

Climat urbain

Les principales caractéristiques des climats urbains sont rappelées, en insistant sur les aspects méditerranéens, et sur la confusion fréquente sur les niveaux d'îlots de chaleur urbains (ICU), ainsi que sur les différents modes de mesure. Le futur et les adaptations au réchauffement sont évoqués.

Main features of urban climates are reminded, particularly concerning mediterranean aspects, insisting on frequent confusion of urban heat island (UHI) height levels and on technical aspects of measurements. Future periods and adaptation to warming are evocated.

## Les climats urbains et le changement climatique

**Pierre Carrega**

Université de Nice-Sophia Antipolis (France) Faculté des Sciences - UMR  
ESPACE  
carrega@unice.fr

Note de l'éditeur : l'article proposé par Pierre Carrega reprend sous forme condensée les points essentiels de son exposé présenté en introduction de la Table ronde sur le thème « Villes méditerranéennes et changement climatique » qu'il animait avec Elodie Briche.

Ce chapitre est paru dans :  
Briche E., Cantat O., Carrega P. (2017). Variabilité, changement climatique et conséquences en Méditerranée. Les Impromptus du LPED, n°3, Laboratoire Population-Environnement-Développement, UMR 151 (AMU – IRD), Marseille, 161 p.

Futur

Villes méditerranéennes et  
changement climatique

## Introduction

On constate à l'évidence depuis quelques années un actuel renouveau d'intérêt pour le climat urbain, pour plusieurs raisons :

L'évolution mondiale du rapport population urbaine / population rurale est rapide : entre 1960 et 2015, la proportion de citadins est passée de 33,6% à 53,9% (site Banque Mondiale, 2016), or l'écart entre les conditions de vie en ville par rapport à celles de la campagne s'accroît, d'autant plus que la taille des agglomérations augmente.

La prise de conscience que le climat urbain s'impose par la notion de confort, mais aussi de contrainte, comme l'ont montré notamment les travaux de l'Institut de veille sanitaire sur le rôle de l'îlot de chaleur urbain dans la surmortalité observée durant les vagues de chaleur (site InVS). La plus forte certitude concernant le changement climatique, la hausse des températures, impose une réflexion et des mesures en particulier dans les domaines énergétique et hydrique sur l'environnement urbain.

Le climat urbain qui est (difficilement) mesuré en ville à l'extérieur, n'est pas celui de l'intérieur d'un logement, celui que supportent ses habitants... Par exemple, lors de vagues de chaleur, la température d'un appartement continue de monter même si ce n'est plus le cas à l'extérieur.

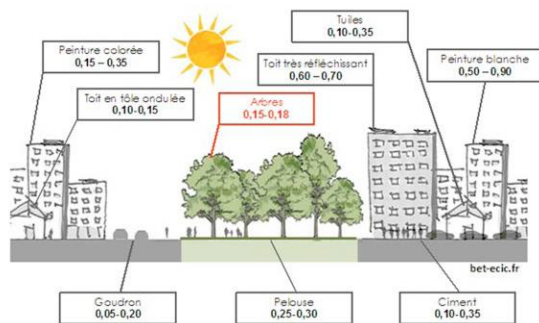


Figure 1. Albédo des matériaux urbains ; Source : ECIC, 2014 (<http://bet-ecic.fr/ladaptation-au-changement-climatique-et-le-phenomene-d-ilot-de-chaleur-urbain-consequences-sur-les-batiments/>).

## I. Rappel : les spécificités du climat urbain

### I.1. Par rapport à la campagne environnante, la ville est :

- plus chaude, surtout à partir de l'après midi et surtout la nuit ;
- moins humide (faible évapotranspiration réelle, ETR), avec des « sols » à surface sèche dès que la pluie a cessé ;
- moins ventilée (sauf Venturi locaux) ;
- soumise à de multiples réflexions radiatives.

### I.2. Causes :

Elles résident d'abord dans l'omniprésence de surfaces minérales et artificialisées qui agissent sur l'albédo (réflexion du rayonnement solaire visible), sur le stockage de chaleur selon la conductivité, la chaleur spécifique des matériaux. Le refroidissement est amoindri par la réduction de la consommation de chaleur latente (par l'ETR) du fait de la faiblesse des surfaces végétalisées, et du manque d'eau estival en Méditerranée (figures 1 et 2).

