

Introduction à la météorologie urbaine

Etude des processus urbains - Ilot de chaleur urbain

Tim NAGEL

DESR/CNRM/GMME/VILLE

D'après un cours de Aude Lemonsu et Cécile de Munck

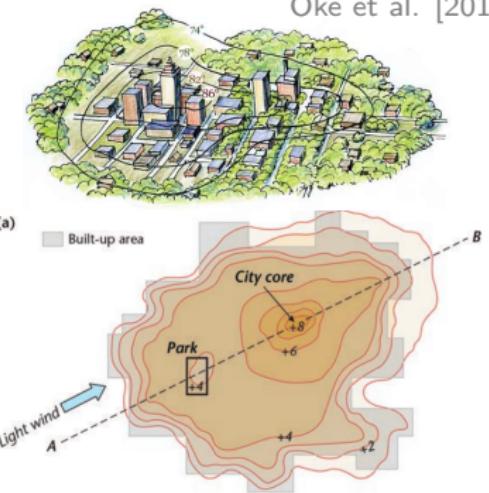


Ilot de chaleur urbain - définition

îlot de chaleur urbain

- L'îlot de chaleur urbain (ICU) traduit une anomalie positive de température qui s'établie entre la ville et la campagne.
- C'est l'exemple le plus évident et le plus perceptible pour les gens de modification du climat local par les villes
- Il a été mesuré pour la première fois en 1818 sur la ville de Londres par le scientifique Luke Howard.

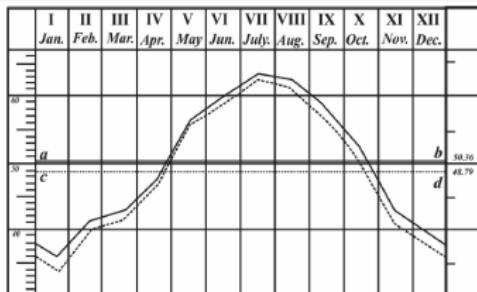
Oke et al. [2017]



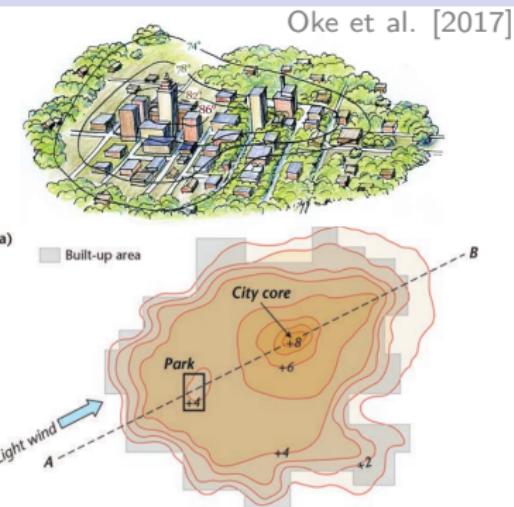
Îlot de chaleur urbain - définition

Îlot de chaleur urbain

- L'îlot de chaleur urbain (ICU) traduit une anomalie positive de température qui s'établie entre la ville et la campagne.
- C'est l'exemple le plus évident et le plus perceptible pour les gens de modification du climat local par les villes
- Il a été mesuré pour la première fois en 1818 sur la ville de Londres par le scientifique Luke Howard.



Comparaison des moyennes mensuelles de température pour Londres et la campagne

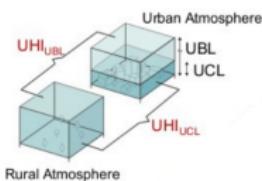
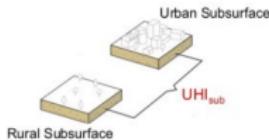


« The Mean Temperature of the Climate [...] is strictly about 48.50° Fahr.: but in the denser parts of the metropolis, the heat is raised, by the effect of the population and fires, to 50.50°; and it must be proportionately affected in the sub-urban parts. »

Luke Howard, The Climate of London, 1818

Ilot de chaleur urbain - types d'ICU

On distingue plusieurs types d'ICU :



