
VARIABILITE SPATIALE DES TEMPERATURES MAXIMALES A NICE ENTRE MAI ET SEPTEMBRE 2015

MARTIN N. ¹

¹ Université de Nice Sophia-Antipolis, UMR 7300 ESPACE, 98 Bd E. Herriot 06204 Nice cedex 3, nicolas.martin@unice.fr

Résumé : Des mesures itinérantes de températures réalisées à vélo entre mai et septembre 2015 à Nice ont été réalisées. Ces campagnes de mesures se sont déroulées pendant 46 jours entre 14h30 et 16h afin de tenter de mesurer les températures maximales dans Nice et ses alentours durant les heures les plus chaudes de la journée. La base de données constituée de toutes ces campagnes de mesures, et pour chacune d'elle de plus de 750 points, est traitée à l'aide d'une analyse en composante principale. Ainsi plusieurs configurations spatiales sur la variabilité des températures dans la ville sont mises en valeur. La 1^{ère} composante résume l'aspect moyen durant l'ensemble des jours et permet d'apprécier la forte influence de l'environnement sur les champs thermiques : l'exposition des versants à l'ouest renforce la chaleur et, à l'inverse, la proximité immédiate du littoral radoucit l'ambiance. La 2^e composante permet de constater que durant plusieurs jours le littoral et l'intérieur s'opposent : l'un et l'autre sont tour à tour plus chauds ou plus frais.

Mots-Clés : mesures itinérantes, configuration spatiale des températures, réanalyses ERA-Interim.

Abstract: *Spatial variability of maximal temperatures in Nice between May and September, 2015.* Itinerant measures of temperatures realized on a bicycle between May and September, 2015 in Nice were realized. These campaigns of measures took place during 46 days between 2:30 pm and 4 pm to try to measure the maximal temperatures in Nice and its surroundings during hours the hottest of the day. The database constituted by all these campaigns of measures, and for each of her of more than 750 points, is treated by a principal component analysis. So several spatial configurations on the variability of the temperatures in the city are highlighted. The 1st component summarizes the average aspect during all the days and allows to appreciate the strong influence of the environment on the temperatures: the exposure of hillsides on the West strengthens the heat and, on the contrary, the immediate closeness of the coast softens the atmosphere. The 2nd component allows to notice that for several days the coast and the inland are alternately hotter and cooler.

Keywords: *itinerant measures, spatial configuration of the temperatures, ERA-Interim reanalysis*

Introduction

La mesure de la température constitue l'une des observations du temps la plus simple qui soit. Equipé d'un thermomètre, le suivi et si possible l'enregistrement de cette variable météorologique se fait depuis de multiples décennies, voire depuis plusieurs siècles, partout à travers le monde. Cependant cette mesure n'est que ponctuelle dans l'espace, réalisée à partir d'une station fixe, elle ne permet pas d'établir un avis éclairé sur la variabilité spatiale du champ thermique. Certes des techniques de spatialisation partant d'un réseau de mesures ponctuelles permettent de créer de cartes avec des valeurs continues (comme la régression multiple qui n'est pas fondée sur l'autocorrélation spatiale), mais il s'agit alors de modèles, et non plus d'observations nécessairement plus fidèles au phénomène. Cette étude propose donc de partir de la mesure des températures à vélo en continu dans l'espace afin de capter à très fine échelle leur distribution dans la ville de Nice et ses environs.

Outre la mesure éventuelle d'un îlot de chaleur urbain (Carrega, 1994), cette approche met en valeur l'influence de l'environnement immédiat sur la température, cet environnement qui façonne notre ressenti de la chaleur, celui qui module de manière non négligeable le « niveau de fond thermique » journalier de la masse d'air. La morphologie d'une ville et ses aménagements, la forme des rues et du bâti, leur orientation générale, le type de matériaux utilisés et leurs couleurs dominantes, la présence ou non de végétation ou de points d'eau influencent le climat urbain (Kastendeuch et Najjar, 2015). Les vents dominants sont canalisés ou stoppés par l'artificialisation de l'espace conduisant à des ambiances thermiques

fort contrastées, et l'impact sanitaire d'une vague de chaleur est aggravé par des facteurs urbains, notamment par synergie avec la pollution de l'air (Besancenot, 2002). Alors même que les stations météorologiques sont souvent implantées pour des raisons historiques en dehors des centres urbains, des mesures itinérantes de températures dans cet espace trouvent toute leur place.