La ville est aussi concernée par des émissions de chaleur anthropique provenant de sources diverses : chauffage domestique, activités industrielles, véhicules en circulation...). Les écoulements d'air sont perturbés par l'accroissement de la rugosité de



Figure 2. Variation des températures de surface suivant les matériaux et leurs couleurs : près de 12°C d'écart entre les deux couleurs d'enrobés ... Source : ECIC 2014 (<http://bet-ecic.fr/ladaptation-au-changement-climatique-et-le-phenomene-d-ilot-de-chaleur-urbain-consequences-sur-les-batiments/>).

surface, et plus généralement, la géométrie tridimensionnelle accentuée des villes modifie les phénomènes de rayonnement et d'écoulement d'air (obstacle ou canalisation, ombre ou exposition, etc). Enfin paradoxalement si, comme on l'a vu plus haut, la ville reçoit de la chaleur anthropique, les particules micrométriques qu'elle émet (chauffages, transports en particulier) contribuent à « éteindre » le rayonnement solaire.

Il en résulte la notion d'îlot de Chaleur Urbain (ICU), très complexe dans le détail, avec des nuances temporelles et spatiales.

### I.3. L'ICU : attention aux multiples approches et aux confusions !

Très souvent le terme d'ICU est utilisé avec un sens différent, car il est appliqué à des niveaux surfaciques divers. On mesure en effet différents îlots de chaleur, selon leur niveau : La surface du sol (solide ou liquide) dont les températures de surface sont déduites à partir du rayonnement infra-rouge (IR) émis par la surface et mesuré par un radiomètre,

modulé par un coefficient d'émissivité. L'instrumentation varie depuis le « pistolet » IR jusqu'aux mesures satellitaires diverses, en passant par les radiomètres IR embarqués à faible altitude sur des drones, ballons, hélicoptères, avions...

L'air à 2 m au-dessus du sol peut-être considéré comme l'élément le plus mesuré (malgré les difficultés) et le plus riche en information puisqu'il concerne le milieu dans lequel évoluent les êtres humains dans la rue. La mesure peut être fixe (stations météorologiques permanentes ou provisoires) ; ou itinérante (à pied, à vélo, en véhicules automobiles...).

Enfin l'air au-dessus de la ville est plus ou moins affecté par la chaleur urbaine et la turbulence liée aux écoulements perturbés par l'irrégularité des surfaces des toits. Pour détecter température et mouvements, on peut avoir recours à divers instruments comme les ballons équilibrés (Constant Level Balloon) pour un niveau donné de pression de l'air (donc d'altitude) suivi aux théodolite et télémètre une fois lâchés ; les ballons captifs mesurant température et humidité ; les ballons de radiosondages.

## II. Les spécificités «du» climat urbain méditerranéen

### II.1. Caractéristiques générales.

Les villes méditerranéennes bénéficient d'une prédominance des ciels clairs (63% de fraction d'insolation annuelle à Marseille) et (sauf cas particulier) des calmes synoptiques (en marge des flux perturbés zonaux) ce qui accentue les phénomènes radiatifs, conditions favorables à l'expression des facteurs géographiques locaux sur le climat (topographie, occupation du sol, présence d'une ville). Les contrastes terre / mer, et montagnes / vallées génèrent des différences de températures, donc de pression de l'air, qui déclenchent des écoulements compensatoires : les littoraux et les pentes sont sous le règne des brises thermiques dominantes (figure 3). Ces brises sont en général peu rapides (quelques mètres/seconde) et apportent une faible ventilation qui disperse mal la pollution

atmosphérique. Cette dernière est recyclée avec les alternances de vents de direction opposée (changements en matinée et le soir), mais la brise de mer a l'avantage d'être un apport frais sur le littoral, le jour, en été. Les contrastes ville-campagnes sont généralement moins forts de jour par rapport aux milieux non méditerranéens, car il y a souvent peu de végétation autour des villes, transpirant peu (voir plus haut), et roches ainsi que sols nus abondent, d'où des contrastes atténués. L'architecture, ancienne et moderne, emploie des matériaux clairs, les immeubles anciens sont hauts et étroits, ce qui favorise le drainage d'air chaud vers le haut, tandis que les rues étroites sont une bonne partie de la journée à l'abri du rayonnement solaire (fraîcheur estivale des vieilles villes). Enfin la rareté de l'eau (l'été étant une saison