- 1) **ICU souterrain** = différence entre les températures du sous-sol dans les zones urbaines et naturelles
- 2) **ICU de surface** = différence entre les température de surface des zones urbaines et naturelles
-> Quantifié par télédétection (imagerie satellitaire, aéroportée)
- 3) **ICU de couche de canopée urbaine** = différence entre les température de l'air proche de la surface
-> Quantifié par des stations météorologiques standards
-> Traduit l'impact sur les populations (au niveau du piéton)
- 4) **ICU de couche limite** = différence entre les températures de l'air au-dessus de la couche de canopée urbaine
-> Traduit l'impact de la ville sur les basses couches de l'atmosphère

ICU - Evolution de la température de surface

LE MÉCANISME D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN



LE JOUR



LA NUIT



L'ICU est gouverné par des différences de taux de refroidissement et de réchauffement des surfaces entre ville et campagne et donc par la **modification du bilan d'énergie de surface**.

MÉTÉO FRANCE

ICU - Evolution de la température de surface

L'ICU est gouverné par des différences de taux de refroidissement et de réchauffement des surfaces entre ville et campagne et donc par **la modification du bilan d'énergie de surface**.

L'évolution de la température de surface d'un matériau dépend de la combinaison de son bilan radiatif, de la conduction de chaleur, et des échanges turbulents :

$$C \frac{\partial T_0}{\partial t} z = Q^* - Q_H - Q_E - Q_G$$

- T_0 = Température de surface [K]
- z = Epaisseur [m]
- C = Capacité thermique [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$]
- Q_G = Flux de chaleur vers le matériau [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

5 propriétés de surface peuvent fortement modifier l'équation:

- Géométrie: forme urbaine, orientation de rue, pente de toits etc.
- Propriétés radiatives: albédo, émissivité
- Propriétés thermiques: conductivité thermique, capacité thermique
- Propriétés d'humidité: évaporation de l'eau en surface
- Propriétés aérodynamiques: longueur de rugosité dynamique

Illustrer la grande variabilité des températures de surface par rapport à la température de l'air.

De jour, particulièrement.

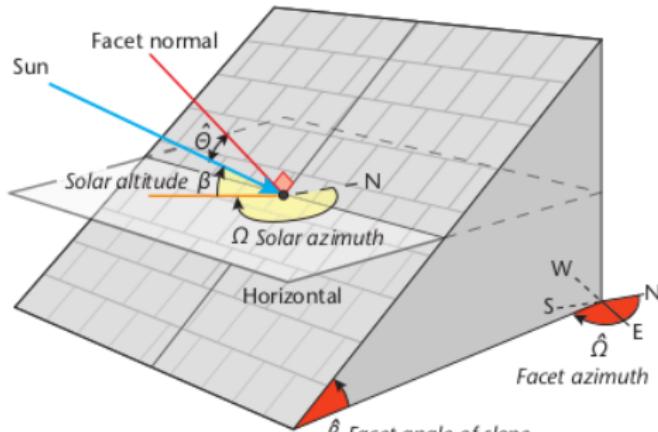
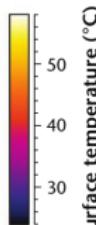
ICU - Evolution de la température de surface

(a) Visible



Oke et al. [2017]

Evolution de la température de surface - Géométrie



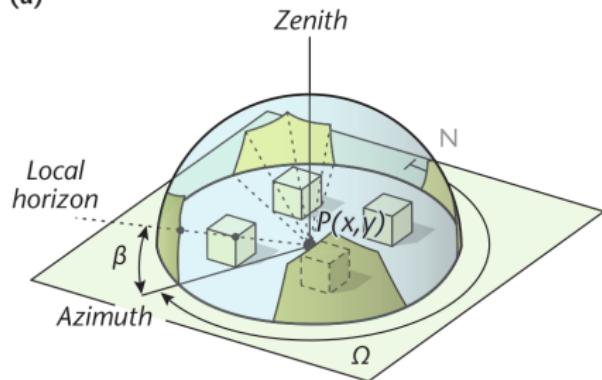
$$C \frac{\partial T_0}{\partial t} z = Q^* - Q_H - Q_E - Q_G$$

- Les propriétés géométriques, y compris l'orientation (angle de pente et azimuth) et le sky-view factor influent fortement sur T_0 .
- De jour, les T_0 les plus élevées se sont trouvées sur les facettes qui maximisent l'irradiance locale (S_{\downarrow}) ; par exemple, des facettes sans ombre bien exposées à de petits angles zénithaux locaux par rapport aux rayons solaire. Notez le contraste de T_0 pour les deux côtés des toits situés du côté droit du canyon.
- Les facettes avec la T_0 la plus basse se trouvent à l'ombre (par exemple le murs orientés sud-ouest au premier plan) ou sur des pentes où l'angle zénithal solaire local est grand.