1. Données et méthodes

1.1. Campagnes de mesures itinérantes

1.1.1 Instruments de mesures

Les mesures sur le terrain ont été enregistrées par un thermomètre EL-EnviroPad-TC choisi pour sa grande réactivité temporelle. En effet le but de l'étude étant de mesurer la température tout en se déplaçant, il était important de disposer d'un outil au temps de réponse rapide afin de capturer la température du lieu traversé à l'instant t sans décalage spatial entre la mesure et les coordonnées GPS (couple de données enregistré toutes les 10 secondes). Cet instrument a été fixé sur le cintre d'un vélo à plus de 1 m au-dessus du sol en veillant à ne pas exposer la sonde directement au rayonnement solaire (figure 1 à gauche). Les normes internationales de l'Organisation Mondiale de la Météorologie n'ont pas pu être respectées dans ces conditions, et de ce fait, toutes comparaisons de ces données avec celles des stations fixes de Météo-France n'ont pas lieu d'être. Cependant le protocole de mesure est le même lors de chaque campagne ce qui offre la possibilité d'analyser à la fois la variabilité spatiale des températures sur l'ensemble du tracé chaque jour et de traiter de la variabilité temporelle des températures au cours des 4 mois de mesures.

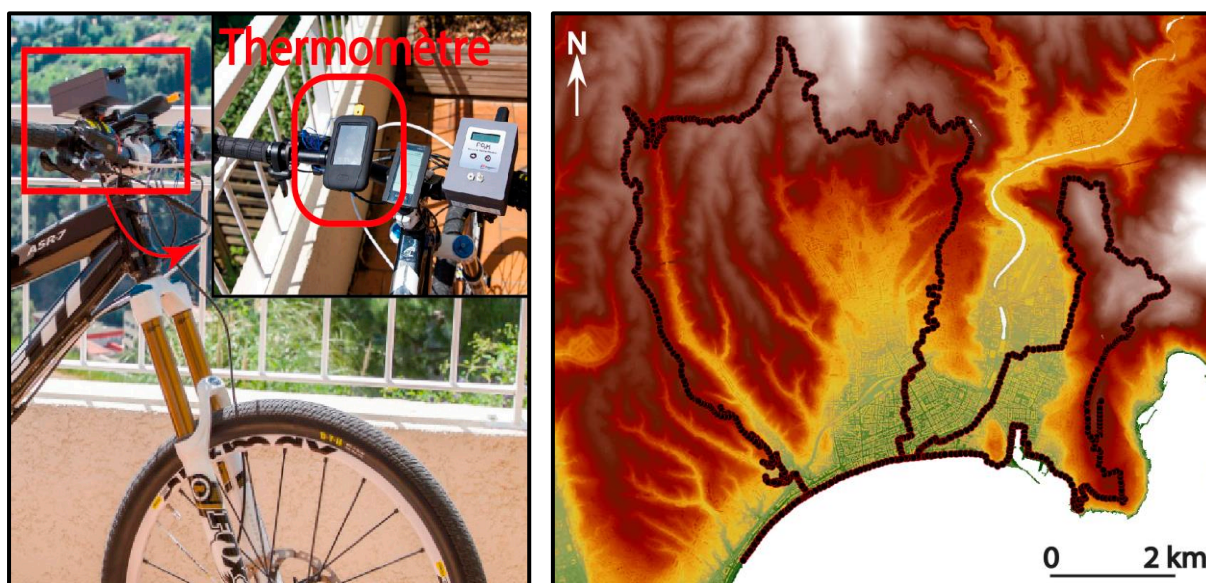


Figure 1. Dispositif de mesure des températures embarqué à vélo et itinéraire suivi lors des campagnes de mesures entre mai et septembre 2015 à Nice et ses environs.

1.1.2 Parcours suivis

L'itinéraire suivi fut le même pour l'ensemble des jours de mesures (figure 1 à droite) ; les 50 km parcourus permettent de traverser différents types d'espace, 100% artificialisés dans l'urbain dense ou plus naturels sans l'être totalement dans les parties nord du tracé. L'environnement physique du parcours est très variable grâce à une topographie accidentée très proche du littoral proposant des altitudes et des expositions diverses propices aux études topoclimatiques à fine échelle. Enfin le bitume sombre fut le revêtement de surface le plus rencontré avec seulement quelques kilomètres sur un chemin de terre très claire et quelques

dizaines de mètres sur de la pelouse très bien entretenue, et donc humide, même en plein cœur de l'été.

