bitume et espace engazonné à la Vallée des jardins (14000, Caen) le 19 Février 2019 :

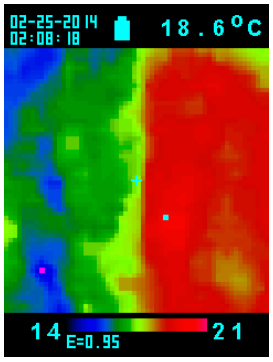


Src : Prise de vue de la photographie thermique, Alexandre Follin, 19/02/19, 13h39.

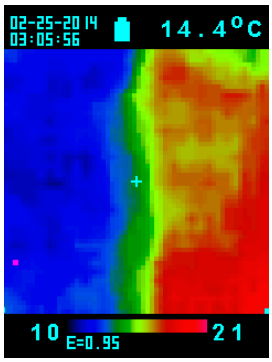
13 H 39



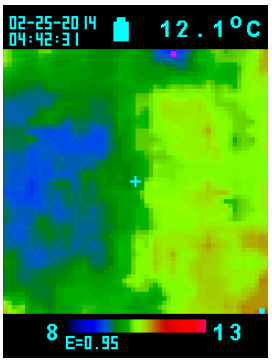
14 H 37



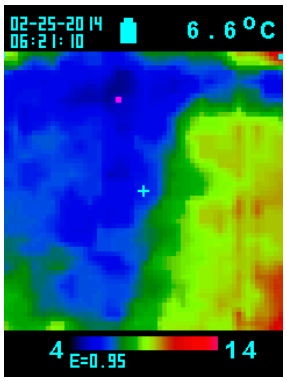
15 H 39



17 H 02



18 H 50



13h39 Moyenne : 18,5°C Min : 15°C Max : 22°C

20	18	19	17	17	19	18	18	18	18	18	19	18	19	19	18	19	17	19	17	20	18	18	19	18	18	19	18	20	20	21
18	18	19	18	18	17	17	18	17	17	18	19	17	17	18	19	19	19	18	19	20	19	18	18	19	18	20	19	19	21	20
18	17	18	18	17	18	18	20	17	17	16	17	18	18	19	20	20	19	19	18	20	17	18	16	20	18	19	20	20	20	20
17	17	17	17	18	17	18	18	19	18	17	17	19	19	19	20	20	18	19	19	20	19	20	19	19	19	18	18	19	19	19
20	19	18	17	16	17	19	18	18	18	18	18	19	19	19	20	20	19	20	19	20	20	20	20	20	19	18	18	20	19	21
18	18	18	18	17	17	18	18	19	18	18	19	19	17	19	19	20	20	20	18	20	19	19	19	20	19	18	19	18	19	19
18	18	19	20	18	16	20	19	17	18	19	18	18	17	20	19	20	20	19	18	20	18	20	19	19	18	20	18	19	18	19
17	16	17	19	18	17	18	16	17	18	18	18	18	18	19	20	18	20	20	19	21	20	20	19	19	19	19	17	19	21	18
17	16	17	18	19	18	19	18	17	17	18	17	17	18	19	18	20	20	18	18	20	20	20	20	18	19	20	19	21	19	19
19	19	17	18	17	19	18	18	18	19	17	19	19	19	18	19	19	19	20	18	19	19	20	20	20	20	20	20	19	21	20
18	19	17	19	17	17	19	18	17	18	20	18	19	19	19	20	19	19	19	19	20	19	18	19	20	19	19	19	19	20	20
18	18	19	19	17	17	18	18	18	17	17	17	19	19	19	19	19	19	19	21	20	18	19	18	19	20	18	20	20	20	19
17	19	18	19	18	18	18	19	18	19	18	18	19	19	17	18	18	19	19	19	20	19	19	19	19	19	18	20	19	19	20
17	18	17	18	18	19	18	18	19	19	18	18	18	18	17	17	19	19	19	19	20	19	19	19	19	20	19	18	20	19	19
20	19	17	19	17	17	18	17	17	19	18	18	18	19	17	18	20	19	19	19	21	20	18	20	20	19	21	19	19	18	21
18	18	18	20	18	17	20	17	18	18	18	17	19	18	17	18	18	19	18	20	20	19	20	19	21	18	18	19	20	20	21
18	18	18	18	18	18	19	17	17	18	18	17	18	18	19	19	18	19	19	19	21	19	20	20	19	19	19	19	19	19	19
18	17	18	19	18	19	18	17	17	17	17	16	19	19	18	19	18	20	20	20	19	20	19	18	21	20	19	18	18	19	19
18	18	18	19	18	19	18	17	16	17	16	17	19	18	18	19	19	19	20	19	21	19	19	21	21	20	20	19	20	20	19
17	16	18	17	19	17	18	18	16	16	17	16	18	18	18	19	18	19	19	19	20	20	20	19	20	18	19	20	19	21	18
18	16	16	16	17	17	19	17	16	17	17	18	18	18	20	18	20	20	19	19	19	19	19	19	21	19	20	19	19	19	20
20	17	18	17	18	18	18	17	16	17	17	18	19	18	18	19	19	19	20	19	19	20	19	20	20	19	19	18	19	19	21
18	17	17	17	18	18	17	16	16	16	17	16	18	19	18	18	18	19	19	20	19	19	20	18	20	19	20	19	21	20	19
19	17	17	16	17	18	18	17	16	16	16	18	18	18	18	18	21	20	20	21	21	19	20	20	19	18	19	19	18	19	20
17	18	16	17	17	18	19	16	17	19	16	19	19	19	19	20	20	19	20	19	20	19	20	20	19	20	19	18	20	19	18
18	16	18	17	16	18	19	18	16	19	17	19	19	19	19	18	20	19	19	19	18	18	19	17	18	19	20	18	20	20	22
16	16	17	17	17	17	18	17	17	16	18	19	19	20	16	18	20	20	18	20	19	19	20	18	19	20	20	21	20	20	19
17	17	17	17	17	18	20	18	18	17	17	18	19	17	20	19	20	20	19	19	20	20	20	21	21	20	16	19	21	20	21
18	18	18	17	19	17	17	18	18	17	17	19	19	20	17	17	19	20	19	19	21	21	21	19	19	18	19	19	20	21	21
17	18	18	16	18	17	17	16	18	16	16	17	20	19	18	18	19	19	19	19	19	19	19	20	19	19	20	19	21	19	20
17	17	18	17	18	18	18	18	17	17	18	19	19	18	19	19	20	19	20	21	20	19	20	19	19	18	17	17	20	20	21

14h37 Moyenne : 18,9°C Min : 14,6°C Max : 22,4°C

18	17	17	16	18	16	17	19	17	18	18	18	17	18	19	19	18	20	20	20	19	21	19	19	20	19	18	18	18	18	18
17	18	16	16	17	17	17	18	17	18	16	18	16	18	18	20	19	19	19	20	20	20	19	20	19	20	20	20	19	19	18
17	16	17	17	16	17	17	18	17	18	19	18	18	19	18	20	20	18	19	21	20	20	20	19	20	21	20	18	19	19	19
17	16	17	16	17	17	20	19	18	18	17	18	19	19	19	21	20	21	20	20	20	21	21	21	20	22	18	18	19	19	19
16	16	17	18	17	18	18	17	18	18	18	18	18	18	17	21	20	21	21	21	20	21	20	22	21	21	20	21	20	20	20
17	17	18	18	17	18	18	17	17	17	17	18	18	19	19	19	20	19	20	20	21	21	21	20	22	20	20	19	20	18	21
15	18	16	17	17	18	17	19	17	18	18	18	17	19	20	19	20	21	20	20	19	20	19	21	22	20	21	21	21	20	20
17	19	17	17	19	19	19	18	18	17	18	19	18	20	18	21	20	20	20	20	19	21	19	21	20	21	21	20	20	21	19
16	18	18	17	18	18	18	19	18	18	19	19	19	19	18	22	20	20	21	20	20	20	20	20	20	20	20	19	20	19	22
16	18	20	17	17	19	17	16	17	17	18	20	19	19	19	20	21	20	22	21	21	20	20	21	20	19	21	20	21	21	21
18	19	19	17	19	17	19	19	18	18	20	19	19	18	18	20	20	21	20	20	21	20	20	21	19	19	19	21	20	19	21
18	17	17	17	17	19	20	17	18	19	17	19	18	18	18	20	19	20	21	21	21	20	20	20	18	21	20	20	21	20	21
17	18	17	18	17	18	18	16	19	18	17	18	18	19	18	20	20	20	21	21	20	19	20	19	19	21	21	20	20	21	21
18	17	17	17	19	17	17	18	17	19	17	18	18	19	18	20	20	20	20	21	21	20	20	20	20	20	19	19	21	21	21
18	17	19	18	16	17	18	19	17	18	17	19	18	17	20	21	20	20	21	20	21	20	21	21	22	19	20	21	21	21	21
18	18	16	16	15	17	17	18	17	19	18	17	17	18	19	20	20	20	21	22	21	21	20	19	20	21	20	20	21	20	20
20	18	17	18	16	18	20	17	17	19	18	19	19	18	19	20	20	20	21	21	21	21	20	20	19	20	21	19	21	21	21
18	17	18	18	17	17	18	18	18	18	19	17	17	18	19	20	21	20	20	21	20	20	19	19	20	21	21	20	19	20	21
16	18	17	17	15	16	18	18	19	19	18	18	19	18	20	20	20	21	21	21	20	21	20	19	20	20	20	21	20	21	20
19	17	17	18	17	18	17	18	17	19	17	18	18	20	19	21	22	21	21	21	20	21	19	18	20	19	20	19	21	21	20
18	18	17	19	19	18	16	17	18	18	18	18	18	19	19	21	21	21	20	22	20	20	20	20	20	20	21	20	19	20	21
18	16	18	18	17	17	18	18	17	19	17	18	18	19	19	21	19	20	21	22	21	21	20	19	20	21	21	20	21	21	21
17	17	17	16	17	16	17	17	19	18	18	20	19	18	19	20	21	21	20	20	19	21	19	21	19	20	19	19	21	20	20
17	17	17	17	17	17	17	18	19	19	19	20	19	18	20	20	20	20	21	21	20	20	20	21	19	20	19	21	20	21	20
17	16	16	16	16	17	17	18	18	19	18	19	18	19	19	21	21	20	19	20	20	20	18	20	19	19	20	21	19	21	20
18	17	17	17	16	16	16	17	18	17	19	20	18	18	20	20	20	21	20	21	19	19	20	20	20	20	19	19	20	20	20
18	18	17	16	16	15	18	19	18	19	18	19	20	19	18	21	20	21	21	20	20	20	20	20	20	19	21	19	20	20	22
16	16	17	17	17	17	18	17	17	18	18	19	20	20	20	21	20	21	21	20	20	20	20	20	21	20	21	20	21	20	21
17	17	17	17	16	16	19	18	19	18	18	18	18	19	19	20	19	20	21	21	21	22	21	20	19	19	20	19	20	20	20
17	16	18	17	17	17	16	18	18	19	16	19	18	19	19	20	20	20	21	21	21	20	20	21	19	19	20	21	20	20	20
16	19	17	17	17	17	15	18	19	18	18	18	19	19	19	19	20	22	19	20	20	20	20	20	21	20	19	20	19	20	22

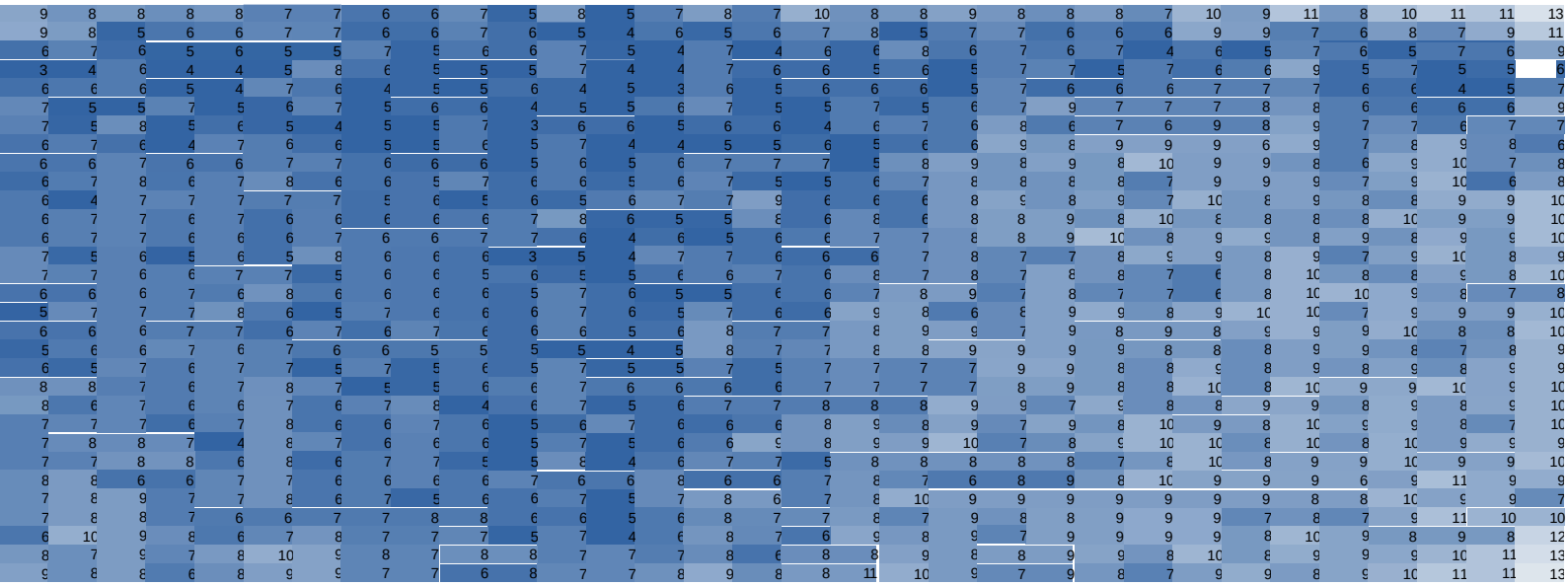
15h39 Moyenne : 15°C Min : 10,9°C Max : 19,9°C