Figure 3. Les villes méditerranéennes entre littoral et montagne : l'exemple de Nice. Rôle écrasant de la topographie, et variations spatiales du vent (ici brise de mer). Image Google.

sèche) est la règle, et doit être prise en compte, y compris pour les « coulées vertes » qui, au pire ne sont pas concevables durablement, et au mieux, ont un coût non négligeable. Ainsi, les villes méditerranéennes sont soumises à une forte vulnérabilité, par leurs fortes densités de population souvent en bord de mer, par les crues flash et urbaines qui les menacent et inversement, par le manque d'eau estival.

### II.2. Masse de la ville et effets de paroi : les échelles

Les ICU varient dans l'espace et le temps : ils sont plus prononcés par temps radiatif (sans nuages) et sans vent (figure 4).

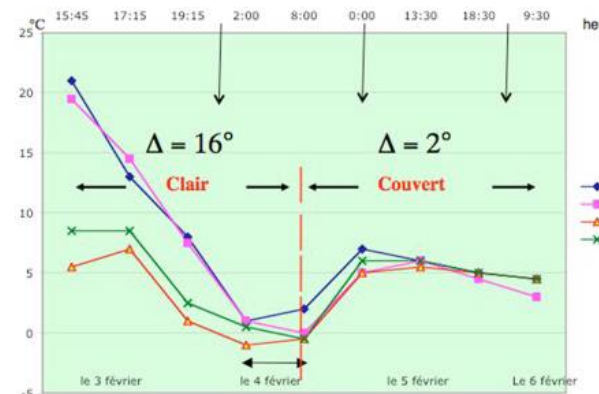
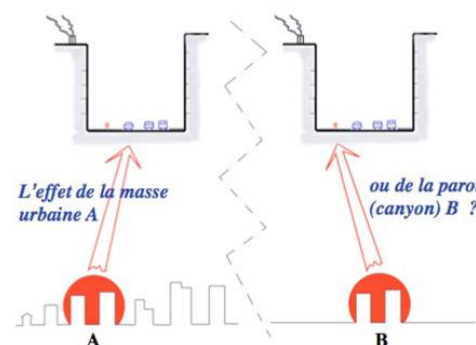


Figure 4. Températures de la surface des murs extérieurs d'une maison selon leur orientation et la nébulosité, du 3 au 6 février 2005 près de Nice.



Les écarts thermiques au sein d'une ville sont innombrables, et leurs origines multiples mélangent les échelles : **fait-il plus chaud dans une rue à cause de la masse urbaine prise dans son intégralité ou bien est-ce lié aux effets très locaux de parois du canyon** (auquel cas un village-rue aurait les mêmes effets), ou les deux (figure 5) ?

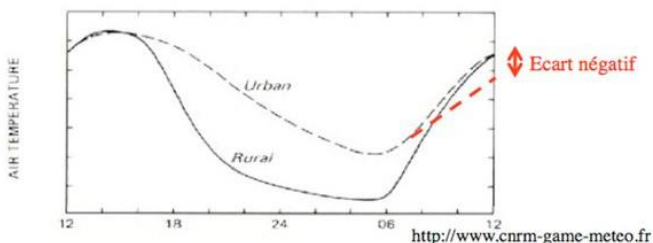
Figure 5. De la ville au quartier et à la maison : encore les échelles ...



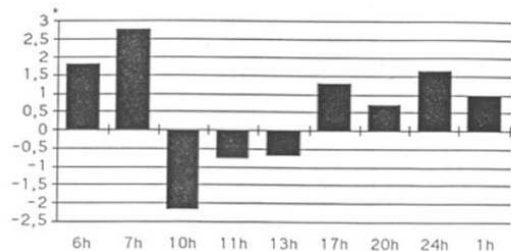
### II.3. Les variations temporelles de l'ICU, qui est souvent négatif en matinée

Les ICU peuvent être clairement négatifs, et donc se convertir en îlots de fraîcheur (figure 6).