1.2. Traitement statistique par analyse en composantes principales

Pour extraire les informations principales de la matrice de températures ainsi construite, 46 colonnes (variables) et 777 lignes (observations) correspondant respectivement aux jours et aux points de mesures, le recours à une analyse en composante principale a été décidé. Ce traitement vise à réduire le nombre de variables, c'est-à-dire dans notre cas le nombre de jours en rassemblant autour d'une composante principale les jours semblables, tout en effectuant ensuite pour chaque axe factoriel un regroupement des observations, et donc ici des points de mesures. Autrement dit cette étape de calcul pourrait produire diverses configurations spatiales des températures à Nice en fonction des conditions météorologiques durant ces 4 mois de mesures.

Seules les 5 premières composantes principales obtiennent des valeurs propres supérieures à 1 (critère de sélection selon le test de Kaiser), ce qui signifie que les autres axes factoriels, pris individuellement, résument moins d'information que celle contenue au sein d'une journée de mesures. Par ailleurs l'observation graphique de la décroissance des valeurs propres montre une rupture de pente dès la 3^e composante (critère de sélection selon le test de Catell). Ainsi seuls ces 3 axes factoriels sont interprétés. Ils regroupent 61% de la variabilité des températures mesurées durant ces 46 journées.

Tableau 1. Valeurs propres et variabilités associées aux dix premières composantes principales de l'ACP sur les mesures itinérantes de températures à Nice entre mai et septembre 2015.

Axe factoriel	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Valeur propre	17.2	8.6	2.4	1.8	1.1	1	0.9	0.8	0.7	0.6
Variabilité en %	37.3	18.6	5.3	3.8	2.4	2.1	2	1.7	1.5	1.4
Variabilité cumulée en %	37.3	55.9	61.2	65	67.4	69.5	71.4	73.1	74.6	75.9

2. Résultats et discussion

Parmi les 3 axes factoriels analysés, le 1^{er} synthétise l'ensemble des jours de mesures en produisant la configuration spatiale moyenne obtenue durant les 4 mois ; le 2^e axe propose une configuration spatiale des températures opposant le littoral à l'intérieur et enfin le 3^e axe illustre une dichotomie thermique entre l'Est et l'Ouest du parcours suivi.

2.1. F1 : l'aspect moyen

Le premier axe factoriel réunit 37% de la variabilité spatiale et temporelle des températures relevées. Les 46 variables (jours) sont fortement corrélées positivement entre elles ainsi qu'avec cet axe (il s'agit d'un facteur taille, caractéristique fréquente sur la première composante). Par calcul, et puisque la matrice initiale ne regroupe qu'une seule unité de mesure (des degrés Celsius), les scores des observations pour F1 sont proportionnels à la moyenne des températures en chaque point de l'itinéraire sur les 46 jours. Il s'agit donc de la configuration spatiale la plus récurrente (haut de la figure 2).

Globalement l'amplitude thermique est de 4°C sur les 50 km parcourus, avec tout juste plus de 24°C à l'extrême Est de la boucle (point le plus élevé en altitude également), et plus de 28°C sur le versant sud-ouest de la colline de Cimiez. Trois facteurs donnent l'impression de régir la variabilité spatiale thermique moyenne. Premièrement les versants exposés à l'ouest ressortent plus chaud que ceux dont l'orientation est autre. Etant donné les heures de relevés (14h30 à 16h), cette constatation s'explique par l'absorption au sol de l'énergie solaire et son impact sur la chaleur sensible, et il en aurait été autrement si les enregistrements

avaient été fait en cours de matinée par exemple. Deuxièmement le littoral est plus frais que le reste des espaces sondés (25,5 à 26°C) ; en cours d'après-midi la brise de mer limite la hausse de la température sur la bande côtière alors que l'intérieur ne bénéficie rapidement plus de cet apparent climatiseur naturel (apparent car l'humidité advectée en même temps n'améliore en rien le confort thermique). Enfin la notion d'encaissement régit également en partie les champs thermiques : les espaces fortement encaissés, topographiquement ou artificiellement à cause de l'urbanisation, accumulent bien plus la chaleur à cause de la présence de nombreuses surfaces absorbantes et/ou réfléchissantes de l'énergie solaire.