13	14	11	14	13	14	12	14	15	12	15	13	14	15	13	16	16	17	17	16	16	16	15	14	15	16	15	15	16	15	15
14	13	13	14	12	13	14	13	14	12	12	12	13	14	14	16	15	16	17	17	17	16	16	17	15	15	14	15	15	15	17
13	13	14	14	11	13	13	12	12	12	12	14	13	14	15	15	16	17	19	16	16	16	16	17	15	17	14	16	14	14	17
12	13	13	12	14	13	14	13	12	12	12	13	13	12	16	15	17	17	18	17	18	16	17	16	16	17	15	17	16	16	16
14	12	13	14	13	12	14	12	13	13	13	13	15	13	14	15	17	18	16	16	17	17	15	17	16	17	16	17	15	17	16
13	13	13	12	13	12	12	13	13	13	13	13	13	15	15	16	16	17	16	16	16	17	17	16	17	17	17	18	17	16	16
13	13	12	13	14	12	13	13	14	14	14	14	14	16	15	15	16	17	17	16	18	17	17	18	17	16	17	17	16	17	15
14	13	13	12	12	13	14	12	13	14	14	14	15	15	14	17	16	17	17	15	16	17	18	16	17	17	16	16	19	15	17
12	15	12	12	12	12	12	13	13	14	13	14	15	16	15	16	17	16	16	15	16	17	18	16	16	18	17	17	17	17	18
13	13	13	13	13	13	14	14	13	12	14	15	14	14	15	15	16	16	16	17	16	17	17	17	16	17	16	16	18	17	18
13	14	11	14	13	13	13	14	13	11	14	14	14	15	15	15	17	18	17	15	15	17	17	16	16	16	17	16	17	18	17
13	13	13	12	13	12	12	12	13	12	14	15	13	14	16	16	16	16	16	17	16	16	16	16	15	17	14	19	17	17	16
13	12	14	12	14	12	14	11	13	13	13	14	14	14	16	16	16	16	17	15	17	16	16	16	16	17	16	18	17	19	17
12	12	13	13	12	13	13	11	11	12	14	14	12	14	13	14	16	15	17	17	16	17	16	16	17	17	18	16	17	17	17
13	14	13	13	12	12	13	14	14	13	15	11	14	14	15	15	16	17	17	17	16	17	17	16	16	17	17	17	17	17	17
14	13	12	12	14	13	12	12	13	12	13	15	14	14	16	15	16	17	15	15	17	17	16	16	16	18	16	18	16	17	19
13	12	12	13	13	12	13	12	13	13	12	14	13	15	13	16	15	17	16	16	16	17	16	17	17	17	16	16	18	18	17
12	14	12	12	13	12	14	13	14	13	13	13	15	14	15	14	16	16	15	16	16	17	16	17	16	18	15	17	17	17	18
13	14	12	12	13	11	14	14	14	12	13	14	14	14	14	16	15	15	17	16	17	17	15	17	17	18	17	17	17	18	18
12	12	13	13	13	12	13	13	13	12	14	12	14	15	14	15	16	15	17	17	16	18	15	17	18	18	17	17	17	18	18
13	13	12	14	12	13	13	13	12	15	13	13	14	15	15	15	16	16	16	17	16	18	16	17	15	17	17	17	16	19	19
13	12	13	14	13	13	13	12	14	12	14	13	13	15	14	14	16	18	16	17	16	17	17	17	16	18	16	18	18	17	18
12	12	13	12	13	13	14	14	13	14	13	14	16	15	15	14	16	17	17	18	16	18	16	18	17	16	16	18	17	17	19
12	11	13	13	14	12	12	13	14	14	13	12	14	15	15	16	17	17	16	15	17	18	17	16	17	19	17	18	18	18	18
14	15	12	13	14	13	13	12	13	13	12	14	14	15	15	16	17	17	17	17	16	18	18	17	16	17	17	18	18	17	18
13	13	14	15	14	13	14	11	13	15	15	14	14	15	15	16	17	16	18	19	17	16	17	17	18	18	18	19	18	17	17
13	12	14	14	13	13	13	12	15	13	14	12	15	15	15	14	16	17	17	15	19	17	16	17	17	17	16	18	17	18	19
13	12	14	12	13	13	13	15	15	13	13	14	15	15	15	15	16	18	17	17	18	18	17	18	18	19	16	19	17	20	19
14	13	13	12	14	12	13	15	14	14	12	15	15	15	16	16	16	17	17	18	16	18	18	17	17	18	17	17	19	18	19
15	13	13	12	13	12	13	14	15	13	14	14	15	15	13	16	16	17	17	17	17	18	17	18	16	19	18	18	19	20	19
12	13	13	13	14	12	13	13	11	13	14	13	13	14	15	14	17	18	17	18	17	17	16	16	17	19	18	19	17	18	20

17h02 Moyenne: 11,4°C Min: 8,2°C Max: 15,1°C

13	12	10	11	12	12	12	11	11	12	11	11	11	12	12	11	11	10	10	8	11	11	12	12	12	11	12	12	12	11	13	14
13	10	11	11	10	11	11	11	13	11	10	13	9	9	10	12	10	10	10	10	12	10	10	12	11	11	12	10	12	12	14	13
13	12	11	11	11	11	12	12	12	10	11	10	12	11	12	11	11	11	12	11	10	11	11	12	11	11	11	12	13	12	12	11
13	12	12	11	11	12	10	11	10	12	12	11	12	12	11	11	11	12	9	12	12	11	12	12	11	11	11	12	13	12	13	12
11	12	9	10	11	10	11	10	10	11	12	10	10	12	9	11	12	10	12	11	11	11	11	12	11	12	11	12	12	13	12	14
10	12	11	10	10	11	11	12	11	11	12	10	9	10	12	12	12	13	13	12	12	13	14	12	11	11	11	12	12	10	12	12
10	10	10	11	11	10	11	9	11	11	10	11	10	12	11	12	12	10	13	12	13	13	12	12	12	11	12	13	12	11	10	13
10	10	10	10	12	11	11	12	11	12	11	10	12	10	12	11	11	11	13	13	12	12	12	13	12	11	11	11	12	13	12	13
10	10	11	9	10	10	11	10	12	10	11	10	12	10	12	10	12	12	11	13	12	13	12	12	12	12	12	12	11	12	14	12
10	10	10	11	10	10	10	10	10	10	10	10	11	10	10	11	11	12	13	12	13	13	12	12	11	13	13	12	12	13	12
11	12	9	12	10	9	8	11	11	10	10	10	11	12	12	12	11	12	13	13	12	13	12	13	12	11	10	11	13	12	13	12
11	10	11	11	11	11	11	10	11	11	10	11	10	12	12	12	11	12	12	12	13	12	12	12	11	10	13	12	12	10	11	12
10	9	10	10	10	12	11	11	10	10	10	9	11	11	11	10	12	11	12	12	14	12	12	13	11	12	12	11	12	12	12	11
10	11	10	11	10	9	9	10	10	11	11	11	12	12	11	12	12	12	12	11	12	13	12	11	12	13	12	12	12	12	11	12
12	10	11	9	10	11	9	10	12	11	11	11	11	10	10	10	12	12	12	12	12	11	12	11	11	12	12	11	12	11	11	13
10	11	9	11	11	11	10	9	11	11	11	10	11	11	12	10	11	12	12	12	13	12	12	14	12	12	12	12	11	12	12	12
10	9	11	10	9	10	10	11	11	10	12	10	10	11	11	11	12	12	12	11	12	12	13	13	13	12	11	11	13	12	13	12
10	10	11	10	12	10	11	10	11	10	11	10	11	11	12	12	13	13	11	13	14	12	12	13	12	11	12	11	13	12	13	12
10	11	10	11	10	9	11	11	10	12	11	10	10	11	11	11	12	12	12	12	12	14	11	11	11	12	10	12	13	12	12	12
9	9	10	10	11	10	11	11	11	10	10	9	10	10	12	12	12	11	13	12	12	13	12	13	11	13	13	12	12	12	14	12
11	10	9	9	11	11	11	11	10	10	12	11	11	12	12	12	12	11	11	11	11	12	13	11	11	12	11	13	12	12	13	12
10	10	9	10	11	12	11	11	11	10	11	10	11	11	12	11	14	13	11	13	12	11	13	12	13	12	14	13	13	12	13	12
11	12	11	10	12	10	11	10	9	11	11	11	12	12	12	12	12	13	12	13	13	12	12	12	13	11	13	12	14	12	13	12
11	12	13	9	11	9	11	10	10	9	10	12	11	11	12	11	13	11	13	13	12	13	14	13	11	13	11	11	13	12	11	13
10	11	11	11	11	11	10	11	11	11	11	10	11	11	12	12	12	12	13	13	13	11	12	12	12	12	13	12	12	12	13	14
10	12	10	10	11	10	9	11	11	11	13	10	11	12	12	10	12	12	12	11	13	14	13	12	11	13	14	12	15	12	13	13
10	10	11	10	12	10	12	12	11	12	11	11	10	11	12	12	11	12	13	12	12	12	13	12	11	12	12	12	12	13	11	12
11	11	10	10	10	12	11	11	12	12	11	12	11	12	12	11	12	11	11	12	11	12	11	12	14	11	12	12	11	13	12	12
12	12	11	12	12	11	11	11	12	11	12	12	12	11	10	11	12	11	11	11	13	13	11	12	12	12	12	12	13	13	12	15
14	11	11	12	10	12	11	11	12	11	12	11	10	11	11	12	11	11	12	12	12	12	13	13	13	12	13	13	14	12	14	14
13	11	10	11	12	12	12	11	11	12	12	12	11	11	12	11	11	10	12	12	12	13	13	13	15	13	12	12	13	14	15	14

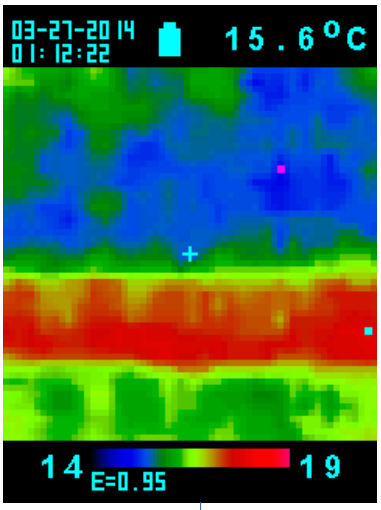
18h50 Moyenne : 7,2°C Min : 3,1°C Max : 13,1°C



Ici, nous pouvons observer à la fois l'évolution temporelle mais également la différence thermique entre les deux revêtements. Tout d'abord, la surface imperméabilisée (bitume de droite) chauffe plus fortement que la partie engazonnée à gauche. Exemple à 14h37 où les températures sont les plus fortes : la surface en herbe est marquée par des températures allant de 15 à 20°C, en revanche celle en bitume va de 18 à 22°C. Il peut donc y avoir 2 à 3 degrés d'écart entre deux surfaces pourtant si proches. Outre ceci, le refroidissement est également différent. La surface en herbe va se refroidir plus rapidement et nettement que celle imperméabilisée. Exemple à 15h39 : la surface en herbe est marquée par des températures allant de 11 à 15°C, en revanche celle en bitume va de 15 à 20°C. Cette photographie illustre bien le problème de refroidissement des villes imperméabilisées. C'est pour cette raison que de nombreuses villes font le choix d'intégrer de plus en plus d'espaces végétalisés au sein de leur agglomération afin d'établir une meilleure humidité et un refroidissement plus efficace des espaces urbains.

Passons maintenant à la comparaison d'un lieu avec divers types de revêtements. Ce lieu se situe entre la Vallée des jardins et le Mémorial de Caen, il est composé de jardins potagers pour particuliers. Nous l'avons comparé lors d'un temps couvert et menaçant et lors d'un temps clair et ensoleillé. Il apparaît qu'une nouvelle fois, la surface imperméabilisée que constitue le bitume est une surface qui chauffe fortement. Même lors d'un temps couvert où l'ensoleillement était très faible la différence entre les deux surfaces peut aller jusqu'à 7°C sur la photographie thermique. Lors du temps ensoleillé et clair, la différence grimpe avec une surface imperméabilisée qui se détache très nettement. Nous comprenons bien le réel enjeu que peut constituer l'imperméabilisation prépondérante des villes lors de périodes de fortes chaleurs. Par la suite divers travaux sur des revêtements et matériaux ont été réalisés :

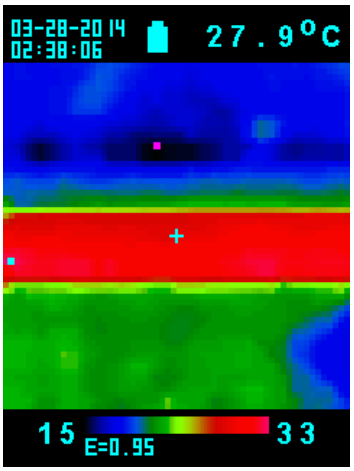
Chemin bitume entre verdure par temps couvert et menaçant (21 Mars 2019):



13 H 43 Moy : 17 Min : 14 Max : 21

18	17	17	18	16	15	16	15	18	17	16	15	16	15	16	17	16	15	16	14	16	15	16	16	15	15	15	15	16	16	18	18
17	18	18	17	18	17	16	18	17	16	15	17	18	16	17	17	18	16	17	16	16	15	15	15	15	16	16	16	16	16	17	16
16	17	16	16	17	17	16	18	17	16	17	16	18	16	16	17	17	16	17	16	14	15	16	15	16	15	15	17	15	15	17	17
16	17	16	16	17	16	18	17	17	16	17	18	16	16	17	17	17	17	16	15	15	15	16	16	15	15	15	17	16	16	16	16
16	18	16	16	16	15	15	16	17	16	17	17	16	15	15	15	16	16	15	17	15	16	16	16	16	14	16	16	15	16	17	16
18	16	16	17	15	16	15	17	17	16	15	16	17	16	17	16	16	15	15	16	15	16	16	15	17	17	16	16	17	17	15	14
17	17	16	16	17	17	17	15	17	17	16	14	17	16	16	16	16	16	18	16	16	15	16	16	17	17	17	16	16	15	16	16
16	16	16	15	15	16	15	16	16	15	16	15	16	17	17	16	16	17	16	17	16	15	16	16	17	16	16	14	16	17	15	16
15	16	16	17	15	16	17	16	15	16	16	17	15	16	15	17	16	16	16	15	16	15	15	15	16	16	14	15	16	16	16	16
17	16	15	17	18	16	14	16	16	15	16	17	16	16	16	16	16	14	18	17	15	16	17	15	16	16	15	16	16	16	15	15
17	16	16	17	15	15	15	16	16	16	16	15	17	15	15	16	17	15	15	16	15	15	15	15	15	15	15	14	16	15	17	15
16	16	15	16	15	16	15	17	17	16	16	15	15	15	17	15	16	16	15	16	16	15	15	15	16	16	15	16	17	16	15	16
15	15	15	16	15	15	16	15	16	16	16	16	16	15	16	15	16	15	15	16	15	16	17	16	16	15	16	17	15	16	15	16
16	17	16	16	15	14	14	14	17	15	16	15	16	15	16	15	16	15	16	16	16	17	16	14	17	17	16	16	16	16	15	17
15	15	15	14	15	16	17	16	17	16	15	16	15	15	16	16	17	15	16	16	17	16	16	16	16	17	15	17	17	16	18	15
16	17	16	17	16	16	15	17	17	15	16	16	17	17	16	16	16	17	18	17	16	16	17	14	16	17	16	17	17	16	17	16
16	17	15	16	17	16	17	16	16	17	15	16	18	17	17	15	17	17	17	17	16	17	17	16	17	17	17	17	19	17	17	17
18	19	19	17	17	18	17	19	18	18	17	18	19	18	18	19	19	19	18	18	18	19	18	18	18	20	19	18	17	19	19	18
18	18	19	18	18	18	18	18	19	18	19	17	19	19	18	20	19	18	18	20	17	18	19	18	19	19	18	20	20	19	21	19
19	18	18	18	18	17	19	18	18	18	18	19	18	20	19	18	18	18	20	18	19	18	17	20	19	19	20	19	18	19	19	19
18	18	18	18	19	19	17	19	19	17	18	18	18	19	18	18	18	19	18	19	19	18	20	17	20	18	19	18	20	19	18	16
19	19	20	18	20	19	19	18	19	20	19	19	19	18	19	19	18	17	19	19	18	18	20	17	19	19	19	19	20	18	20	19
19	19	18	19	20	18	19	20	19	19	19	18	19	20	20	17	19	18	20	19	19	19	19	18	19	20	20	20	19	20	20	19
19	19	18	19	19	19	19	20	18	19	18	19	19	21	19	20	20	19	20	19	18	20	18	17	19	19	19	19	18	20	20	19
16	18	17	16	18	18	18	17	18	18	16	16	18	18	19	19	19	17	17	19	17	18	18	18	18	17	18	19	19	18	19	17
17	18	17	18	18	16	17	18	17	17	17	16	18	18	17	16	19	16	17	18	16	16	17	17	18	17	18	18	18	17	18	17
16	17	17	16	16	16	17	18	17	17	17	17	17	16	17	18	17	16	18	17	16	15	17	16	17	17	17	16	17	16	18	19
18	19	17	18	16	17	17	18	18	17	16	16	18	19	17	18	16	17	18	16	16	16	17	15	17	17	16	16	18	17	20	16
18	17	18	16	17	17	17	16	18	17	17	17	18	16	17	18	17	17	17	16	17	16	16	16	18	17	19	16	17	17	17	16
18	19	17	18	18	16	17	17	16	18	19	17	19	17	17	17	17	18	17	16	16	18	18	16	18	18	16	17	18	16	19	17
17	18	17	19	17	18	17	18	17	17	16	17	19	18	17	16	18	18	19	17	16	17	17	16	16	16	17	17	18	18	17	19