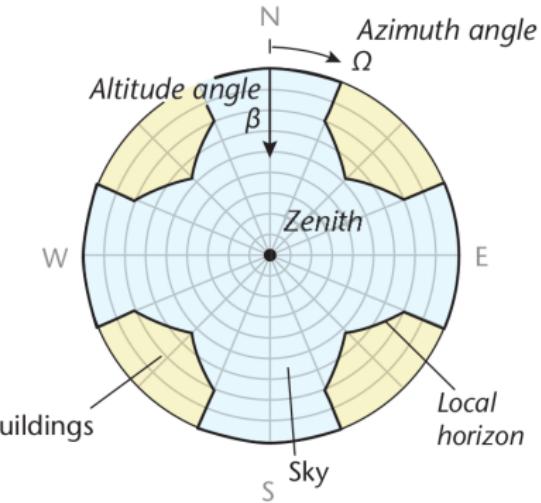
Oke et al. [2017]

Sky-view factor

(a)



(b)



Le facteur de vue du ciel (ψ_{sky}) est une mesure 3D pour un seul point sur une surface. Elle est définie comme la fraction du rayonnement quittant la surface à ce point et atteignant le ciel, l'atmosphère au-dessus de la canopée urbaine (Johnson et Watson, 1984). Sa valeur dépend du position et orientation d'une surface par rapport à l'obstruction du ciel vu depuis la surface.

Sky-view factor

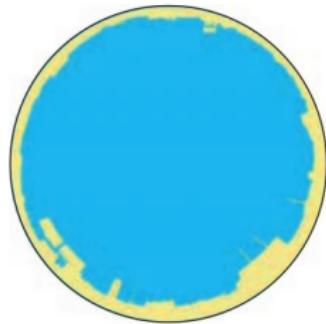
(a) Parking lot



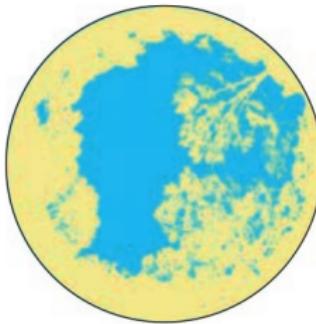
(b) Park



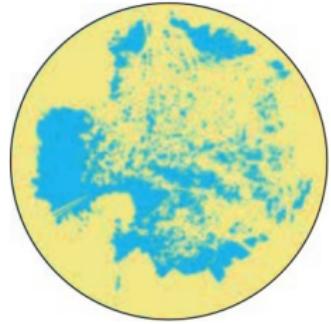
(c) Tree-lined street



$$\psi_{\text{sky}} = 0.97$$



$$\psi_{\text{sky}} = 0.48$$



$$\psi_{\text{sky}} = 0.21$$

Oke et al. [2017]

Sky-view factor

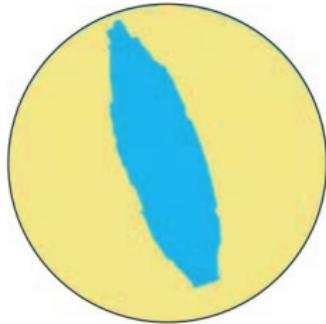
(d) Street canyon



(e) Intersection



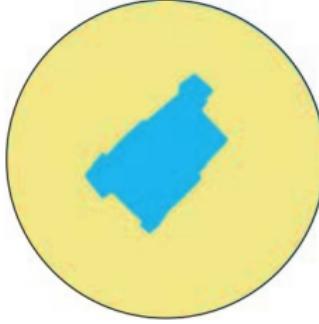
(f) Courtyard



$$\psi_{\text{sky}} = 0.36$$



$$\psi_{\text{sky}} = 0.33$$



$$\psi_{\text{sky}} = 0.27$$

Oke et al. [2017]