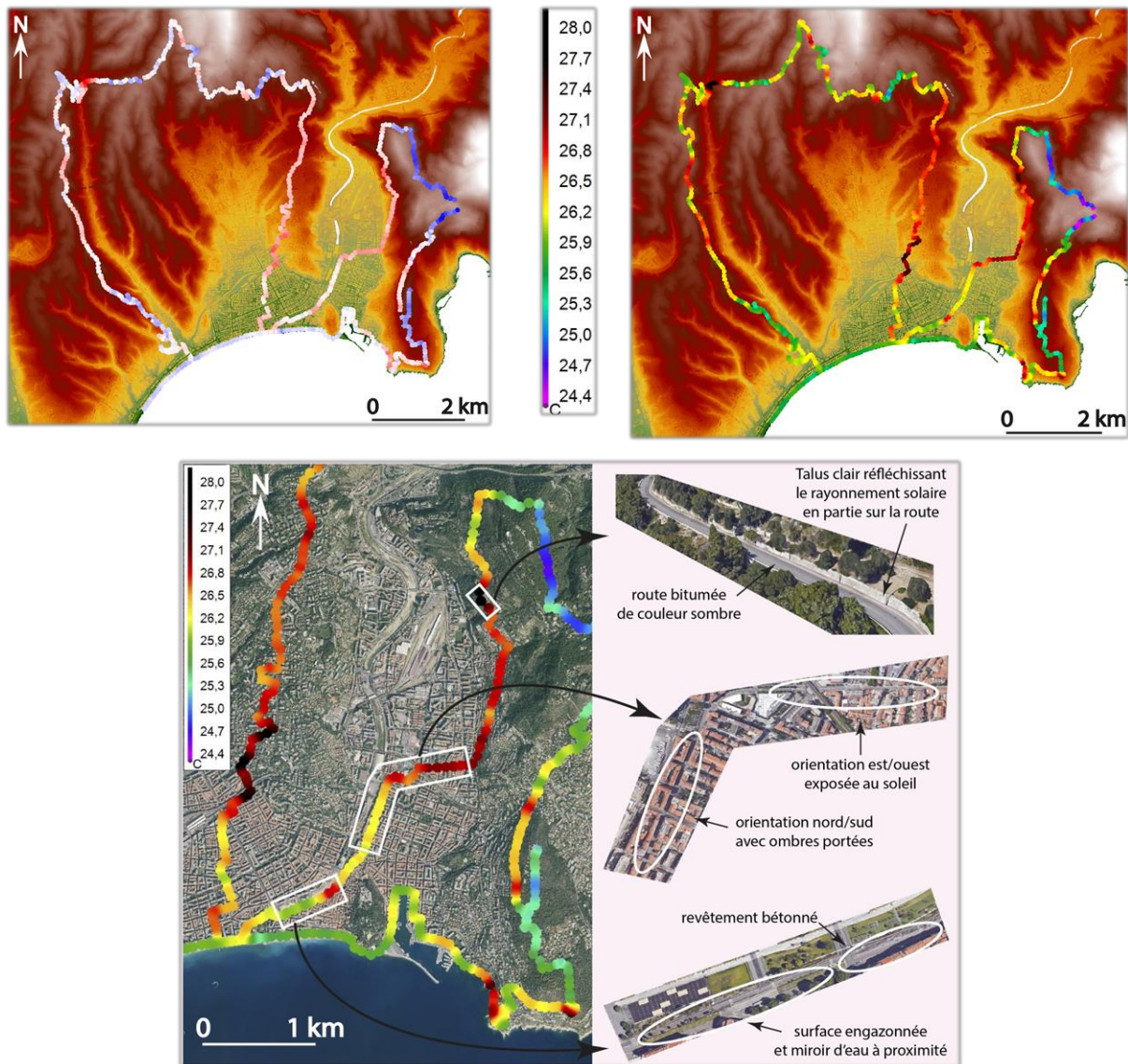


Figure 2. En haut à gauche cartographie des scores des observations sur la 1^{ère} composante principale de l'ACP sur les 46 jours de mesures de températures entre mai et septembre 2015 à Nice (en rouge scores nettement positifs et en bleu scores nettement négatifs, proches de 0 en blanc). En haut à droite configuration moyenne des températures associées à cette 1^{ère} composante. En bas illustration de l'influence de l'environnement immédiat sur les températures moyennes mesurées durant les 46 jours.

Par ailleurs l'occupation du sol influence aussi les températures : le passage d'un sol artificialisé, et plutôt à fort albédo (gris clair), à une surface engazonnée fait chuter la température en moyenne d'1°C sur les 46 jours de mesures (bas de la figure 2, Briche et al., 2016). Le choix des aménagements urbains a donc un impact thermique palpable.