Chemin bitume entre verdure par temps clair et ensoleillé (22 Mars 2019):

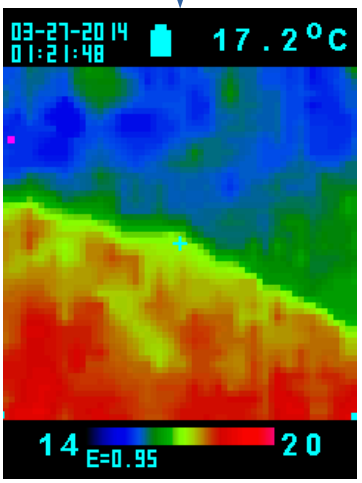


15 H 07 Moy : 23 Min : 16

Max : 32

21	20	19	20	22	20	20	22	21	20	20	20	21	19	20	19	18	20	20	20	20	20	20	20	21	20	21	21	21	23	21
19	20	21	19	21	20	20	22	21	22	20	20	19	20	18	20	19	20	21	20	19	21	21	21	20	20	19	21	20	20	21
20	21	20	19	20	21	21	22	20	21	19	19	19	19	17	17	18	20	19	19	19	21	20	22	19	21	21	19	19	20	21
19	19	21	20	21	20	21	21	20	21	19	18	17	21	19	18	20	19	19	19	20	20	21	19	20	20	20	19	19	19	21
21	20	21	20	20	20	21	22	20	20	19	19	17	20	19	18	19	19	18	19	20	20	18	18	20	20	20	21	20	20	20
20	21	20	19	19	18	20	19	19	18	18	18	19	18	19	18	19	18	19	19	21	24	23	22	20	18	20	20	22	24	22
19	19	17	18	20	20	20	19	18	18	17	18	16	18	19	17	18	17	19	20	22	23	21	19	19	18	18	19	21	21	20
17	17	18	16	18	19	19	18	16	17	17	16	17	16	17	17	16	18	19	18	20	20	19	18	19	19	18	18	19	18	19
18	19	18	18	18	19	18	18	19	17	19	17	17	18	18	17	17	18	17	18	17	17	18	18	17	19	19	18	19	18	16
20	20	22	20	20	21	21	21	19	21	19	20	19	21	19	19	21	20	20	22	20	20	22	21	20	21	22	20	21	21	20
22	22	20	21	22	21	21	21	20	22	22	21	21	22	23	22	22	21	20	21	22	22	22	21	21	22	21	20	22	22	22
21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	21	23	21	21	21	21	22	22	23	22	22	23	22	22	22	22	20	22	21	22	21
21	21	23	23	23	22	24	23	24	23	23	23	24	24	24	23	24	24	24	23	24	24	24	24	24	24	23	23	24	24	23
27	28	28	29	29	27	27	28	28	28	28	28	29	29	28	28	29	28	29	28	29	29	29	29	29	28	29	29	28	28	28
29	29	28	29	29	30	29	29	29	28	29	29	28	27	28	29	28	28	29	29	30	29	29	30	28	29	31	30	29	29	30
28	29	28	28	29	28	29	29	30	28	29	29	28	28	28	28	29	29	29	29	29	30	29	29	27	29	29	29	30	31	29
30	31	31	30	30	30	30	30	29	30	30	30	30	29	31	30	30	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	29
31	32	32	31	32	32	30	32	31	31	31	31	30	30	30	30	31	30	31	31	32	31	32	30	30	30	31	31	31	31	32
30	30	30	29	30	30	29	31	30	30	30	29	28	30	30	29	29	29	30	31	29	31	31	30	30	30	29	29	30	30	30
23	24	24	24	24	25	25	24	25	25	25	23	24	23	25	25	25	25	24	24	24	25	23	24	24	22	23	24	23	24	24
23	23	23	24	23	23	22	24	22	22	23	23	24	23	23	23	24	23	21	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	21	19
22	23	23	22	24	22	23	22	22	22	23	23	23	22	23	23	22	23	23	23	23	23	24	24	22	23	23	23	22	19	20
23	23	23	22	24	22	22	24	22	22	23	24	22	22	20	22	22	23	23	22	23	24	23	23	22	22	22	22	20	20	18
23	23	23	23	23	23	23	23	22	22	22	23	22	22	23	23	23	22	22	21	23	22	23	24	22	21	21	20	20	18	20
24	23	23	24	24	23	23	23	23	23	22	22	23	22	23	23	22	24	22	25	23	22	24	21	18	20	20	19	19	20	19
23	25	24	24	24	25	23	23	24	23	23	23	23	22	23	22	24	23	23	24	23	23	23	22	20	21	19	19	19	18	17
24	23	23	24	24	25	23	23	23	24	24	24	22	21	23	24	23	23	23	23	23	23	22	21	22	21	20	20	20	17	19
23	24	22	24	24	23	23	21	23	23	23	23	21	22	23	23	23	23	24	23	24	24	23	23	21	21	21	20	19	19	18
24	24	21	23	23	22	23	23	23	24	23	22	23	23	23	22	24	23	21	23	23	23	23	23	22	21	21	21	19	19	17
24	23	23	22	24	24	23	24	22	22	22	23	25	24	24	22	24	23	22	25	24	23	24	24	22	22	21	20	21	19	18
22	24	22	23	24	23	23	23	21	21	22	25	24	23	24	24	21	21	23	23	24	22	22	22	22	22	21	21	20	21	20

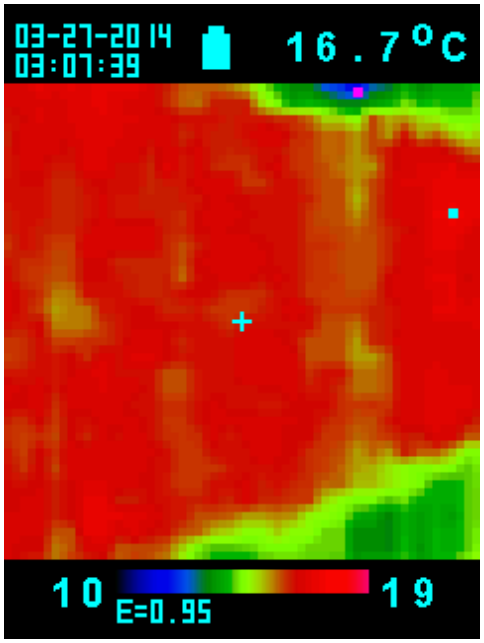
Changement de revêtement au sol par temps couvert et menaçant (21 Mars 2019)

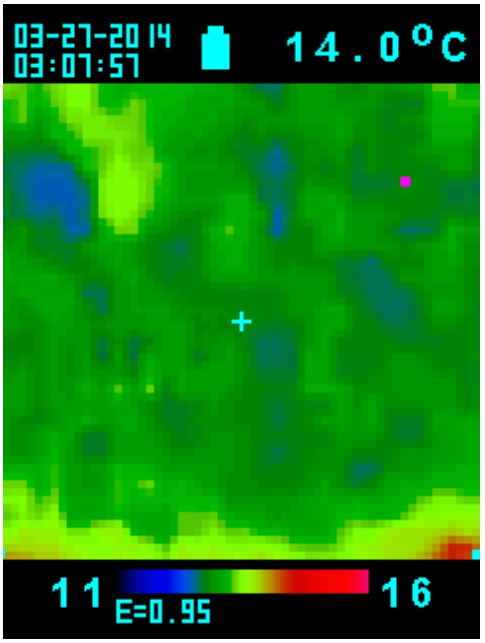


13 H 51 Moy : 18 Min : 13 Max : 22

16	16	16	17	14	16	17	16	18	17	17	16	16	15	16	17	17	16	16	16	16	16	15	16	16	14	16	15	16	17	18	17
17	16	17	16	17	17	17	17	18	16	15	15	16	15	15	15	16	15	17	16	17	16	16	16	18	16	16	16	16	16	16	16
15	17	15	17	17	14	15	17	16	18	18	15	17	17	16	17	15	16	17	16	17	17	16	15	16	16	16	15	14	17	16	16
16	19	15	16	15	15	17	16	17	17	16	18	16	16	15	16	16	17	16	16	17	17	16	16	17	16	16	15	15	17	17	18
16	16	16	17	15	15	16	16	16	16	15	16	15	15	15	16	16	14	15	17	15	15	18	16	17	16	16	15	17	16	16	16
15	15	16	17	13	15	17	15	16	17	16	16	15	15	16	17	17	17	15	16	16	16	16	16	17	16	16	16	16	16	15	16
17	15	15	15	15	17	15	16	17	15	17	16	16	16	17	16	16	17	18	17	17	16	16	16	15	18	17	16	15	16	16	16
17	15	16	16	16	15	15	16	16	16	16	16	16	17	18	18	18	16	16	16	15	15	16	16	16	15	15	15	16	16	17	19
16	15	16	16	16	16	15	18	16	18	16	17	16	17	16	17	16	16	15	16	15	16	16	16	17	16	17	15	16	16	16	17
15	18	18	16	17	16	16	17	16	16	17	16	16	16	16	16	17	15	17	15	16	16	17	16	17	16	17	17	16	17	16	16
17	16	16	17	16	16	17	16	17	15	17	17	16	16	16	17	17	17	16	16	15	17	17	16	17	15	16	16	17	17	16	17
17	18	17	16	17	15	17	16	16	16	16	17	17	16	16	16	16	16	16	15	16	17	16	16	18	17	17	17	16	18	17	17
18	19	18	20	19	18	17	18	18	16	16	17	16	17	16	16	15	16	17	17	17	16	16	16	17	17	16	17	17	17	17	17
19	18	18	19	18	19	18	17	18	18	17	16	17	17	17	16	17	16	16	15	16	16	16	17	20	15	17	16	16	16	17	19
18	18	20	19	18	18	18	19	18	17	18	18	18	18	17	17	17	16	17	17	17	16	16	16	17	17	17	17	17	16	17	18
19	19	18	19	19	19	19	19	20	20	18	18	18	18	17	18	18	16	16	16	17	16	17	16	17	16	18	17	17	17	17	17
19	18	19	19	18	18	18	19	19	17	19	18	18	18	19	18	18	18	17	16	18	16	17	16	16	16	16	17	17	17	16	16
19	18	19	18	18	18	18	19	19	19	19	18	19	18	17	18	18	18	17	19	18	17	17	16	17	18	18	16	16	18	16	17
18	19	19	19	19	19	18	19	17	18	18	18	19	19	19	18	18	18	19	19	19	18	16	18	19	16	17	16	16	16	17	17
19	19	19	18	19	19	19	19	18	18	18	17	18	19	18	18	18	19	19	20	18	19	18	18	18	17	17	16	17	17	18	18
19	20	19	18	18	19	19	19	20	18	18	18	20	19	19	18	19	18	19	18	19	18	18	18	19	19	17	19	18	16	16	17
19	18	20	20	19	19	18	20	20	19	18	19	20	18	18	19	19	19	20	17	18	18	20	17	18	19	18	18	18	16	16	17
18	19	19	19	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	19	19	19	18	19	20	19	18	19	19	19	19	17	17	18
18	18	21	20	18	21	18	18	20	19	19	18	18	18	19	18	19	19	20	18	19	18	18	18	19	19	18	19	20	18	18	17
20	19	20	19	18	20	18	19	19	20	18	18	19	19	18	19	18	20	19	20	20	19	19	19	18	19	20	19	18	19	18	19
21	19	19	20	19	19	20	20	19	19	19	18	18	18	19	19	18	18	19	19	19	19	19	20	20	18	19	19	19	18	20	18
19	19	18	20	19	19	19	20	19	18	19	18	19	19	19	19	18	20	18	18	18	20	19	18	20	18	19	19	19	19	17	19
19	20	20	19	20	19	18	20	19	19	20	18	20	18	19	19	18	20	20	19	19	20	18	21	19	20	20	20	19	18	20	20
18	18	20	21	21	19	19	20	19	20	20	19	20	18	19	20	19	19	18	19	20	19	19	19	20	20	18	19	19	19	20	18
18	17	20	20	18	19	19	20	21	19	21	20	19	19	20	18	21	19	20	20	20	19	19	19	20	19	19	18	20	20	19	20
20	20	21	22	19	19	19	19	19	20	19	20	18	19	18	20	19	21	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	19	20

Différence entre deux cotés d'un chemin par temps couvert et menaçant (21 Mars 2019):