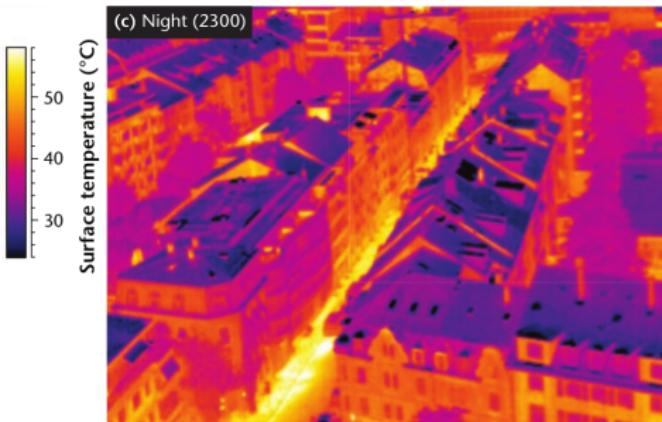
Evolution de la température de surface - Prop. radiatives



$$C \frac{\partial T_0}{\partial t} z = Q^* - Q_H - Q_E - Q_G$$

- Les propriétés radiatives contrôlent la capacité de réflexion du rayonnement solaire incident (albédo; α) et infrarouge, ainsi qu'à émettre un rayonnement à IR (émissivité ; ε).
- Les facettes avec un faible α favorisent l'absorption du rayonnement solaire incident et donc une T_0 plus élevée, alors que celles avec un α élevé réduisent l'absorption et conduisent à une T_0 plus basse.
- Les facettes avec la T_0 la plus basse se trouvent à l'ombre (par exemple le murs orientés sud-ouest au premier plan) ou sur des pentes où l'angle zénithal solaire local est grand.
- Deux facettes de toit avec presque la même pente mais des couleurs différentes sont visibles sur le côté gauche du canyon. Celle avec α le plus bas possède la T_0 la plus élevée. Oke et al. [2017]

Evolution de la température de surface - Prop. thermiques



$$C \frac{\partial T_0}{\partial t} z = Q^* - Q_H - Q_E - Q_G$$

- Les propriétés thermiques d'un matériau, (conductivité (k) et capacité thermique (C)) régissent la capacité à conduire et à diffuser la chaleur vers l'intérieur/l'extérieur du matériau.
- Le jour, la T_0 la plus élevée se trouve pour les facettes constituées de matériaux à faible k et C (c'est-à-dire à faible effusivité thermique μ). Ceux-ci résistent au transfert de chaleur vers l'intérieur du matériau et le concentrent sur une fine couche de surface qui devient très chaude (par exemple les toits).
- La nuit, les toits refroidissent très vite (par rapport au canyon urbain et aux portions asphaltées) car leur stockage de chaleur est limité.

Oke et al. [2017]

Evolution de la température de surface - Humidité

$$C \frac{\partial T_0}{\partial t} z = Q^* - Q_H - Q_E - Q_G$$

- La capacité des sols et des plantes à évaporer et transpirer permet un transfert de vapeur d'eau vers l'atmosphère et génère un mécanisme de perte de chaleur par flux de chaleur latente (Q_E).
- Les T_0 les plus élevées se trouvent généralement sur des facettes sèches (par exemple béton, toitures) qui ne transforme pas beaucoup d'énergie disponible sous forme de chaleur latente.
- Les surfaces ayant accès à de l'eau (sols humides, pelouses, feuilles) ont une T_0 inférieure le jour en raison de l'évaporation et une amplitude thermique journalière inférieure.