2.2. F2 : l'opposition littoral / intérieur

Le deuxième axe factoriel résume 18,5% de la variabilité interne de la base de données. Moins de journées sont fortement corrélées avec cet axe F2 : les 18 août et 31 mai obtiennent un coefficient de corrélation (r) d'environ -0.75 tandis que le 8 août et les 4 et 6 juin ont un r de 0,78 à 0,7. Les scores des observations indiquent clairement une configuration spatiale opposant le littoral et l'intérieur des terres (figure 3). Pour preuve la corrélation calculée entre ces scores et la distance à la mer s'élève à 0,86 et à 0,85 avec le modèle numérique d'élévation.

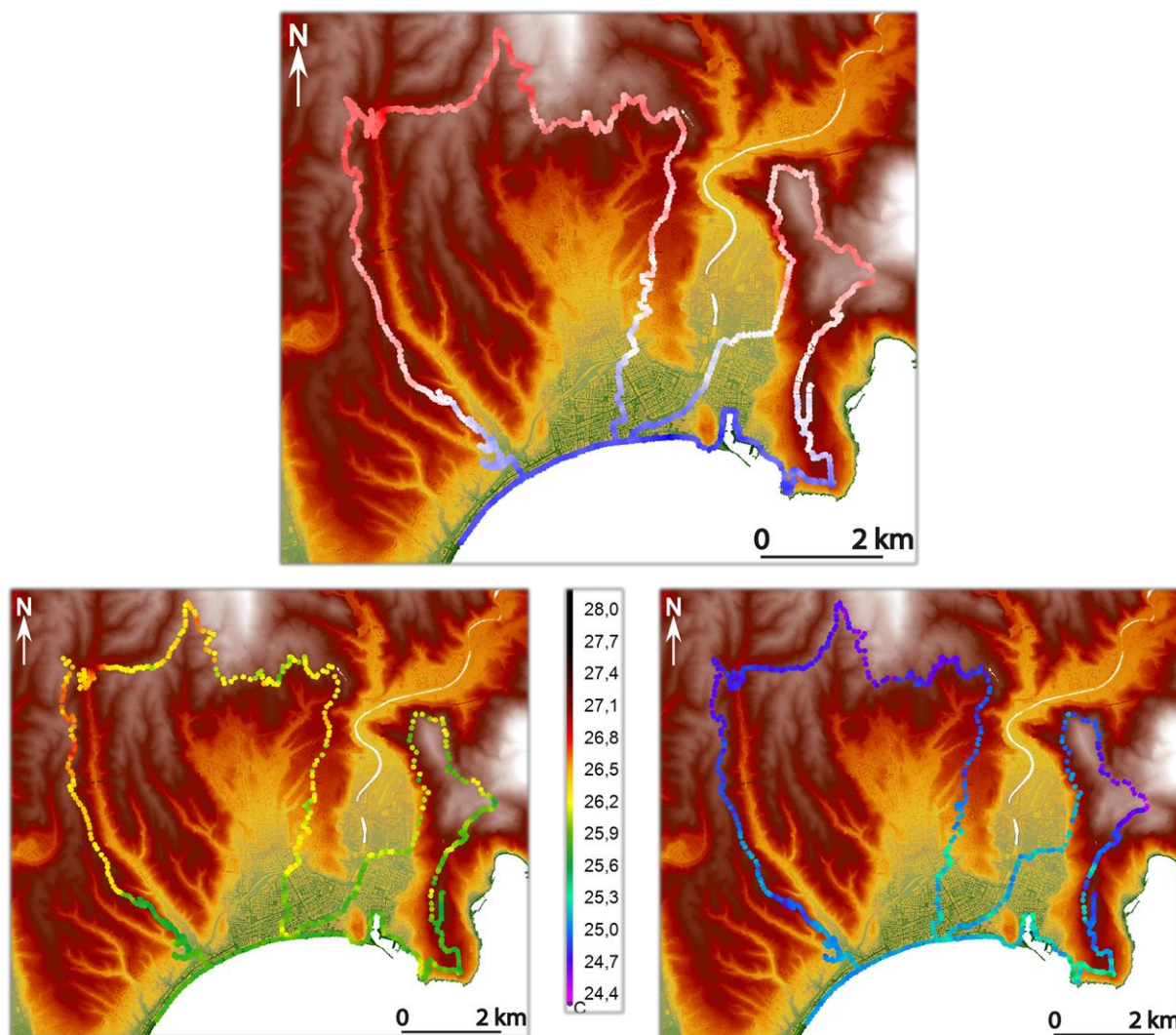


Figure 3. En haut cartographie des scores des observations sur la 2^e composante principale de l'ACP sur les 46 jours de mesures de températures entre mai et septembre 2015 à Nice (en rouge scores nettement positifs et en bleu scores nettement négatifs, proches de 0 en blanc). En bas cartographie des températures mesurées le 4 juin 2015 (à gauche) et le 31 mai 2015 (à droite).