**Figure 6.** Îlot de chaleur et îlot de fraîcheur urbain (adapté d'après <http://www.cnrm-game-meteo.fr/spip.php?article197>)



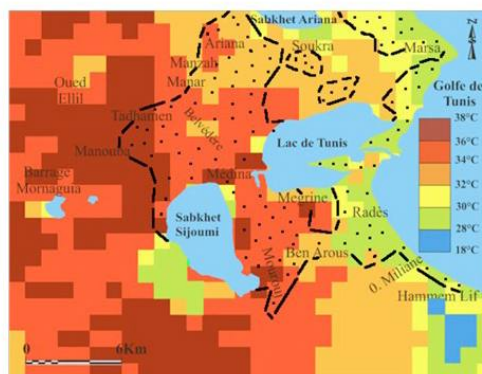
Surtout en région méditerranéenne, le comportement thermique des campagnes souvent pierreuses, et arides l'été, n'est pas éloigné de celui de la ville. Cette dernière se réchauffe plus lentement le matin avec l'ombre des bâtiments. En figure 7, on distingue un déficit de température à Nice-centre dépassant en moyenne 2° vers 10 h du matin au printemps et en été.



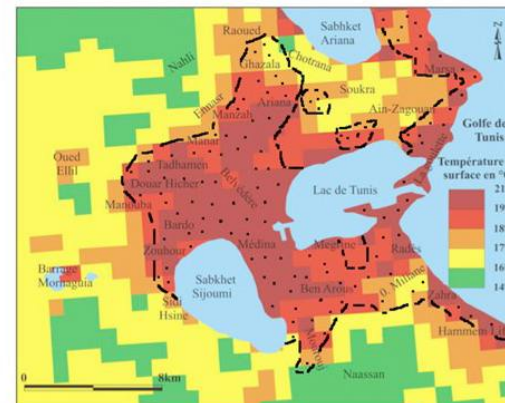
**Figure 7.** Ecart mesuré de température entre centre-ville de Nice et station rurale (moyenne 80 relevés) entre janvier et juin. Source : Carrega, 1992.

L'ICU considéré en **surface**, est peu visible, voire absent même dans une ville surchauffée en été comme Tunis, durant le jour : la campagne environnante est par endroits nettement plus chaude en surface, que la ville (figure 8) :

**Figure 8.** Champ thermique de surface diurne dans l'agglomération de Tunis par temps radiatif à partir d'une scène NOAA-AVHRR datée du 16/05/2005 à 13h TU. En pointillés : limites de la forte urbanisation. D'après Charfi, 2012 modifié.

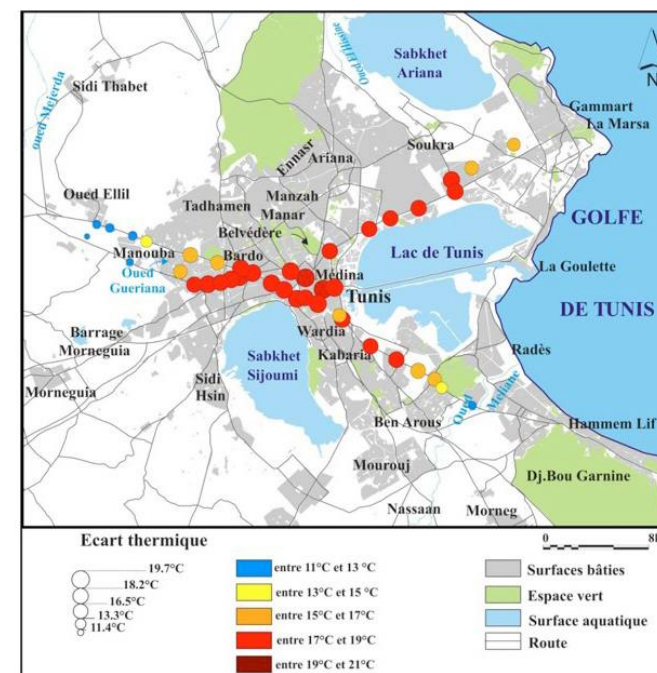


Par contre on constate un fort ICU de **surface** la nuit à Tunis (figure 9) :