Evolution de la température de surface - aérodynamique

$$C \frac{\partial T_0}{\partial t} z = Q^* - Q_H - Q_E - Q_G$$

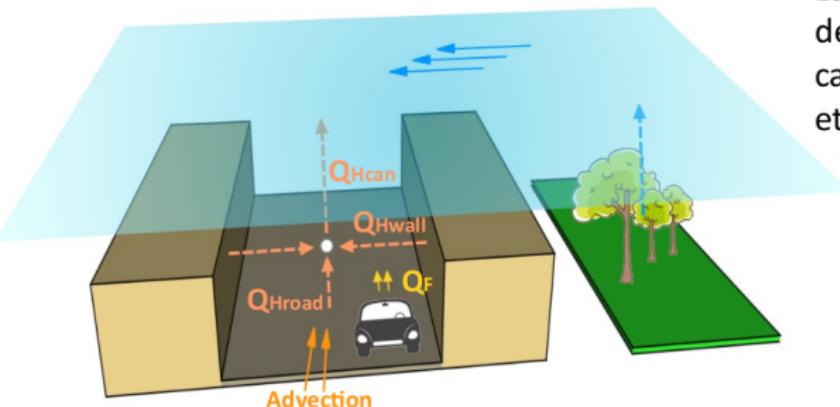
- Les propriétés aérodynamiques, en particulier la longueur de rugosité aéronamique z_0 (cf cours couche limite) et l'abri des fluctuations du vent influencent T_0 .
- Les T_0 les plus élevées se trouvent sur les facettes qui sont lisses, générant peu de turbulences et des facettes abritées du vent car il y a peu d'échange entre l'air et le matériau. Les T_0 les plus faibles sont observées sur des facettes rugueuses (plus de surface d'échange, génération de tourbillons) bien exposées au vent.

Il existe un mélange presque infini de ces 5 propriétés en zone urbaine. La variabilité spatiale des températures de surface en ville est donc extrêmement importante de jour.

Evolution de la température de l'air

La température de l'air dans la couche de canopée urbaine (dans la rue) est influencée par :

- Les contributions de chaleur des facettes urbaines environnantes
- La température de l'air au-dessus du sommet des bâtiments
- Les sources de chaleur anthropiques éventuelles
- Des advections d'air chaud ou froid



La réponse de la température de l'air dans la couche de canopée urbaine varie le jour et la nuit :

- LE JOUR effets turbulents prédominants
- LA NUIT effets thermiques prédominants

Evol. de la température de l'air - Conservation d'énergie

Le principe de conservation de l'énergie, appliqué à une masse d'air s'écrit:

$$\frac{DI}{Dt} = -p \frac{D\rho^{-1}}{Dt} + Q \quad [J.kg^{-1}.s^{-1}]$$

- $\frac{DI}{Dt}$: variation de l'énergie interne contenue dans une unité de masse d'air
- $-p \frac{D\rho^{-1}}{Dt}$: variation de densité résultant de l'expansion/compression de la masse d'air (processus adiabatique)
- Q : variation de chaleur de la masse d'air.

Convention

Convergence
(conv)



$$\frac{\partial T}{\partial t} > 0$$

Divergence
(div)

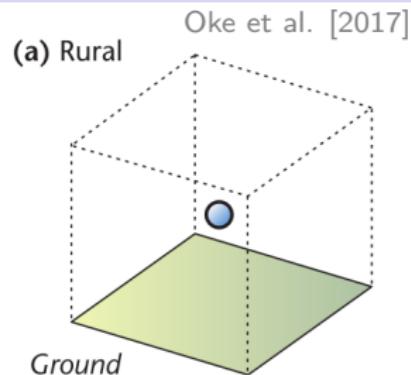


$$\frac{\partial T}{\partial t} < 0$$

- Les variations de Q s'expliquent par la convergence ou la divergence nette des flux radiatifs et convectifs (turbulents) qui provoquent respectivement réchauffement et refroidissement de la masse d'air.
- Par convention, $\text{convergence} = -\text{divergence}$
- Si apports $Q >$ pertes $Q \rightarrow \text{Divergence} > 0 \rightarrow T_a \uparrow$
- Si apports $Q <$ pertes $Q \rightarrow \text{Divergence} < 0 \rightarrow T_a \downarrow$

Evol. de la température de l'air - Surface plane

- Couche d'air proche surface, au-dessus d'une étendue rurale relativement homogène.
- Les échanges d'énergie sont principalement convectifs (Q_E, Q_H) et radiatifs (Q^*). Une couche d'atmosphère pouvant absorber ou réémettre du rayonnement.
- On considère uniquement les flux verticaux (pas de transfert de chaleur sur l'horizontale).
- En absence de brouillard, on néglige Q_E .
- Ce sont les variations verticales de Q_H et Q^* et non leurs valeurs absolues qui vont contrôler les variations de température de l'air.