Coté gauche : mur

15 H 38 Moy : 17 Min : 11 Max : 20

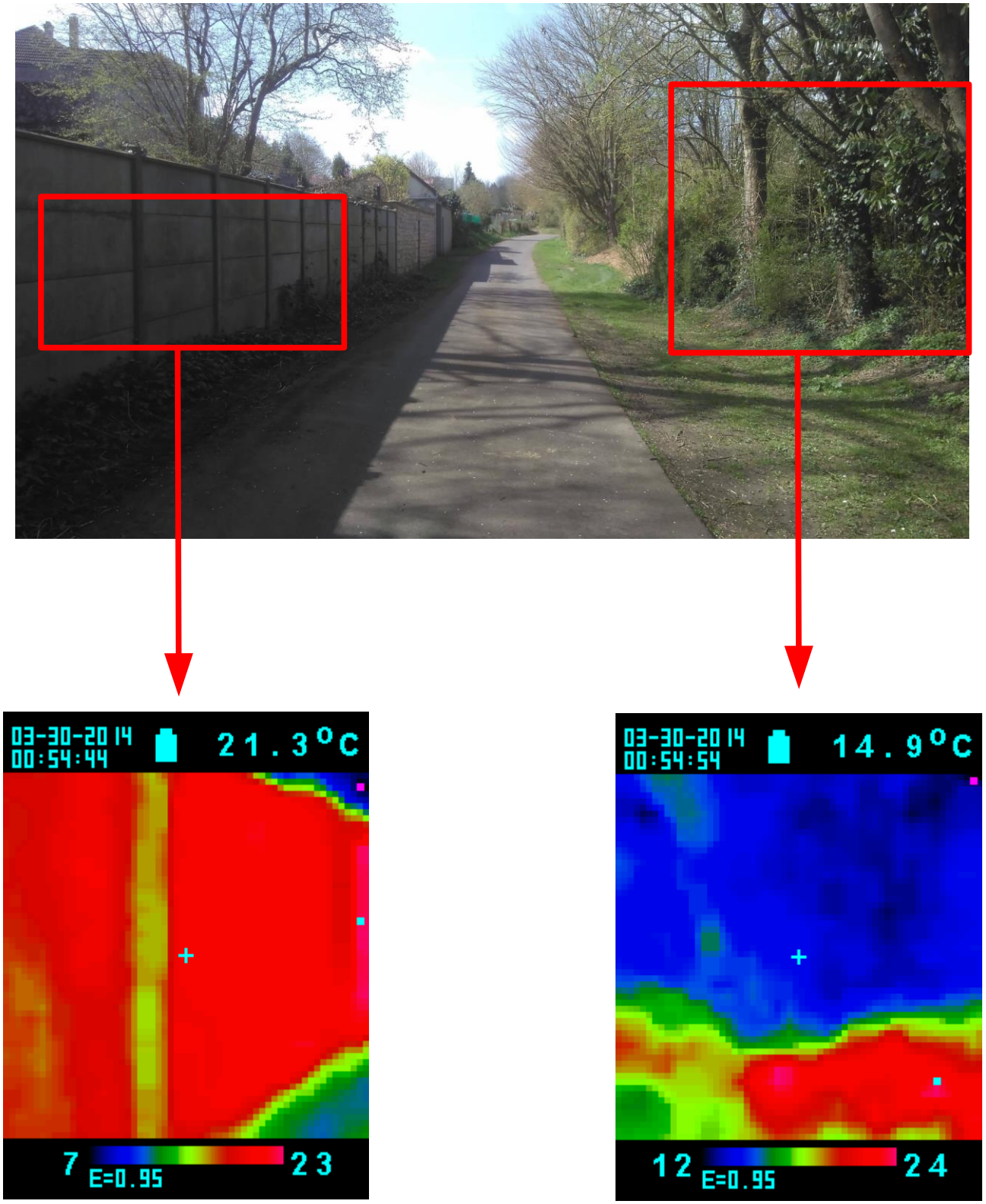
17	19	17	18	18	19	19	17	19	18	16	17	16	16	16	17	14	13	15	13	13	12	11	12	14	13	14	15	16	16	14	16
17	18	17	17	17	18	17	18	17	17	16	17	17	16	15	16	16	16	16	14	15	15	14	13	17	16	15	16	16	15	16	17
18	17	15	17	17	17	18	17	17	17	17	17	17	18	18	19	18	18	16	17	15	15	15	16	17	16	16	15	16	14	15	15
16	19	16	17	17	18	18	18	17	19	17	17	17	18	18	16	18	18	17	18	17	17	18	15	17	16	17	17	16	16	14	16
17	17	17	17	17	19	18	16	19	18	16	18	16	17	16	18	17	17	17	18	16	16	16	16	17	18	19	17	16	16	16	17
17	16	17	17	17	18	18	17	17	17	17	18	17	17	17	17	17	18	17	16	16	17	17	15	18	18	17	18	18	17	16	16
17	16	17	16	16	17	18	17	17	17	17	18	17	18	18	17	17	17	18	17	17	15	16	16	18	17	17	19	19	18	20	20
16	17	18	17	17	17	17	18	17	17	17	16	16	18	17	18	18	16	17	17	16	16	18	17	17	18	18	18	18	16	17	19
18	18	16	17	16	18	17	17	17	16	18	16	18	18	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	18	17	18	18	18	18	17
16	18	17	16	17	18	17	15	18	18	17	17	17	17	18	17	17	17	16	18	17	17	17	15	18	17	16	18	18	18	17	17
16	18	17	16	17	16	18	17	17	18	17	17	17	18	18	16	17	18	17	16	17	17	16	16	17	17	16	18	17	17	19	19
17	18	18	17	17	17	18	15	17	18	17	16	17	17	18	18	17	17	18	17	17	17	17	16	17	17	18	17	19	17	18	18
16	18	16	18	16	18	16	16	16	17	16	18	17	18	17	16	18	17	17	17	15	16	17	15	18	17	17	17	17	18	17	18
17	18	15	17	17	18	18	16	18	18	16	18	18	17	17	16	18	17	16	17	18	16	16	18	17	16	17	18	17	17	17	17
17	18	17	16	17	17	17	16	16	16	17	18	16	17	17	17	17	18	16	17	17	17	17	16	17	17	17	18	17	18	19	19
17	18	16	17	15	17	17	17	17	18	17	18	17	16	17	16	19	16	17	18	16	17	18	18	17	17	17	17	18	17	17	17
17	17	17	17	16	19	17	18	17	17	17	17	17	18	17	18	17	16	16	16	17	16	17	16	17	16	17	17	18	17	16	19
16	17	18	17	17	18	18	15	18	17	16	17	18	18	17	18	17	19	17	17	18	17	15	16	18	18	17	17	18	16	17	18
17	17	17	15	15	17	17	18	18	18	16	16	17	17	17	17	19	18	17	16	17	18	16	16	18	17	18	18	17	18	17	17
18	17	17	17	16	17	17	16	17	17	16	18	17	17	18	17	17	17	17	18	17	18	18	15	17	16	17	18	19	17	18	17
16	19	17	17	16	18	17	17	16	16	17	16	17	18	17	16	16	17	17	17	17	17	15	17	17	17	18	17	19	16	16	15
17	18	16	16	17	17	17	17	17	17	16	17	19	17	18	16	18	17	17	17	17	18	17	17	17	17	17	17	18	17	17	18
17	17	17	17	16	19	17	17	18	19	17	17	18	18	18	17	18	18	17	18	18	18	17	17	16	18	17	17	18	18	17	15
17	17	17	17	15	17	16	17	18	18	17	16	17	18	16	17	16	17	17	17	17	17	16	16	18	15	17	17	15	17	14	16
16	18	17	17	17	17	18	18	16	18	18	17	17	17	18	16	18	16	16	18	16	16	18	17	16	16	16	14	17	16	16	16
17	17	17	16	17	18	17	16	17	17	18	17	18	18	18	18	17	18	18	16	17	17	15	16	16	16	16	15	16	15	16	15
18	17	16	17	18	17	17	16	18	18	16	17	17	17	17	17	17	18	17	15	15	15	15	15	17	14	16	14	15	16	15	15
19	18	17	16	16	18	19	16	18	18	18	18	17	18	17	17	17	16	17	16	17	16	15	13	16	15	15	14	15	16	15	16
16	17	16	16	17	17	17	18	17	19	18	17	16	16	16	15	14	17	17	15	15	17	15	14	15	14	15	14	16	16	15	17
19	18	18	16	17	18	18	18	16	19	16	16	14	15	15	14	16	17	15	16	15	15	15	15	16	14	16	14	14	17	15	17
16	19	16	17	15	18	16	15	17	17	17	14	16	16	15	14	14	15	16	14	16	15	16	15	16	16	16	14	17	15	17	16

Coté droit : plantes, arbres

15 H 38 Moy : 14 Min : 12 Max : 18

13	14	15	16	16	14	15	15	14	15	15	14	14	14	14	14	13	13	14	14	13	15	13	15	15	13	14	16	15	15	15	15
14	14	16	16	16	15	13	15	15	14	15	15	14	14	14	13	14	14	15	14	14	15	14	14	14	15	15	15	15	13	15	16
14	13	15	14	15	15	14	15	15	16	14	15	15	13	14	15	14	14	13	14	13	13	14	13	13	13	12	14	15	14	14	14
14	14	15	14	15	15	14	15	15	15	15	13	14	14	13	14	14	14	13	15	15	13	13	14	15	15	15	14	14	14	14	13
14	12	15	14	14	14	15	15	16	15	14	14	14	14	14	14	14	14	12	14	15	15	15	14	13	14	14	14	14	14	15	13
13	13	14	14	13	14	15	15	16	15	16	15	15	13	14	14	13	14	13	15	15	14	15	14	14	15	13	14	14	14	13	13
15	13	15	13	13	14	16	16	15	15	12	16	15	13	14	15	12	13	16	14	14	14	14	13	13	14	13	14	16	15	14	14
15	14	12	12	13	13	15	15	14	15	14	13	14	14	12	14	15	14	13	14	14	14	15	14	13	13	15	14	13	14	13	13
13	14	14	13	14	13	14	15	16	15	14	14	15	15	15	14	12	13	14	15	15	15	14	14	14	13	14	13	15	14	14	12
15	14	12	14	14	14	16	15	15	15	13	13	14	14	15	14	12	15	14	14	14	15	15	15	14	15	14	13	13	14	13	14
14	14	13	14	13	14	15	15	14	13	13	15	14	14	15	16	13	15	14	14	13	14	15	13	13	14	14	15	14	14	15	13
15	15	15	13	15	14	14	13	14	13	14	13	15	14	15	14	15	14	14	14	15	15	13	14	14	15	14	14	15	14	13	15
14	15	14	14	15	13	13	15	16	14	14	13	14	13	16	14	13	15	13	14	14	13	13	14	14	14	14	14	15	14	14	16
14	13	14	15	14	13	15	15	14	15	14	15	14	14	15	14	15	14	15	15	13	13	14	13	14	14	14	14	15	14	16	13
15	14	13	15	14	13	13	15	14	14	13	13	14	12	12	14	13	15	13	14	16	14	15	13	15	13	14	15	13	13	13	15
13	14	13	14	14	13	14	13	15	14	14	14	15	13	15	15	13	14	13	14	15	15	14	15	13	13	13	14	14	13	14	12
14	14	14	15	14	14	15	16	14	14	14	14	14	13	15	13	13	13	13	15	14	14	14	15	15	16	14	13	14	14	13	14
15	13	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	13	14	13	15	13	13	14	14	14	14	12	14	15	15	14	14	13	16	14	13
13	15	16	14	14	12	15	13	15	15	15	14	14	13	13	14	14	13	15	14	15	15	14	14	13	15	14	15	16	13	13	14
14	15	16	15	14	14	14	14	13	14	15	13	15	15	14	14	14	14	12	16	14	15	15	15	14	14	13	14	14	13	15	15
13	12	14	13	15	15	15	15	14	14	13	14	13	13	14	13	14	13	13	15	14	15	15	13	14	14	15	14	14	15	14	15
15	15	13	14	15	14	15	16	14	14	14	14	15	15	13	15	14	14	14	14	14	15	15	15	14	12	15	14	14	14	14	15
14	13	14	14	15	13	14	14	14	15	13	15	16	13	15	14	13	14	14	14	13	14	14	14	14	14	14	15	15	14	15	14
13	14	15	14	15	13	15	14	14	14	14	14	13	14	14	14	14	14	14	14	13	15	14	14	14	14	14	14	15	15	14	15
15	15	14	14	15	14	16	16	15	14	14	14	14	15	15	14	14	14	14	13	15	14	14	14	15	14	14	15	14	14	15	14
15	14	15	15	14	14	14	15	13	14	14	14	14	15	15	14	13	15	14	15	14	14	15	15	15	14	14	15	15	15	14	13
15	15	16	15	16	14	14	14	16	13	15	15	16	14	13	14	15	14	13	15	15	15	14	15	14	14	16	15	15	14	15	15
15	15	15	15	15	15	15	16	16	13	14	14	14	15	15	14	15	14	15	15	15	16	16	15	13	15	15	16	16	14	15	16
16	15	14	16	15	14	14	16	16	14	13	15	15	14	16	15	15	15	14	13	13	15	16	15	16	15	16	16	15	17	16	16
16	15	16	15	15	15	15	15	16	15	15	15	17	14	15	15	15	15	16	15	16	16	14	16	16	17	14	16	18	16	16	16
17	17	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	15	17	16	17	15	16	15	16	15	15	16	16	16	17	17	16	18	16

Différence entre deux cotés du chemin par temps clair, soleil pénétrant sur les plantes (24 Mars 2019):