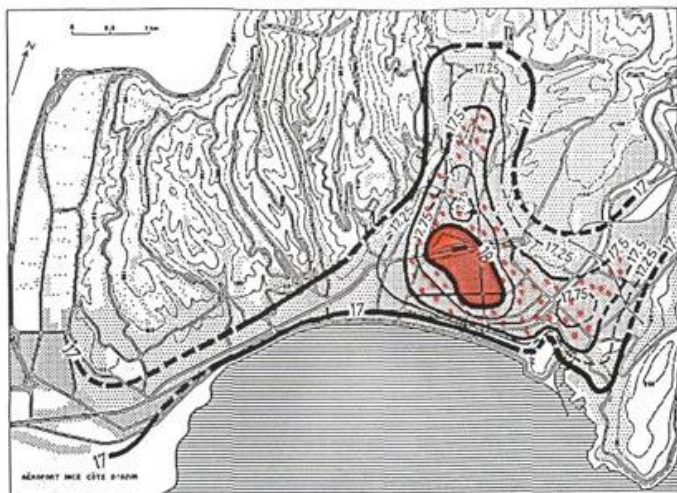
**Figure 9.** Champ thermique de surface nocturne dans l'agglomération de Tunis par temps radiatif à partir d'une scène NOAA-AVHRR datée du 04/06/2001 à 1h26 TU. En pointillés : limites de la forte urbanisation. D'après Charfi, 2012 modifié.

Toujours la nuit, l'ICU est marqué dans l'**air à 2m/sol** à Tunis (figure 10) :

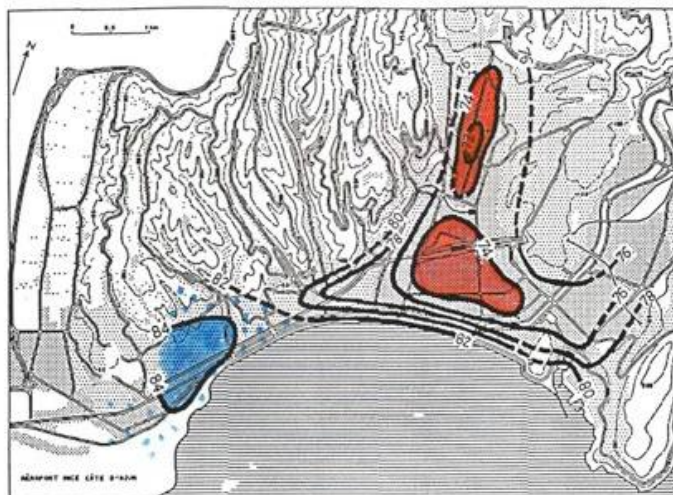


**Figure 10.** Spatialisation de la température de l'air à Tunis le 31/5/2007 à 1h55mn TU par mesures itinérantes.

L'ICU dans l'air à 2m/sol ne s'observe que le soir à Nice (figure 11) :



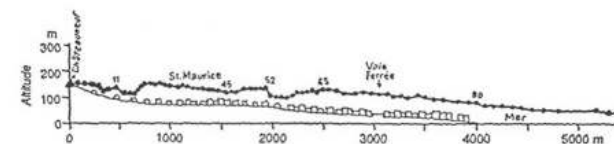
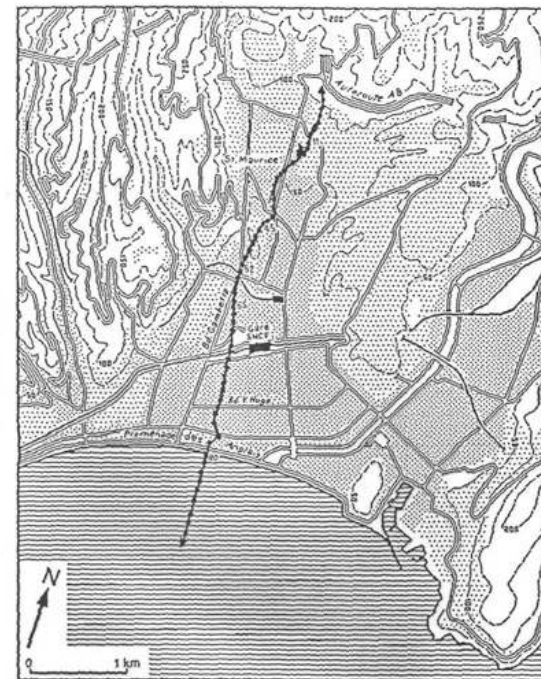
Moyenne des températures (°C) à 20h00, du 28 avril au 11 mai 1986.