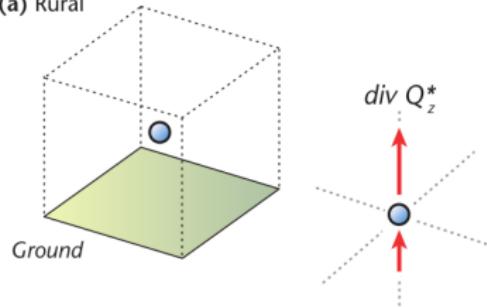
$$\frac{\partial T_a}{\partial t} = \frac{1}{C_a} \left(\frac{\partial Q^*}{\partial z} + \frac{\partial Q_H}{\partial z} \right) = \frac{1}{C_a} (divQ_z^* + divQ_H) \quad [K.s^{-1}]$$

- $divQ_z^*$ et $divQ_H$ correspondent aux variations verticales radiatives (toutes longueurs d'ondes) et de chaleur sensible.
- L'augmentation/diminution de la température d'une couche d'air ($\partial T_a / \partial t$) est directement reliée aux variations de son contenu calorifique. Ces dernières étant dues aux variations des flux verticaux de Q^* et Q_H .

Evol. de la température de l'air - Surface plane

Oke et al. [2017]

(a) Rural

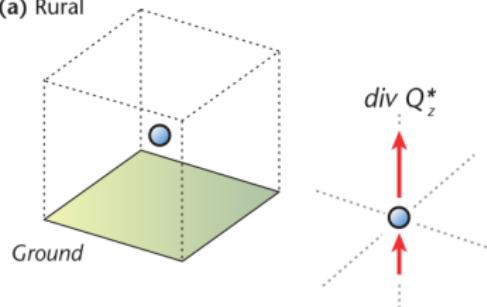


- Couche d'air proche surface, au-dessus d'une étendue rurale relativement homogène.
- Les conditions sont celles d'une soirée ou nuit “idéale” (ciel sans nuages, vent faible ou calme).
- La sphère bleue représente un point à quelques mètres au-dessus de la surface

Evol. de la température de l'air - Surface plane

Oke et al. [2017]

(a) Rural

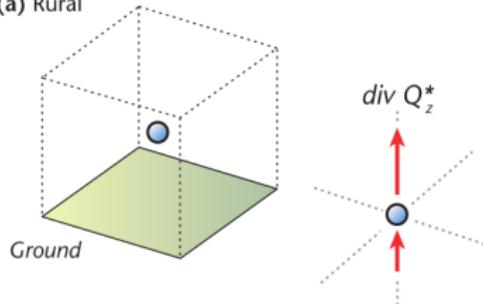


- Couche d'air proche surface, au-dessus d'une étendue rurale relativement homogène.
- Les conditions sont celles d'une soirée ou nuit "idéale" (ciel sans nuages, vent faible ou calme).
- La sphère bleue représente un point à quelques mètres au-dessus de la surface
- Nuit sous ciel clair et vent faible → un fort refroidissement radiatif de la couche d'air se produit après le coucher du soleil en raison de la divergence verticale de Q^* .
- La divergence verticale de Q^* est dominée par la divergence du rayonnement infrarouge montant. Cet effet est maximisé quelques mètres au-dessus de la surface et diminue au-dessus.
- Chaque couche d'air réemet vers la couche supérieure plus de flux radiatif qu'elle n'en reçoit de la couche inférieure → refroidissement des couches d'air de surface de proche en proche.

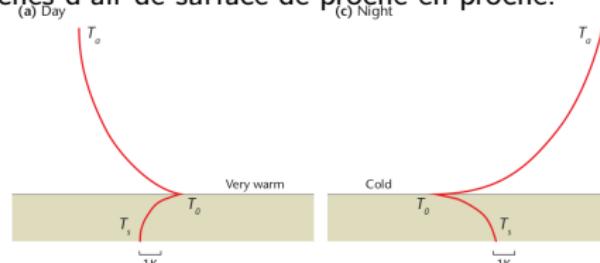
Evol. de la température de l'air - Surface plane

Oke et al. [2017]