Coté gauche : Mur

13 H 24 Moy : 20 Min : 6 Max : 24

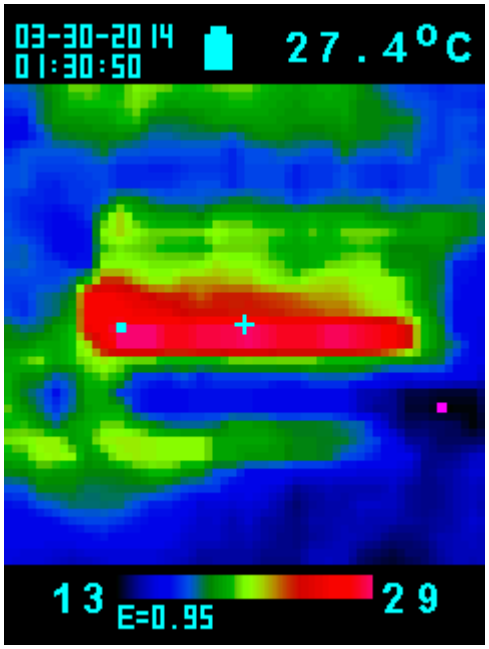
20	19	19	20	20	21	21	20	20	20	19	19	18	21	21	21	21	21	19	14	10	6	6	12	13	10	8	13	11	10	12
21	21	20	19	21	20	20	20	20	19	19	17	18	21	22	22	22	23	20	21	21	16	15	15	17	14	10	12	10	9	13
19	21	20	19	21	20	22	20	20	19	19	18	18	22	22	22	23	21	21	22	23	21	21	20	20	19	18	16	9	10	10
20	21	21	20	21	21	20	22	21	19	18	18	19	21	21	22	21	22	22	22	22	22	22	22	21	21	20	18	11	13	13
20	19	21	20	20	21	21	22	19	19	18	19	17	20	22	23	21	21	23	22	22	20	22	22	21	20	19	20	18	18	14
20	20	20	20	21	21	20	21	19	19	18	17	19	22	22	22	22	22	21	23	22	22	22	21	21	20	19	21	23	22	21
19	19	21	21	21	21	20	21	19	19	18	19	18	22	22	21	21	22	21	23	22	22	22	22	23	21	19	20	22	23	24
19	20	20	21	20	20	21	21	20	19	19	17	19	21	23	22	22	22	22	23	23	22	22	24	21	22	19	21	23	24	23
20	20	20	20	21	21	21	22	20	20	18	18	20	21	23	22	21	21	22	22	21	23	20	22	21	21	20	20	24	24	23
19	20	20	20	19	20	21	21	20	18	18	19	19	22	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	21	18	21	23	23	22
20	19	20	21	21	22	22	21	20	20	18	18	18	22	21	22	21	21	21	21	22	21	23	22	22	22	18	20	22	23	23
20	19	19	20	21	21	20	21	20	20	17	18	18	22	21	22	21	22	22	20	21	22	21	22	22	21	20	21	23	23	22
20	20	21	19	21	20	21	20	21	19	18	17	18	21	21	22	21	21	20	21	21	22	23	22	21	22	19	21	24	23	22
19	19	18	20	20	21	21	21	20	19	18	18	19	21	21	21	22	21	21	21	21	20	22	22	22	21	20	20	23	24	23
20	20	19	19	20	21	21	22	20	19	18	18	18	22	20	21	22	22	22	22	22	22	23	23	22	20	18	20	24	23	22
20	19	20	19	20	19	21	20	20	19	18	17	18	21	22	22	22	23	22	21	21	22	21	23	22	22	19	20	22	23	23
20	18	19	19	21	21	21	21	20	21	18	18	19	20	23	22	22	23	21	22	22	23	23	21	22	22	18	23	23	23	22
19	18	20	20	21	20	20	21	20	20	18	17	18	21	21	22	21	22	23	22	21	23	22	22	22	21	19	23	23	23	24
21	20	17	19	19	20	21	21	20	19	17	19	20	21	21	21	22	21	22	21	22	22	21	22	21	22	19	23	23	24	23
19	19	19	18	18	20	19	20	20	19	17	18	19	21	20	21	21	22	21	21	21	21	22	22	22	21	19	23	23	22	22
19	18	19	17	19	19	21	20	20	19	17	19	20	21	22	21	22	22	22	22	21	22	22	22	22	22	20	22	23	22	23
19	19	19	19	19	19	20	22	20	18	18	19	18	22	22	22	21	21	22	21	21	21	22	22	23	21	20	22	22	20	18
19	19	19	19	20	20	20	20	20	19	17	17	19	22	21	21	21	21	22	21	21	22	22	22	22	20	18	22	19	17	17
18	19	18	19	19	20	20	20	20	18	18	16	19	20	21	20	20	22	22	22	21	22	22	23	22	20	17	19	16	17	14
18	18	19	19	19	19	20	20	20	17	17	17	19	22	20	22	22	21	21	21	22	21	21	22	20	16	17	17	17	16	14
19	18	18	18	20	20	20	20	20	19	18	17	21	21	21	22	21	22	21	21	22	21	21	19	17	16	15	14	14	14	14
19	20	18	19	19	19	20	20	20	19	18	17	20	21	21	21	21	22	21	21	21	18	17	18	17	15	15	15	14	14	15
19	20	19	19	21	20	22	21	20	20	19	18	19	21	21	21	21	21	22	19	18	17	17	16	16	15	14	15	14	14	15
19	17	19	18	19	18	19	21	21	19	18	18	20	21	21	22	21	20	18	20	17	14	15	17	14	14	13	15	14	14	16
18	18	19	20	20	19	19	20	20	20	18	17	20	21	22	18	20	20	19	16	15	16	15	15	14	15	14	15	16	14	16
20	20	20	18	19	19	19	20	19	20	17	18	19	20	19	18	18	18	16	14	16	15	16	15	14	14	15	16	16	16	17

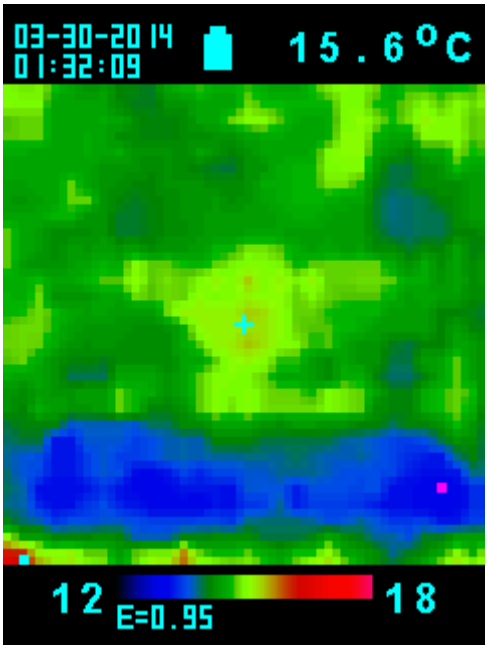
Coté droit : Plantes, arbres

13 H 24 Moy : 17 Min : 11 Max : 26

15	17	15	18	18	16	16	16	15	15	15	16	15	15	15	15	14	13	14	15	14	14	15	15	14	14	14	13	14	11	14	14
15	15	16	18	16	16	18	16	15	15	15	12	16	14	14	15	14	14	15	15	14	14	15	16	15	13	13	13	15	15	11	14
15	13	14	16	16	16	17	17	15	16	14	15	15	14	16	16	15	13	16	15	15	14	16	14	12	13	13	13	13	15	15	15
14	15	13	13	17	17	19	16	15	15	15	16	17	15	13	14	15	14	14	16	13	13	15	14	14	12	14	13	14	14	13	14
15	15	13	13	15	16	18	17	17	14	15	15	15	13	15	15	15	14	15	15	15	14	14	14	13	14	13	14	15	16	15
15	16	14	14	16	16	16	16	17	16	15	15	15	15	14	16	15	13	14	16	13	14	16	16	15	13	15	14	14	15	16	14
14	18	16	16	16	16	16	15	16	15	14	14	15	14	14	15	16	13	14	16	12	13	14	16	14	14	14	15	16	16	14	17
18	16	16	15	16	15	16	15	16	15	16	14	17	15	14	15	14	15	15	15	14	12	13	15	15	13	15	16	17	16	15	14
16	16	16	16	15	17	16	15	15	16	13	15	16	14	14	14	16	13	14	15	13	13	16	14	14	14	15	13	14	16	15	15
15	17	15	15	15	14	16	16	16	15	15	15	14	14	14	16	15	14	14	15	15	14	14	15	14	15	15	14	14	16	15	16
17	16	14	15	15	14	16	17	15	15	14	14	17	16	14	15	14	13	14	14	15	14	14	13	13	14	15	14	16	15	16	16
15	14	16	15	16	15	16	17	15	16	15	14	17	15	15	15	15	14	14	15	14	14	14	15	15	14	15	16	15	16	14	15
16	15	16	17	14	16	16	18	16	16	15	15	15	15	14	14	16	14	14	15	14	13	14	14	15	14	14	16	15	14	14	15
14	15	14	15	15	16	15	19	17	14	15	16	14	15	14	16	15	15	14	15	14	12	15	15	14	15	14	15	15	15	15	15
15	15	13	17	16	16	16	19	17	14	16	15	15	16	16	16	14	15	14	16	15	14	14	14	15	15	14	15	13	16	15	16
15	15	16	15	16	15	14	17	17	15	16	17	17	16	16	15	15	14	14	16	16	16	14	15	14	14	15	15	14	15	16	16
17	17	15	15	16	15	16	17	16	14	15	17	15	15	16	17	15	16	14	16	15	12	15	15	14	13	15	15	15	17	14	15
16	16	17	16	17	16	16	17	17	15	17	17	16	15	18	15	15	15	15	14	15	14	14	14	14	14	14	13	14	16	15	16
16	16	18	17	18	18	16	17	15	15	17	17	18	19	17	16	16	14	15	15	16	15	17	16	15	14	16	16	17	17	15	15
18	20	18	18	18	19	18	17	18	16	17	16	15	18	16	16	17	15	15	15	16	16	16	16	15	16	16	16	17	17	18	19
18	21	20	20	19	20	17	18	18	17	16	14	15	16	14	18	15	14	14	16	17	18	17	19	19	19	18	17	18	19	18	21
19	21	19	18	16	18	18	18	19	17	16	15	17	17	16	18	17	16	18	20	21	19	20	20	19	18	22	20	20	20	18	20
21	20	20	20	17	19	21	22	20	19	18	17	18	16	17	18	19	18	20	21	21	21	23	22	21	21	21	21	19	21	21	19
20	22	21	20	21	21	19	22	19	19	19	20	20	20	22	21	20	21	21	22	24	23	25	24	23	22	22	22	20	20	19	21
21	19	20	22	20	19	19	19	19	18	22	24	25	25	24	22	22	24	25	24	22	23	22	23	23	22	23	23	20	21	21	21
19	19	18	21	20	19	20	19	20	19	20	23	24	24	24	23	24	22	24	24	22	23	20	22	23	23	25	26	24	22	24	22
17	18	18	18	17	19	21	19	19	20	21	22	24	24	24	23	21	20	20	20	23	21	22	23	23	23	24	23	23	23	23	25
17	18	17	17	19	19	18	18	19	20	19	19	22	21	23	21	21	20	20	22	22	21	21	22	22	23	25	23	23	22	22	22
18	18	17	18	18	19	19	19	18	19	19	19	22	23	21	22	22	22	21	20	23	23	23	23	24	21	21	21	20	23	23	23
17	19	18	18	19	18	19	18	19	20	21	21	21	21	21	21	21	20	18	21	21	23	22	20	20	19	20	21	23	24	23	24
18	18	19	18	19	19	18	18	18	19	19	19	18	20	20	20	19	17	19	18	18	18	19	17	20	18	19	21	23	23	23	24

Comparaison de deux bancs similaires exposés différemment par temps clair et ensoleillé (24 Mars 2019) :





Banc à gauche : exposé au soleil

14 H 01 Moy : 18 Min : 13 Max : 29

18	17	19	20	21	21	21	20	19	22	20	20	21	20	20	21	20	19	19	20	19	21	18	18	17	17	17	17	16	17	18	18
18	19	18	20	20	20	18	20	22	22	19	19	20	19	20	20	21	18	18	19	19	20	20	19	18	18	19	19	18	19	17	16
16	17	17	18	18	20	20	20	20	19	18	19	19	18	18	19	20	19	19	19	19	20	20	19	19	18	17	18	17	18	17	17
16	17	19	20	20	19	18	19	18	18	19	17	19	18	17	18	19	20	19	18	20	19	19	19	20	19	17	17	18	18	18	16
18	18	18	17	18	18	18	19	18	17	16	19	19	18	18	19	17	17	19	17	17	19	18	18	18	20	18	18	18	18	17	16
19	18	19	17	16	18	18	17	16	19	18	16	17	16	16	17	18	17	17	16	18	18	18	15	17	17	19	17	18	18	17	17
19	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	17	17	18	17	16	16	18	16	17	18	17	17	18	18	17	19	18	16
19	18	17	18	17	18	22	19	19	18	17	18	18	19	19	19	19	18	18	18	18	19	19	18	18	17	17	18	18	18	19	16
18	17	18	17	16	17	23	21	22	22	22	21	22	21	22	22	22	21	22	20	22	22	21	21	21	20	21	21	21	22	21	16
18	18	16	17	17	16	21	20	20	20	19	18	20	18	20	20	19	20	20	19	19	20	19	20	19	18	19	18	19	19	19	16
18	18	17	18	17	19	22	21	21	21	20	20	22	19	21	20	20	19	20	20	20	20	20	21	19	19	21	19	17	18	18	16
18	19	16	18	16	16	23	20	19	21	20	20	21	21	21	21	20	21	19	18	21	20	20	21	19	20	21	19	17	16	17	15
18	19	18	18	18	20	27	22	20	23	20	21	21	20	21	22	21	20	20	20	22	22	21	21	20	19	19	19	16	17	17	15
18	18	17	19	19	27	28	25	23	23	23	23	24	23	23	22	24	23	23	22	23	23	22	21	21	21	20	20	18	16	17	16
16	19	17	19	20	26	25	25	25	25	23	23	23	23	23	23	22	23	22	22	22	23	22	21	20	19	18	17	16	16	16	16
19	20	17	19	20	25	28	29	29	28	27	27	27	27	27	28	28	27	26	27	27	27	27	26	25	24	21	19	16	16	19	17
20	21	21	20	21	23	27	26	26	26	26	26	26	26	25	26	27	26	25	26	27	26	26	26	25	26	23	22	22	17	17	16
18	19	21	19	18	22	21	19	20	20	21	20	20	19	19	20	20	20	20	20	20	21	20	19	18	20	19	17	18	17	18	15
18	21	18	18	16	20	20	18	17	17	18	16	18	16	17	17	17	17	17	17	18	18	19	17	15	17	18	16	16	15	16	15
22	20	16	18	17	19	19	17	17	17	16	17	16	15	17	15	15	15	16	17	17	15	14	15	15	14	15	14	14	15	15	15
19	19	17	17	17	21	19	17	18	17	17	16	16	16	18	18	17	16	15	16	17	16	15	17	15	14	14	15	14	15	15	16
21	21	20	18	18	19	22	20	20	19	20	18	17	18	20	20	20	19	18	18	19	18	20	16	14	15	14	16	15	14	15	15
21	21	21	22	22	21	22	22	22	21	21	21	21	21	21	22	22	22	23	22	22	22	21	19	18	16	15	16	15	17	16	15
20	20	22	22	19	20	20	22	21	22	22	21	21	20	19	19	18	18	19	19	19	17	18	16	16	15	16	14	15	17	17	16
19	20	19	21	18	18	18	19	19	20	20	19	19	17	17	18	17	16	14	17	16	15	16	15	17	16	15	13	14	16	16	16
17	19	19	18	19	19	19	18	20	18	18	17	18	15	16	17	15	15	16	15	15	15	15	16	16	16	15	16	16	16	14	15
17	17	18	19	19	20	18	19	18	17	16	18	18	15	17	15	15	14	14	16	15	16	16	16	14	14	16	16	16	17	15	16
18	17	17	18	16	18	18	17	17	18	17	17	16	14	17	14	15	15	15	15	15	16	17	17	15	15	16	14	16	16	16	15
16	15	15	17	18	17	18	17	17	18	18	15	16	15	16	16	15	15	16	15	15	15	15	15	16	15	16	15	17	14	17	16
18	15	16	16	15	15	15	18	17	17	16	16	16	15	17	15	16	15	14	15	15	15	15	14	16	15	15	16	17	17	16	15
15	17	16	17	16	14	17	16	16	15	15	17	15	15	14	16	16	15	16	17	15	16	14	14	15	14	14	15	16	16	15	16