Cette configuration spatiale du champ thermique suggère probablement des épaisseurs de couche limite atmosphérique différentes au-dessus de la mer Méditerranée et au-dessus du continent. Il y a classiquement toujours un écart pour ce paramètre météorologique entre ces deux espaces puisque la convection thermique est bien plus marquée en journée sur le continent, cependant cet écart est plus ou moins intense. Or ces journées marquées par des températures littorales bien plus basses que dans l'intérieur sont caractérisées par des hauteurs de couche limite au-dessus de la mer de l'ordre de 300 à 400 m selon les réanalyses ERA-Interim (Dee et al., 2011), alors qu'à l'inverse ces valeurs peuvent atteindre 900 à 1000 m les

jours où cette configuration thermique est inversée ou annulée. La vitesse du vent et la température de la mer ont aussi une part de responsabilité : la brise de mer est plus forte en fin de printemps et début d'été que par la suite ; alors même que la température de surface de la mer augmente et que la vitesse de la brise diminue, les températures littorales augmentent proportionnellement plus que les températures intérieures. Il faut donc s'attendre statistiquement à observer des températures littorales bien plus fraîches que dans l'intérieur plus fréquemment en mai et juin que par la suite.

2.3.F3 : dichotomie Est / Ouest

Le troisième axe factoriel résume 5,3% de la variabilité interne de la base de données. L'information contenue par cet axe est relative à un faible nombre de jours. La cartographie des scores des observations indique des différences notables entre l'est et l'ouest du parcours. Seuls les 22 et 23 mai puis les 8 et 16 juin obtiennent des corrélations moyennement élevées comprises entre 0,42 et 0,6. Cette configuration spatiale est moins aisée à interpréter, les températures sont plus faibles dans la moitié nord-est ; il semblerait que cela soit dû à la présence d'une couverture nuageuse d'altitude, cirrocumulus d'enclume de cumulonimbus, induite par des développements orageux dans l'est des Alpes-Maritimes. Ainsi la partie du parcours plus à l'ombre est plus fraîche que le reste du territoire sondé.

Conclusion

Ces mesures de températures à vélo à très fine échelle dans un espace urbain littoral et accidenté topographiquement montrent la grande variabilité de ce paramètre météorologique, et ce même sur de très faibles distances. Or cette variable revêt une importance centrale dans la notion de confort thermique un fois combinée à l'humidité. Ainsi ces campagnes de terrain permettent de (re)préciser quelques règles de bon sens pour prémunir notre santé face aux excès thermiques estivaux : l'exposition ouest est à éviter car contrairement à l'exposition sud elle ne bénéficie pas de grands angles d'incidence solaires dès le milieu d'après-midi, et le rayonnement pénètre beaucoup dans les habitations (critère recherché l'hiver seulement, et cette fois-ci les expositions sud bénéficient de cet apport radiatif). De plus les espaces mal ventilés car encaissés et/ou loin du littoral connaissent plus de paroxysmes thermiques estivaux. Il est intrigant scientifiquement de constater qu'un grand secteur économique comme l'immobilier ne se préoccupe quasiment pas de ces aspects climatiques naturels en privilégiant encore largement les biens exposés plutôt à l'ouest que ceux exposés à l'est, à grand renfort de climatiseurs énergivores, notamment autour de la Méditerranée.

Bibliographie

- Besancenot J-P., 2002. Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines. *Environnement, Risques et Santé*, **1**, 229-40.
- Briche E., Martin N. et Dahech, S. (2016). Observation systems and urban climate modelling. In *The Mediterranean Region under Climate Change: a scientific Update*, 445-453.
- Carrega P., 1994 : *Topoclimatologie et habitat*. Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée, Revue de Géographie du la boratoire d'analyse spatiale Raoul Blanchard, 408 pages.
- Dee, D. P. et al., 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quaternary Journal of the Royal Meteorological Society*, **137**, 553–597.
- Kastendeuch P. et Najjar G., 2015. Une simulation des interactions ville-atmosphère à différentes échelles : application à Strasbourg. *Climatologie*, **12**, 44-64.