Moyenne des humidités relatives (%) à 20h00, du 28 avril au 11 mai 1986.

**Figure 11.** L'îlot de chaleur urbain niçois en début de soirée au printemps, mais aussi îlot de sécheresse (faible humidité relative). (Moyennes de 24 points de mesures instantanées sur 14 jours consécutifs).

A troisième niveau de mesure, au-dessus des toits de la ville, on note l'absence d'ICU à Nice (figure 12) :



Trajectoire de C.L.B. du 3 août 1985 (6h55) à Nice.

**Figure 12.** Parcours d'un ballon équilibré (à niveau de pression constant) au-dessus de Nice, par brise de terre résiduelle en tout début de journée, l'été.

Les forces en présence sont inégales : la chaleur dégagée par la ville est laminée par l'écoulement relativement froid attaché à la brise de terre : le vent lié au contraste terre-mer et au relief est assez puissant pour empêcher toute constitution de dôme chaud au-dessus de la ville, d'où le tracé rectiligne en plan et en profil du ballon lâché depuis les collines du nord de la ville.



## II.4. Les variations spatiales à fine échelle de la pollution atmosphérique.

La topographie, la plus ou moins forte urbanisation et le trafic routier (destructeur de l'ozone par le monoxyde d'azote) combinent leurs effets pour produire une forte hétérogénéité de la concentration d'ozone dans l'air urbain et péri-urbain.

On note ainsi les fortes concentrations au bord de mer et secondairement sur les collines. Le centre ville à fort trafic, ainsi que les alentours du port (gaz des bateaux) sont moins affectés par l'ozone.

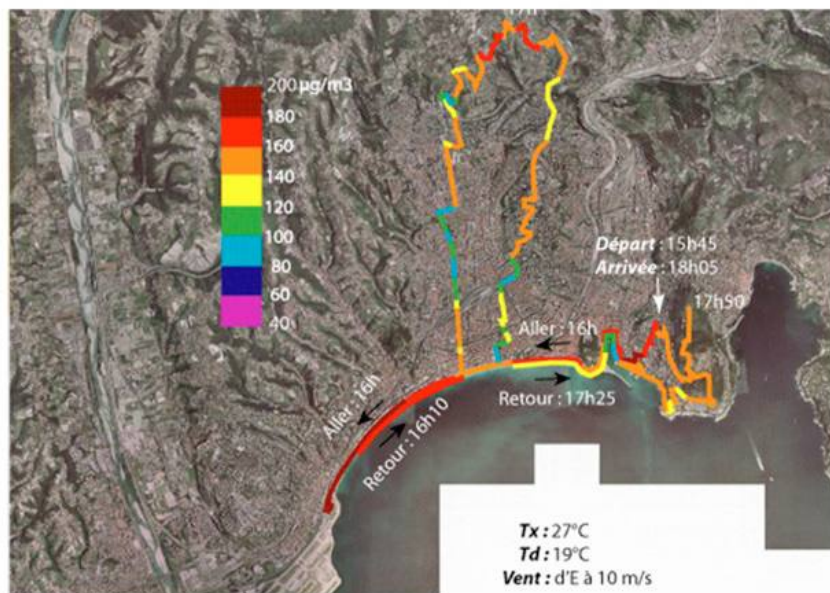


Figure 13. L'ozone : en mer et sur les collines hors secteurs fortement urbanisés. Mesures itinérantes à vélo le 13 septembre 2006. Nicolas Martin, 2008.