Banc coté droit : Sous l'ombre des arbres

14 H01 Moy : 14 Min : 11 Max : 18

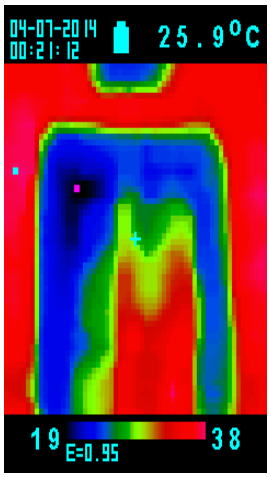
15	14	14	15	14	15	15	13	14	15	15	16	15	15	15	14	13	13	15	16	15	16	16	15	15	14	15	14	14	16	15	15
14	15	16	15	14	14	15	15	13	14	16	16	14	14	16	14	17	16	16	15	14	16	16	16	14	16	15	15	15	16	14	15
16	16	15	15	15	14	14	14	13	14	14	14	15	14	16	16	16	15	15	15	15	15	16	15	14	16	13	17	16	14	15	14
14	15	16	14	13	16	13	14	16	14	13	14	13	15	14	15	15	15	13	15	12	15	16	15	17	15	15	14	15	15	16	16
15	15	16	15	14	15	16	15	14	15	15	16	15	14	14	13	14	13	15	16	14	15	15	15	13	15	15	16	16	15	13	15
15	14	16	15	14	13	16	15	15	14	16	15	13	14	13	13	14	14	16	15	15	15	16	14	15	14	14	14	14	14	15	14
13	15	13	15	14	15	15	14	14	14	13	15	13	14	15	15	15	15	14	14	14	16	15	14	15	13	15	15	13	14	14	14
15	15	15	15	16	15	14	15	15	14	13	14	14	16	14	15	14	15	15	16	15	15	14	14	14	13	15	14	14	14	15	14
14	15	14	14	13	13	16	14	14	15	15	14	14	14	15	14	14	13	14	15	14	15	15	14	13	15	14	15	14	15	15	14
15	15	14	15	14	14	15	15	15	14	16	14	15	15	15	14	15	13	15	15	14	14	13	14	15	14	15	15	15	15	15	14
15	16	14	15	13	14	13	14	14	15	16	14	14	15	15	15	16	15	15	13	13	15	14	16	15	14	14	14	15	14	14	15
15	14	15	16	15	15	15	16	16	16	16	14	16	16	16	15	16	15	15	16	15	16	16	14	15	14	14	15	13	16	14	16
14	16	15	14	16	15	15	15	14	15	15	15	15	15	16	16	17	15	14	15	14	15	15	15	14	16	16	16	14	15	15	14
16	15	15	17	13	15	15	16	15	15	16	16	17	15	15	15	16	16	15	15	15	15	15	14	15	14	14	16	15	15	13	15
14	16	15	16	14	14	14	14	14	15	15	16	15	16	15	16	15	15	15	16	15	14	15	14	14	15	15	14	13	14	14	13
13	16	16	16	14	15	14	16	14	14	14	15	16	16	15	16	17	16	14	15	16	14	15	14	14	15	13	14	15	14	15	14
15	17	15	15	13	13	15	15	14	14	13	13	15	14	15	16	16	15	15	16	15	17	15	15	14	15	14	15	15	15	14	14
15	15	15	13	14	12	14	14	15	13	16	15	15	15	15	16	15	15	15	15	13	13	15	13	14	14	13	15	15	16	14	14
14	15	14	13	14	14	14	14	14	14	14	14	16	14	15	14	14	15	14	13	15	15	14	13	14	14	14	14	14	15	15	15
14	16	14	15	14	14	15	15	15	14	14	16	14	15	15	16	15	15	14	15	15	16	16	15	13	14	13	15	15	15	15	13
13	15	16	15	15	15	16	15	14	15	14	14	16	15	16	16	17	16	17	17	15	15	16	14	15	15	15	15	15	15	13	15
14	15	16	14	12	15	13	14	13	13	15	15	14	14	15	15	14	13	15	15	14	14	13	14	15	14	15	16	14	15	15	14
13	13	15	12	13	12	15	13	13	14	13	13	14	14	14	16	15	14	15	15	14	14	15	14	13	13	12	14	14	15	15	13
13	14	13	13	13	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13	12	14	14	15	14	14	15	15	13	14	13	13	14	14	14	14	13
15	13	13	13	13	14	14	14	13	12	14	13	15	13	14	14	13	13	13	14	13	14	14	15	14	15	13	14	11	13	15	13
14	15	13	14	13	14	13	14	12	11	13	14	14	13	14	14	14	14	13	14	13	14	14	14	13	13	13	13	13	14	13	12
14	14	13	14	13	14	13	13	13	13	12	13	14	13	12	14	14	13	14	12	14	14	15	12	13	13	12	13	12	13	13	12
14	15	13	12	13	13	13	14	13	13	14	12	13	14	13	13	14	14	13	15	13	13	13	14	13	14	15	13	13	15	15	14
14	15	13	14	14	16	16	14	13	13	15	15	15	13	15	14	14	15	14	14	15	14	15	14	13	12	14	13	14	14	13	17
18	17	16	16	14	15	14	15	15	15	18	15	16	15	15	16	15	14	15	15	14	15	14	13	12	13	14	16	15	14	15	15
17	18	17	15	15	17	15	15	16	17	16	17	18	16	16	16	15	15	15	17	16	16	15	14	15	15	16	17	17	18	15	14

Les différents exemples ci dessus mettent en exergue le fait que les divers types de revêtements ainsi que les différents ensoleillements en milieu urbain sont un réel enjeu. En effet, ces revêtements et divers ensoleillements induisent des différences thermiques notables qui peuvent poser problème lors de périodes de fortes chaleur. Néanmoins, après le constat à travers ces divers exemples, nous pouvons penser que ce n'est pas un élément délaissé par les pouvoirs publics, architectes ou autres ingénieurs. Cette thématique est depuis longtemps en étude. Au début du 20ème siècle, le courant hygiéniste préconise aux villes d'établir des formes urbaines permettant au soleil de pénétrer afin d'endiguer la vague de tuberculose « décrite comme une maladie de l'obscurité » (*Architecture et contrôle de l'ensoleillement*, Daniel Siret, Amina Harzallah, 2011). Plus tard, le célèbre architecte Le Corbusier va tenter de maîtriser le flux solaire de manière à lutter contre les surchauffes dans de nombreux projets tel que la Cité de Refuge de l'Armée du Salut en 1930. A l'heure actuelle, comme le font entendre Daniel Siret et Alina Harzallah, « les problèmes d'ensoleillement posés aux concepteurs sont aujourd'hui complexes. Il s'agit de concilier l'efficacité énergétique des bâtiments, le confort d'été, les qualités d'ambiances attendues, invoquant souvent transparence et clarté, protection et fraîcheur. La dualité entre soleil d'hiver et soleil d'été est au centre du problème et suppose d'être abordée avec des outils efficaces ». Ce travail avec une caméra thermique assez simple a montré que même en période hivernal avec un soleil qui n'est pas très puissant, les différences thermiques peuvent être flagrantes. Nous comprenons alors qu'en période estivale, les divers types d'imperméabilisation présentes au sein de la ville sont de véritables pièges à chaleur participant à l'établissement d'un îlot de chaleur urbain. Ceci n'est donc pas un élément propre aux grandes agglomérations.

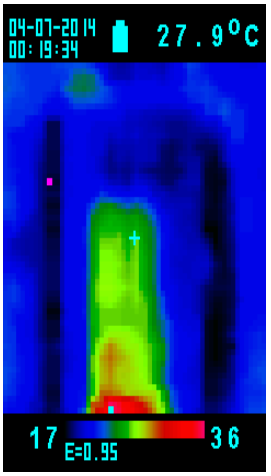
Enfin, il semble intéressant de s'attarder sur les incidences du rayonnement solaire et donc les divers types d'ensoleillement. Pour ce faire, nous avons photographier thermiquement les 4 orientations de façade ainsi que l'espace d'herbe au centre de la place de la Résistance à Caen le 1 Mars 2019 :

Src ; Google Maps, modifié par Alexandre Follin le 1 Mars 2019.

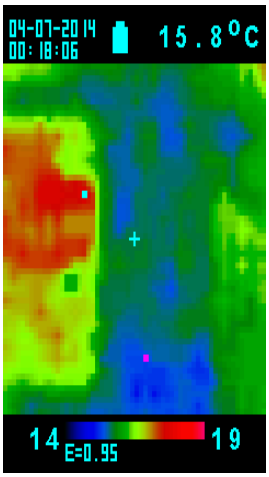
N°1 : Façade ensoleillée coté château(13h48)



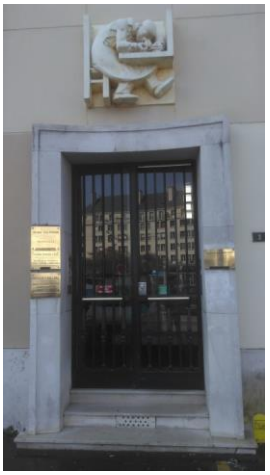
N°2 : Façade ensoleillée coté port(13h49)

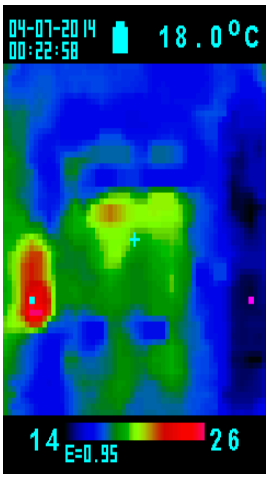


N°3: Façade à l'ombre coté Orne(13h47)

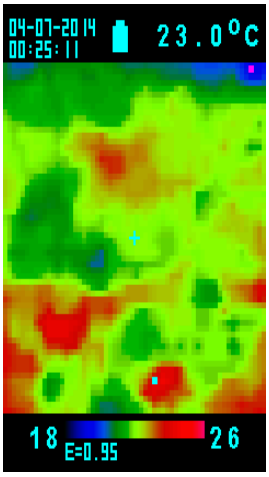


N°4 : Façade à l'ombre coté hippodrome(13h50)





N°5 : Pelouse centrale ensoleillée(13h49)



N°1 : Façade ensoleillée coté château

13 H 49 MOY : 28 MIN : 18 MAX : 38

32	33	33	33	33	33	33	34	32	27	24	23	22	23	23	23	22	25	27	32	32	32	33	33	32	32	32	32	31	32	29
33	33	34	31	32	33	34	34	32	28	25	25	23	23	24	24	25	25	28	32	32	32	33	33	32	33	33	31	32	32	30
33	33	33	32	33	34	32	34	32	30	28	28	26	27	27	27	28	27	30	33	32	32	31	33	32	33	32	31	33	32	31
33	32	34	32	33	33	34	34	32	32	30	33	33	33	34	33	33	32	31	33	32	31	31	32	32	32	32	33	32	31	30
34	33	35	33	32	33	33	32	33	34	33	34	34	36	35	35	35	35	33	33	32	32	31	32	32	32	33	33	32	32	31
33	34	34	32	26	27	27	26	27	28	29	30	30	32	30	30	30	31	29	30	28	29	29	29	31	32	32	32	32	32	33
33	33	33	30	25	24	23	22	24	24	23	25	24	25	25	27	24	24	25	26	26	25	26	26	30	32	32	33	33	33	31
34	34	33	29	24	22	22	22	22	23	24	24	22	24	23	23	23	24	24	24	24	24	23	24	30	32	33	34	34	35	33
34	34	34	28	24	23	21	22	22	22	22	23	23	24	24	22	23	24	24	24	21	23	23	25	28	32	32	33	33	34	34
34	34	34	26	23	22	21	22	21	21	21	22	24	26	25	24	24	25	23	25	23	23	26	25	26	33	33	33	33	33	35
33	34	33	26	23	22	21	21	18	20	20	20	22	28	24	22	22	23	24	24	23	23	24	25	25	32	33	34	34	33	34
34	34	33	25	23	21	21	20	20	21	21	23	23	31	24	24	24	25	25	25	25	24	23	24	26	32	34	34	35	35	33
34	34	32	25	23	22	21	21	20	23	24	24	26	33	26	25	24	26	27	26	26	24	24	24	25	32	34	33	34	33	34
34	33	32	26	22	22	21	19	23	23	23	25	25	34	26	25	25	27	27	28	28	24	24	24	26	32	33	32	34	34	34
33	33	33	24	23	21	20	20	24	24	24	25	26	34	27	25	26	26	27	27	29	23	23	24	26	31	34	32	34	33	33
33	34	33	26	22	22	20	22	22	23	24	25	27	35	27	25	27	27	28	29	30	24	23	25	26	31	32	32	34	33	32
33	34	32	24	24	21	22	21	23	24	24	25	27	36	27	26	26	28	29	29	28	24	24	24	24	30	34	33	33	34	32
34	33	32	25	24	23	21	21	24	25	26	26	29	36	29	28	29	30	29	29	30	25	23	24	25	30	33	34	34	33	33
33	33	32	24	22	22	21	22	24	25	26	27	29	36	29	27	29	28	29	30	30	26	24	24	25	31	33	34	34	33	33
34	33	32	25	23	21	22	23	25	25	26	27	29	37	29	27	28	29	31	30	31	27	24	24	24	30	33	34	33	32	32
33	33	32	24	23	23	21	24	26	24	25	29	29	37	31	27	28	28	30	31	31	30	23	24	24	29	33	33	33	34	33
32	34	31	24	23	23	23	23	26	25	26	27	29	37	30	29	29	30	30	31	31	29	25	24	25	29	33	33	32	34	32
34	34	30	24	23	22	23	24	26	25	27	28	30	36	31	30	30	31	32	33	32	29	24	23	24	29	32	33	34	32	32
33	32	31	23	24	22	23	24	23	24	25	27	32	36	31	30	30	29	31	34	36	29	24	24	24	26	31	33	33	33	31
32	32	31	23	23	22	24	24	24	26	26	28	30	36	32	31	31	33	33	34	32	26	23	24	25	27	31	34	33	33	33
32	32	30	24	22	23	22	23	25	26	27	27	30	37	30	30	29	33	31	33	30	25	25	24	24	28	31	32	33	32	30
30	31	30	25	22	23	23	25	25	27	28	29	32	38	30	31	30	33	31	33	32	24	23	24	24	27	31	31	30	31	30
30	28	27	24	24	23	24	25	27	27	29	29	30	37	31	30	31	35	31	35	32	26	24	24	24	27	32	31	31	32	31
31	30	29	23	22	23	23	25	27	27	29	30	31	38	31	31	31	34	32	33	31	26	24	24	25	28	31	32	32	32	34
34	35	33	25	25	23	24	25	27	27	29	29	31	36	31	31	31	32	32	34	32	26	25	23	25	28	32	33	33	32	30
31	33	30	25	24	22	24	25	27	28	28	30	31	37	31	32	31	33	33	33	33	26	25	25	26	28	31	31	30	29	30