## Conclusion

Les climats urbains résultent de la superposition au climat local d'une sorte de greffon anthropisé, caractérisé par le minéral, une géométrie propre, un rythme de vie particulier, dont l'effet le plus tangible est l'ICU. En topographie complexe ou en milieu contrasté (littoral), l'IC n'est pas seulement urbain mais aussi topoclimatique (littoral chaud l'hiver, et frais l'été en Méditerranée). L'ICU doit toujours être évoqué avec précision quant à son niveau : surface, air dans la ville, air au-dessus des toits ? milieux dont l'approche s'effectue à l'aide de techniques très différentes.

Il en résulte des caractéristiques fortes du climat urbain, comme la difficulté de trouver des sites corrects de mesures en ville, ce qui oblige à être moins exigeant quant aux protocoles et aux conditions de mesure par rapport à l'environnement rural. On insistera sur l'ambiguïté du terme d'ICU : est-il lié à la masse de la ville ou s'agit-il d'un effet de paroi

? Évidemment les deux...

L'inertie thermique urbaine (décalages temporels des températures minimales et maximales) et la plus faible amplitude thermique en ville sont des constantes. A un îlot de fraîcheur en matinée, surtout l'été succède un îlot de chaleur en fin d'après-midi et la nuit, avec une intensité dépendant à la fois du phénomène urbain et du contexte topographique : IC « U » plus fort en hiver à Nice encadré par les advections froides de la brise de montagne, et en bordure d'une mer relativement chaude.

L'air de la ville a une humidité relative nettement moins importante que celui de la campagne surtout en été, l'après-midi, et le vent est dans l'ensemble plus faible en ville (rugosité).

Insistons enfin sur l'intérêt de modéliser à fine échelle (à partir de mesures ou de modèles physiques) !

### Pour le futur : atouts et handicaps dans le monde méditerranéen...

Atouts	Handicaps
Beaucoup de surfaces blanches	Peu d'espaces verts
	Environnement sec l'été
Axes de pénétration de la brise	Approvisionnement en eau
Brise de terre nocturne si relief	Conception des immeubles peu axée sur la gestion de la chaleur (sauf vieux quartiers)
Bon approvisionnement en eau pour les villes proches de reliefs comme Nice	Tension de vapeur d'eau en hausse (pénibilité)

### Pour s'adapter, JOUER sur :

- comportements-apprentissage : ne pas ouvrir fenêtres durablement l'été pour « faire entrer de l'air » mais brasser (ventilateur), etc.
- maisons/immeubles : isolation, conception (évacuation air chaud par « cheminée »),
- quartiers : dessin, orientation axes de circulation brise,
- espaces verts : fraîcheur par l'ombre et la chaleur latente d'évaporation. Accroître densité arbres feuillus (si eau disponible !).

**Banque Mondiale, 2015** : <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.RUR.TOTL.ZS>

**CARREGA P., 1992** : *Topoclimatologie et habitat*. Thèse Doctorat d'Etat, ronéo, Nice, 475 p. + annexes. Publiée en 1994 dans la Revue d'Analyse Spatiale, Nice, 35, et 36. 408 p.

**CARREGA P., 2014** : Le climat urbain de Nice en milieu géographique contrasté : synthèse par approche inductive. *Climatologie*, 10, 9-36.

**CHARFI S., 2012** : *Le comportement spatio-temporel de la température dans l'agglomération de Tunis*. Thèse de doctorat. 310p., Tunis et Nice.

**CNRM UMR 3589** : Ilot de chaleur urbain (<http://www.cnrm-game-meteo.fr/spip.php?article197>)

**ECIC, 2014** : L'adaptation au changement climatique et le phénomène d'îlot de chaleur urbain : conséquences sur les bâtiments. Ecic, 25 mars 2014. Adaptation au Changement Climatique, Environnement. <http://bet-ecic.fr/ladaptation-au-changement-climatique-et-le-phenomene-dilot-de-chaleur-urbain-consequences-sur-les-batiments/>

**InVS** : <http://www.invs.sante.fr/Dossiers-thematiques/Environnement-et-sante/Climat-et-sante/Chaleur-et-sante/Publications>

**MARTIN N., 2008** : La pollution par l'ozone, et la climatologie dans un espace méditerranéen : les Alpes-Maritimes. Thèse de doctorat. 279 p., Nice.