N°2 : Façade ensoleillée coté port

13 H 48 MOY : 23 MIN : 18 MAX : 37

24	23	23	23	23	24	23	23	24	24	21	21	20	21	21	22	21	21	21	25	24	24	23	23	23	22	22	20	23	23	23
26	22	24	25	24	24	26	24	24	25	23	22	20	21	22	22	20	21	22	23	23	24	23	23	22	21	24	22	22	23	23
24	23	23	25	23	23	26	27	28	28	27	25	22	22	22	23	22	23	23	23	23	25	23	23	23	23	24	22	24	23	23
24	23	25	25	24	23	23	25	25	24	24	23	24	23	23	23	24	23	23	24	24	25	24	23	25	24	24	23	23	22	24
25	23	23	24	21	20	24	23	22	23	23	23	23	22	21	22	21	20	21	22	22	23	24	23	24	25	23	23	24	23	24
24	22	23	22	19	19	23	22	22	21	21	23	22	21	20	22	21	20	20	21	22	21	21	22	22	25	22	23	22	23	23
23	22	22	22	21	19	22	24	22	22	21	22	21	22	20	20	21	19	20	19	19	20	21	21	21	23	24	23	21	21	23
23	22	22	21	20	20	23	23	21	22	20	22	21	23	21	22	22	21	22	20	21	20	18	20	20	23	24	22	24	22	21
24	23	21	21	20	19	22	23	22	22	19	20	20	21	20	21	21	20	20	21	21	21	20	20	21	23	24	22	22	23	23
22	22	23	20	20	19	23	24	23	22	21	21	21	21	21	22	20	19	21	19	22	21	19	20	21	22	25	23	22	22	23
23	23	22	19	20	20	22	22	22	22	21	22	21	21	21	22	19	21	19	20	21	21	18	20	20	22	23	24	22	22	22
24	23	22	20	20	19	22	22	23	24	24	22	20	24	23	24	21	21	21	20	20	21	19	21	19	22	23	24	23	22	22
23	23	21	21	20	20	23	22	21	25	26	25	24	25	24	27	23	21	22	20	20	20	19	20	21	22	24	23	22	22	24
24	23	22	21	20	19	22	22	23	27	27	27	27	27	26	27	24	23	22	22	22	22	18	19	21	21	24	23	23	22	22
22	21	22	21	21	20	23	24	22	26	27	27	27	27	27	28	25	23	22	21	21	21	20	19	19	22	24	23	23	22	21
20	22	21	21	19	18	23	22	23	26	27	28	27	27	26	28	25	23	22	22	21	22	20	18	20	20	24	23	22	23	23
21	21	21	21	20	19	23	22	23	26	28	28	27	28	27	28	25	24	22	22	21	21	21	20	19	19	23	23	22	23	22
22	22	23	21	21	20	23	22	23	27	29	27	27	27	26	28	25	22	21	21	22	22	21	19	20	20	23	22	23	21	22
22	22	21	21	20	18	24	22	23	27	28	30	28	27	27	28	24	24	21	22	20	22	21	20	20	19	22	24	22	22	22
26	26	23	21	21	20	23	23	23	28	28	29	28	28	27	28	25	23	23	22	21	21	19	20	19	19	23	22	24	22	24
25	24	23	20	20	21	22	23	24	27	29	29	28	29	28	27	26	24	22	22	22	21	19	20	20	20	24	23	23	23	24
23	21	22	21	20	21	22	22	23	28	27	27	26	27	28	29	25	23	23	21	22	22	21	19	20	19	22	23	24	22	23
24	23	22	20	20	18	23	22	24	27	27	27	27	28	27	28	26	26	24	22	22	23	19	19	20	21	23	22	24	23	23
24	22	23	20	21	20	23	22	23	28	28	29	29	29	29	28	26	24	24	23	21	23	20	19	20	19	23	24	23	23	24
23	22	21	22	20	20	22	21	24	28	31	30	30	28	28	28	28	26	23	23	23	22	19	20	20	21	23	25	24	25	24
24	23	22	22	20	21	22	21	22	30	31	30	30	29	29	27	27	26	24	22	22	22	18	20	21	19	23	23	22	24	24
23	23	22	21	21	19	22	21	23	28	30	29	29	28	29	28	27	24	23	21	22	22	19	19	19	20	23	27	26	25	25
24	24	23	22	20	20	23	21	24	29	29	30	29	28	29	30	26	25	24	22	23	23	20	21	20	21	24	23	25	22	24
23	23	23	22	20	20	21	23	23	28	30	30	28	30	28	28	27	26	25	23	21	21	20	22	21	21	23	24	24	24	25
22	23	21	19	19	19	22	22	23	32	36	37	36	35	34	32	33	30	27	23	22	22	19	20	20	20	24	24	24	23	24
23	21	23	21	20	19	23	22	24	33	37	37	35	35	33	31	30	28	24	23	21	23	20	21	22	22	24	25	24	25	26

N°3: Façade à l’ombre coté Orne

13 H 47 MOY : 16 MIN : 13 MAX : 20

18	16	17	16	18	17	16	17	15	17	16	16	16	16	17	16	16	17	16	15	16	16	16	16	16	17	17	16	17	17	20	17
16	18	16	17	17	17	17	18	16	16	16	16	16	17	17	15	17	17	16	16	15	16	16	16	17	16	18	16	17	18	18	18
17	15	17	17	15	16	15	15	16	16	16	15	17	16	17	15	17	16	15	15	16	16	15	15	16	16	17	16	17	18	17	19
17	15	15	16	16	17	16	16	16	17	16	16	16	17	15	16	16	16	16	15	16	16	15	16	16	16	17	16	17	16	16	18
16	15	15	17	15	17	16	16	17	16	17	15	16	16	15	16	16	15	17	15	16	16	16	16	17	18	14	16	17	17	17	17
18	17	17	17	17	18	17	17	18	17	17	17	17	17	15	15	17	15	15	15	14	15	16	14	16	16	15	15	16	15	16	17
18	19	18	18	18	18	18	18	18	18	17	15	15	15	16	15	16	15	15	16	16	17	15	16	15	15	14	16	16	16	17	18
19	18	17	17	18	18	17	18	16	17	15	17	16	16	16	17	16	17	15	16	15	16	16	17	17	16	16	15	17	16	17	17
19	17	19	19	19	19	17	17	17	18	16	16	17	15	15	17	16	16	15	15	15	15	15	16	17	16	17	17	16	17	17	16
18	18	19	18	18	18	18	17	16	17	17	16	15	17	15	15	17	15	16	16	15	15	15	16	17	15	15	16	16	16	17	18
17	18	19	18	19	18	18	20	20	20	18	16	16	15	16	15	15	16	15	16	14	15	16	15	16	16	15	16	17	18	16	18
17	18	18	19	17	18	20	18	18	20	19	16	17	16	16	16	16	16	15	15	17	16	15	15	18	17	15	16	17	15	16	16
18	19	18	19	19	19	19	18	16	19	19	16	15	15	16	15	16	15	16	15	15	15	15	17	17	18	17	16	17	16	16	16
17	18	18	19	18	18	19	19	17	18	18	15	16	16	15	16	16	16	16	15	16	16	15	16	17	16	17	17	17	17	17	18
18	18	17	19	18	18	18	18	18	18	17	16	15	16	15	16	16	16	14	16	16	16	15	16	18	17	17	17	17	17	17	18
19	18	18	18	18	18	18	19	17	18	18	16	15	15	15	16	17	16	16	16	16	15	15	15	18	18	16	16	17	17	17	18
19	20	18	19	19	17	19	20	19	19	19	16	16	15	17	16	16	16	16	15	16	16	17	15	17	17	16	17	18	15	18	17
18	17	20	19	17	18	18	19	17	17	17	16	17	17	14	16	16	17	16	16	17	16	15	15	17	17	16	17	17	18	16	16
17	15	17	16	18	17	16	17	15	15	17	16	15	16	16	16	15	16	15	16	16	17	16	16	17	17	17	16	16	17	16	17
18	18	17	19	19	19	17	17	16	17	16	16	16	16	16	17	16	15	16	15	15	15	15	16	18	18	17	16	16	17	16	17
17	18	17	18	19	18	17	18	18	18	18	16	16	15	16	15	16	15	16	15	16	16	15	16	17	15	17	16	17	16	17	18
19	17	19	18	18	17	17	17	17	17	17	16	15	15	15	15	16	15	17	16	15	17	15	16	17	17	17	16	16	17	17	18
18	18	16	18	18	18	18	18	16	17	18	16	15	16	16	16	15	17	15	16	16	16	16	15	17	15	15	15	17	16	16	19
17	18	17	16	18	18	17	19	17	18	16	17	16	16	16	16	16	16	16	16	14	17	15	16	17	16	16	15	17	18	17	17
17	17	18	16	17	18	18	19	18	18	16	16	15	15	16	15	15	16	16	14	14	14	15	16	16	17	17	16	16	16	17	18
18	17	17	18	17	18	17	19	17	17	18	15	15	16	15	13	16	16	14	16	16	15	14	15	15	16	15	17	16	16	17	18
18	15	16	18	17	18	18	18	17	17	17	16	16	15	16	15	15	15	15	15	16	15	14	16	17	17	16	14	17	17	16	18
18	16	18	17	16	17	16	16	16	16	16	15	17	16	16	15	15	16	16	15	15	15	14	14	16	17	16	15	17	17	16	17
18	15	17	16	15	16	16	18	16	17	14	15	16	15	16	14	16	15	15	16	16	15	16	14	15	17	17	15	17	16	17	18
17	15	17	17	16	16	16	15	15	15	15	15	16	16	15	17	17	16	16	16	15	15	15	16	16	16	16	17	18	14	18	18
17	15	14	17	16	16	15	15	16	17	15	15	17	15	15	15	16	15	15	14	15	15	15	15	16	16	16	16	17	17	16	18

N°4 : Façade à l’ombre coté hippodrome

13 H 50 MOY : 17 MIN : 14 MAX : 28

19	17	16	15	18	16	16	17	17	17	17	16	16	16	17	17	15	16	16	17	17	16	15	17	17	17	17	17	19	18	18	19
17	18	17	18	18	17	17	17	17	17	18	18	17	18	18	17	19	17	16	15	16	16	16	16	16	16	17	16	17	16	19	18
16	18	16	17	18	17	16	19	17	17	18	17	17	18	17	17	17	16	17	16	17	18	17	17	17	17	16	16	17	17	17	17
17	19	17	17	18	16	18	17	17	17	16	16	17	17	17	16	16	17	15	17	17	17	17	19	17	17	17	16	16	17	16	16
18	18	17	18	19	18	16	16	17	16	17	17	17	17	16	17	16	15	16	17	16	18	18	17	18	16	17	14	16	16	16	17
18	17	18	18	17	17	16	15	16	17	15	16	17	17	16	16	17	16	15	18	17	16	17	17	19	15	15	15	15	15	17	16
17	18	18	17	18	17	18	17	16	16	17	16	19	17	17	16	17	16	18	16	16	16	16	18	16	16	17	16	16	15	16	17
18	19	17	16	16	16	16	18	18	17	17	18	17	18	17	16	17	19	17	18	18	16	17	18	16	15	16	15	15	17	16	17
19	18	18	18	16	17	17	18	17	18	18	17	17	18	18	17	18	18	17	17	17	17	16	17	15	17	17	16	15	15	16	15
18	19	18	18	15	16	16	18	18	16	17	16	16	17	17	17	15	17	16	15	16	16	18	17	16	16	15	15	15	16	17	15
19	17	17	18	18	16	17	18	17	15	16	15	16	17	18	16	16	17	17	17	16	17	16	17	16	15	16	15	16	15	17	17
17	18	17	18	16	16	17	19	17	17	18	19	20	20	18	18	20	21	20	19	20	18	17	17	17	14	16	15	17	14	15	17
18	19	16	17	16	17	17	18	18	18	20	21	21	21	19	21	21	21	20	20	20	17	17	18	17	16	15	15	16	16	16	16
18	19	18	18	16	16	18	19	18	18	20	20	20	20	19	18	19	18	18	18	19	18	17	17	17	16	16	16	16	15	16	16
18	19	18	20	20	19	17	18	18	19	18	18	19	20	19	18	18	19	19	19	18	18	18	17	18	16	16	15	14	15	17	15
17	19	19	21	21	19	18	18	18	19	18	19	20	20	19	19	20	19	19	18	19	17	17	17	17	16	16	16	16	16	17	16
19	19	19	21	21	19	17	18	17	18	19	19	19	20	18	18	19	19	19	18	18	18	17	16	17	16	16	15	15	15	15	16
19	19	20	20	20	19	19	18	18	18	18	19	19	20	18	17	18	17	18	18	19	19	15	16	17	18	16	16	15	16	15	15
18	19	20	22	22	20	17	17	19	18	17	17	18	18	18	18	17	18	19	17	18	18	16	16	17	19	16	16	15	17	15	16
18	19	20	21	20	20	18	17	19	18	18	18	18	18	19	17	18	19	20	19	19	17	15	16	16	15	15	15	15	15	16	15
16	18	21	23	24	20	17	18	18	19	17	17	18	18	18	18	19	19	18	17	17	17	17	16	16	15	15	15	16	16	17	16
17	20	21	28	23	21	18	18	17	19	18	18	17	19	18	16	19	18	18	18	19	17	17	17	17	16	16	15	15	16	15	17
18	19	19	21	19	16	16	17	15	15	14	14	18	17	19	17	15	15	16	14	17	18	19	17	17	17	16	16	15	14	15	15
18	20	16	19	17	15	17	17	17	18	17	17	16	18	18	18	16	17	17	17	19	18	17	18	17	15	16	16	15	16	15	16
19	18	18	17	17	16	17	18	17	17	17	17	19	18	19	18	17	19	18	18	18	17	16	16	19	16	15	14	15	15	16	15
18	17	17	17	16	16	16	17	18	15	19	18	17	18	18	18	19	18	18	18	18	18	18	18	17	17	16	14	15	14	14	18
17	18	17	16	17	15	17	18	18	18	18	18	19	19	18	18	19	18	19	18	18	18	17	17	16	16	15	14	15	15	16	16
18	18	16	17	17	17	16	18	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17	16	15	15	15	16	16
16	19	18	17	16	15	17	15	17	18	18	17	19	18	19	17	18	17	18	18	17	18	18	18	18	16	16	16	16	15	15	17
18	18	16	14	18	16	17	16	16	17	18	18	18	18	17	18	17	18	17	17	18	18	18	16	16	15	16	16	18	16	18	16
17	19	16	16	17	16	15	17	16	17	18	17	17	18	17	18	18	17	16	18	19	17	16	17	16	18	17	15	17	15	17	17

N°5 : Pelouse centrale ensoleillée

							13 H	49		MOY :	23		MIN :	20			MAX :	27													
21	22	22	22	21	23	22	21	21	21	22	22	23	22	21	21	21	22	22	22	21	21	22	22	21	21	20	21	20	21	20
21	22	23	22	22	21	22	22	23	23	23	23	22	22	23	21	22	21	22	23	21	22	20	22	22	22	21	21	22	21	23
23	23	23	23	22	22	22	22	23	21	24	22	22	22	22	23	23	23	23	24	23	22	21	21	22	22	21	22	22	23	23
23	22	23	24	22	22	23	24	21	22	22	21	21	22	23	22	23	24	23	23	22	22	21	24	23	23	23	24	23	23	20
22	23	22	23	22	23	22	22	23	23	23	22	22	22	23	23	22	22	22	23	23	23	24	23	24	22	23	24	23	22	22
24	23	22	22	22	22	24	24	23	23	23	23	22	22	24	23	24	23	23	24	23	24	23	23	23	23	24	24	22	23	23
23	23	24	24	22	23	23	24	23	25	24	23	23	22	23	24	23	23	23	24	23	23	23	24	24	24	23	21	22	21	23
23	23	24	22	23	23	23	25	24	24	24	25	23	24	23	25	25	24	25	22	23	23	22	23	23	23	23	23	23	24	23
23	22	23	23	23	23	24	22	24	24	24	24	25	23	25	23	23	24	23	23	24	24	23	23	24	22	22	22	21	23	24
23	23	23	22	22	22	22	22	23	23	23	24	24	22	24	23	24	23	24	23	23	24	22	22	23	22	23	23	22	23	22
23	22	23	22	22	24	23	23	22	23	24	25	25	24	24	24	24	24	24	25	24	24	22	22	23	22	23	24	23	24	21
24	22	22	23	20	22	23	23	23	23	24	23	24	24	23	25	24	23	23	23	23	24	22	24	23	23	22	23	23	23	23
22	22	23	21	21	21	23	23	22	24	23	22	23	22	24	24	23	23	24	24	22	23	23	22	24	23	24	24	23	23	23
23	22	22	23	23	22	22	23	23	24	22	23	23	23	23	24	23	22	23	23	22	22	22	24	23	24	22	24	24	24	22
23	23	21	22	23	22	23	23	22	22	23	24	24	23	22	23	23	21	23	23	23	24	25	22	24	23	24	23	22	23	23
24	21	23	23	23	21	21	23	23	22	23	22	23	23	23	23	23	22	23	22	22	23	22	24	24	22	23	24	25	24	24
23	21	23	23	22	22	23	23	22	22	21	22	22	23	25	23	23	23	22	24	23	23	21	23	21	22	23	23	23	23	23
21	23	21	23	21	21	22	22	22	21	22	23	23	22	23	25	24	24	24	24	22	22	22	25	23	23	23	23	23	23	24
24	23	23	24	23	22	24	24	22	21	22	23	23	22	23	23	22	22	22	24	25	24	25	24	23	25	23	23	23	24	24
25	22	24	23	24	23	23	23	23	23	22	23	24	24	25	24	24	23	23	23	22	23	21	22	23	24	24	25	25	25	23
23	24	24	24	24	23	24	25	26	23	25	24	24	24	25	24	24	23	23	22	23	22	21	21	23	24	25	24	24	25	25
24	23	24	24	24	24	24	26	24	24	25	25	25	23	23	22	22	22	22	24	24	22	23	24	24	22	22	23	22	22	23
24	24	24	26	26	24	24	26	23	23	23	24	24	23	22	21	23	24	22	23	25	23	23	24	24	23	23	24	22	23	25
24	22	24	25	26	26	25	26	26	24	24	23	22	23	22	24	21	23	23	24	22	22	22	21	22	22	22	25	24	24	24
25	24	23	24	23	24	25	24	23	24	23	23	23	21	22	23	22	22	21	22	23	24	22	24	24	24	23	25	24	24	24
23	23	25	25	24	23	23	24	23	24	25	25	22	23	21	23	23	23	22	22	22	23	23	22	23	23	22	23	23	22	21
24	25	25	25	24	22	22	23	23	22	21	21	22	23	24	24	24	25	25	24	23	23	21	21	22	22	22	24	24	25	25
24	24	24	21	22	22	22	24	22	23	23	25	22	23	23	24	27	26	25	26	25	22	24	22	24	24	24	24	25	25	25
23	24	23	21	22	22	23	23	22	22	22	22	23	22	24	26	25	25	24	23	23	24	23	23	24	24	23	25	24	23	25
24	24	23	24	23	23	24	22	23	23	21	21	22	21	22	25	23	22	23	23	23	24	23	23	24	24	25	24	24	26	24
26	24	24	24	24	23	24	24	22	23	21	22	23	21	22	24	20	24	23	22	21	21	24	24	25	24	24	25	25	26	24

Ici, nous observons que pour une même place les différences thermiques peuvent être significatives. Les deux façades de bâtiments exposés au soleil ont des moyennes de 28°C et 23°C. Les deux façades à l'ombre ont quant à elles des moyennes de 16°C et 17°C. Nous comprenons une fois de plus que lors d'une journée ensoleillée mais pourtant pas estivale, les différences peuvent être très importantes et l'emmagasinement de chaleur du bâti au soleil peut être élevé. Ce constat nous amène une nouvelle fois à mettre ceci en corrélation avec le phénomène d'îlot de chaleur urbain pouvant se développer surtout en été, qui constitue un point noir pour le confort urbain et la qualité de vie des citadins.

Conclusion :

Dans le contexte actuel de changement climatique, les citoyens se préoccupent de manière plus importante de leur qualité de vie. En effet, la chaleur est d'ores et déjà un point d'interrogation et un enjeu sanitaire pour les villes. Le phénomène d'îlot de chaleur urbain, bulle de chaleur au dessus des villes est un élément bien connu des grandes agglomérations. Néanmoins, avoir une connaissance plus poussée d'une agglomération de l'envergure de Caen (Normandie, France) peut être intéressant dans la mesure où ceci est relativement méconnu. Il est vrai que les recherches concernant les polluants et les qualités de l'air sont plus visibles que celles sur le climat urbain. Par conséquent, l'interrogation principale était de savoir si parler d'îlot de chaleur sur l'agglomération caennaise était juste et si l'on pouvait tirer des enseignements sur le climat de la ville en période hivernale.

Premièrement, la comparaison entre une station météorologique située en « ville » et en périphérie montre que le terme d'îlot de chaleur urbain n'est pas le plus approprié pour caractériser le climat urbain de Caen. Néanmoins, il est important de rappeler que la période d'obtention des mesures en hiver n'est pas favorable à l'établissement du phénomène. De surcroît, la station météorologie située en ville est globalement toujours plus « chaud » que celle de la périphérie, l'effet urbain sur le climat de la ville est donc bel et bien présent. En outre, il apparaît que les différenciations entre la ville et sa périphérie résident principalement dans les types de temps. En effet, lors d'un temps couvert et agité, les températures vont être lissées et cela ne va pas permettre l'établissement de différences. Au contraire, dès lors que le temps est clair est calme, les différences apparaissent. Le type de temps fournit donc le potentiel pour l'apparition de différences thermiques. L'occupation du sol va quant à elle pouvoir nous expliquer pourquoi il y a une différence à tel ou tel endroit. En effet, la présence de végétation ou encore de bâtis nous fournissent souvent l'explication d'une différence de températures entre deux espaces. Les derniers éléments dans la comparaison des deux stations sont l'importance du paramètre venteux ainsi que celui de l'horaire. Il semble que le vent soit une clé de compréhension des plus larges différences relevées. Un vent léger en périphérie et nul en ville coïncide avec une différence positive en faveur de la station de périphérie. Un vent plus important (>10km/h avec rafales assez importantes) en périphérie et nul en ville coïncide avec une différence positive en faveur de la ville. De plus, l'horaire est également important puisque ces différences se retrouvent toujours en fin de journée lorsque c'est positif pour la ville et la nuit ou le matin lorsque c'est positif pour la périphérie.

Ensuite, le changement d'échelle de travail nous a amené à établir des transects urbains afin de parcourir la ville avec un abri météorologique fixé sur un vélo. Ceci nous permettant de caractériser spatialement les différences de températures en passant par divers types « d'ambiances urbaines ». La récolte des données montre qu'à cette période de l'année, l'îlot de chaleur n'est pas réellement apparu. Néanmoins plusieurs points sont à mettre en exergue. Le type de temps est le facteur prépondérant pour expliquer l'apparition ou non de différences de températures lors des parcours urbains. En effet, dès lors que le temps fut couvert et agité, aucunes différences significatives n'apparaissaient, au contraire lors d'un temps clair et calme, les parcours ont été plus contrastés. Ceci nous prouve bien que l'établissement de l'îlot de chaleur ne peut avoir lieu que lors d'un temps clair et calme, par conséquent, la continuité de ce travail en période estivale pourrait être intéressante. Le type de temps fournissant le potentiel pour créer des différences thermiques, ce sont l'occupation du sol et la topographie qui ont expliqué les différences lors de nos parcours. Effectivement, il y a souvent un lien entre l'occupation du sol et les températures, notamment dans le cœur de ville avec la forte densité de bâti. De surcroît, la topographie a également un rôle dans l'étude d'un climat urbain. En effet, à certaines échelles, les effets topographiques peuvent créer des

différences de températures et voir par exemple, l'apparition de foyers de fraîcheur en zone plus basses. En outre, ces parcours nous ont permis d'extraire des sites « références » pour caractériser le climat urbain, notamment aux alentours du théâtre de Caen qui semble être le cœur chaud de ville. Néanmoins, nous pouvons proposer des améliorations pour continuer ce travail. A titre d'exemple, nous pourrions placer un collecteur de données sur un bus ou tramway ou effectuer des transects différents en simultanés. Ceci permettrait d'obtenir des transects précis et rigoureux à vitesse constante.

Enfin, il apparaît que les divers travaux sur Envi-Met et avec la caméra thermique confirment les éléments exposés dans les études de climatologie urbaine. Grace à eux, nous avons eu la confirmation des effets de l'imperméabilisation et des surfaces avec bâtis dans le climat urbain. Effectivement, les constructions apparaissent comme de véritables pièges à chaleur dans nos divers travaux. Ceci nous indique également que ce phénomène semble être un élément présent dans une agglomération de moindre importance comme Caen. La restitution lente de chaleur des constructions humaines va dans le sens des différences positives pour la ville en fin de journée (comparaison ville-périphérie). Par conséquent, dans le contexte actuel de l'étude il semble qu'un effet urbain soit bel et bien présent sur l'agglomération. Le terme d'îlot de chaleur urbain paraît quelque peut fort pour caractériser cet effet urbain. Néanmoins, il pourrait être intéressant de continuer cette recherche en période propice à l'établissement de différences climatiques entre ville et périphérie. Ceci nous permettrait d'être certainement plus proche d'un travail complet et également plus utile puisque la période estivale correspond au moment où les enjeux sanitaires apparaissent comme les plus forts.

Éléments de bibliographie :

ADEME. « Diagnostic surchauffe urbaine : Méthodes et applications territoriales ». ADEME, septembre 2017. https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/diagnostic_de_la_surchauffe_urbaine-ademe_ils_l_ont_fait_recueil_bd_010307.pdf.

Agence de développement et d'urbanisme de Lille Métropole. « Les îlots de chaleur urbains (ICU) ». Agence de développement et d'urbanisme de Lille Métropole, juin 2017. https://www.adu-lille-metropole.org/wp-content/uploads/2017/06/ICU_web.pdf.

Bigot, Duché, Madelin, Rome. « Etude du climat urbain: Pour une mise à disposition de nouveaux services climatiques », 2017. https://popups.uliege.be/0770-7576/index.php?id=4505&file=1.

Bouyer, Julien. « Projet DIACLIMAP DIAgnostic CLImatique des quartiers urbains pour une Méthodologie d'Assistance à la Planification ». Cerema Est, décembre 2016. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2017/11/projet_diaclimap_cle1a3fca.pdf.

Cantat, Olivier. « L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps ». *Norois. Environnement, aménagement, société*, nº 191 (1 mars 2004): 75-102. https://doi.org/10.4000/norois.1373.

Chesnais, Cantat, Hame. « Le district urbain de Caen à travers l'imagerie satellitaire », 1992. https://www.persee.fr/doc/noroi_0029-182x_1992_num_155_1_6439.

Colombert, Morgane. « Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville », 2010. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00470536/document.

Colombert, Salagnac, Morand,Diab, Morgane, Jean-Luc, Denis,Youssef. « Le climat et la ville : la nécessité d'une recherche croisant les disciplines », mai 2012. https://journals.openedition.org/vertigo/11811.

Escourrou, Gisèle. « Climats et types de temps en Normandie », 1982.
« Quelques remarques sur la climatologie urbaine », 1984. https://www.persee.fr/doc/bagf_0004-5322_1984_num_61_500_5450.

Foissard, Quenol, Dubreuil, Xavier, Hervé, Vincent. « Analyse et spatialisation de l'ilot de chaleur urbain dans l'agglomération rennaise », septembre 2013. https://www.researchgate.net/profile/Vincent_Dubreuil/publication/256530758_Analyse_et_spatialisation_de_l'ilot_de_chaleur_urbain_dans_l'agglomeration_rennaise/links/00b7d529a3c45c8c38000000/Analyse-et-spatialisation-de-lilot-de-chaleur-urbain-dans-lagglomeration-rennaise.pdf

Haouès-Jouve, Sinda. « Introduction Villes et climat : un carrefour de la recherche, de l'expertise et de l'action », 2015. http://mshs.univ-toulouse.fr/IMG/pdf/wADIRAE_6_1_Introduction.pdf.

Hébrard, Dominique. « CARTOGRAPHIE DES ÎLOTS DE CHALEUR », janvier 2019, 16. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2019/02/Urbain - Cartographie des îlots de chaleur - Cerema.pdf

Île de France, ADEME. « Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain à destination des collectivités territoriales », 2012. https://www.actu-environnement.com/media/pdf/dossiers/786-guide-lutte-icu.pdf.

Institut d'Aménagement et d'Urbanisme Île de France. « Les îlots de chaleur urbains : Répertoire de fiches connaissance ». Institut d'Aménagement et d'Urbanisme Île de France, novembre 2010. https://www.iau-idf.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_774/Les_ilots_de_chaleur_urbains_REPERTOIRE.pdf.

Jouzel, Jean, et Anne Debroise. *Le défi climatique: objectif : 2°C !* Paris, France: Dunod, 2014.

Kergomard, Bigot, Charabi, Leriche. « Climat urbain et qualité de l'air : approches géographiques et collaborations pluridisciplinaires », 2002. https://www.persee.fr/doc/bagf_0004-5322_2002_num_79_4_2299.

Lamarre, Denis, et Pierre Pagney. *Climats et sociétés*. Paris, France: Armand Colin, DL 1999, 1999.

Leconte, François. « Caractérisation des îlots de chaleur urbains par zonage climatique et mesures mobiles : Cas de Nancy », 2014, 274. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01141361/file/these_leconte.pdf

Musy, Marjorie. « Du diagnostic à la cartographie des Îlots de chaleur urbains : Outils, méthodes, applications ». Cerema Ouest, mars 2017. http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/3_marjoriemusy_dreal14mars2017_1_.pdf.

Musy, Marjorie. « L'étude des microclimats urbains : champ de recherche à l'interface entre climatologie, urbanisme et génie-civil ». *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, nº Hors-série 12 (15 mai 2012). https://doi.org/10.4000/vertigo.11841.

Najjar, Kastendeuch, Grussenmeyer, Georges, Pierre, Pierre. « Topographie et climatologie urbaine », 2010. http://www.aftopo.org/download.php?matricule=412310

Siret, Daniel, et Amina Harzallah. « Architecture et contrôle de l'ensoleillement », 2006, 9. https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00572362/document

Tabeaud, Martine. « Climats urbains : Savoirs experts et pratiques sociales », 2010. https://www.cairn.info/revue-ethnologie-francaise-2010-4-page-685.htm