(a) Rural

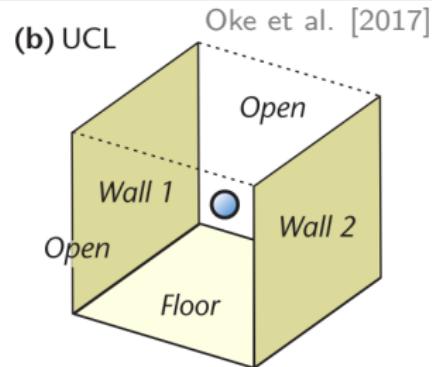


- Couche d'air proche surface, au-dessus d'une étendue rurale relativement homogène.
 - Les conditions sont celles d'une soirée ou nuit "idéale" (ciel sans nuages, vent faible ou calme).
 - La sphère bleue représente un point à quelques mètres au-dessus de la surface
-
- Nuit sous ciel clair et vent faible → un fort refroidissement radiatif de la couche d'air se produit après le coucher du soleil en raison de la divergence verticale de Q^* .
 - La divergence verticale de Q^* est dominée par la divergence du rayonnement infrarouge montant. Cet effet est maximisé quelques mètres au-dessus de la surface et diminue au-dessus.
 - Chaque couche d'air réemet vers la couche supérieure plus de flux radiatif qu'elle n'en reçoit de la couche inférieure → refroidissement des couches d'air de surface de proche en proche.
 - Dans ces conditions, une inversion de température pilotée par la surface se met en place et refroidit les parties basses de la couche limite.
 - $C_a \approx 1200 \text{ J.m}^{-3}.\text{K}^{-1}$ → une variation verticale de 0.1 W.m^{-2} de Q^*/Q_H sur 1m peut générer un réchauffement/refroidissement de 0.3 K.h^{-1} .



Evol. de la température de l'air - Canyon urbain

- Volume d'air, contraint par des surfaces verticales qui participent à cet échange surface/air.
- Equation utilisée pour une couche d'air est transformée pour traiter un volume.
- Ajout de l'effet d'advection horizontale de la chaleur (dans l'axe de la rue)
- Ajout de sources anthropiques de chaleur



$$\frac{\partial T_a}{\partial t} = \frac{1}{C_a} (divQ_v^* + divQ_{Hv}) + \bar{u} \frac{\partial \bar{T}_a}{\partial x} + \frac{\partial S}{C_p \partial t} \quad [K.s^{-1}]$$

Divergence volumique toutes longueurs d'ondes

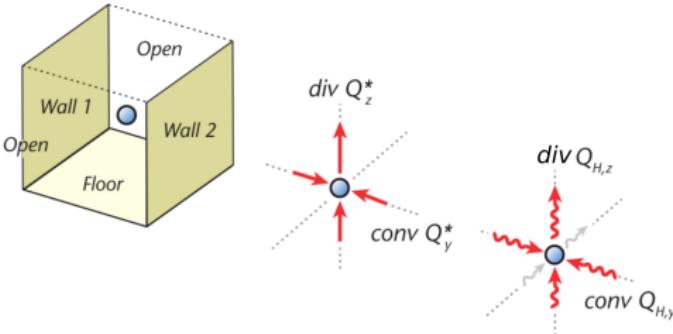
$$divQ_v^* = \frac{\partial Q^*}{\partial x} + \frac{\partial Q^*}{\partial y} + \frac{\partial Q^*}{\partial z} \quad [W.m^{-3}]$$

Divergence volumique flux de chaleur sensible

$$divQ_{Hv} = \frac{\partial Q_H}{\partial x} + \frac{\partial Q_H}{\partial y} + \frac{\partial Q_H}{\partial z} \quad [W.m^{-3}]$$

Evol. de la température de l'air - Canyon urbain

Oke et al. [2017]



- Suivant la direction $y \rightarrow$ contribution des murs.
- Suivant la direction $z \rightarrow$ contribution du sol et du mélange turbulent de la couche d'air au dessus du canyon.

- Nuit sous ciel clair et vent faible (advection négligeable).
- Convergence de Q^* et Q_H depuis les murs du canyon dans la direction y .
- Divergence de Q^* et Q_H suivant la direction verticale.

La différence entre l'évolution de la température de l'air au sein de la couche de canopée urbaine et au sein d'une couche de hauteur correspondante située au dessus des surfaces rurales environnant la ville, constitue le fondement de l'îlot de chaleur urbain de couche de canopée urbaine.

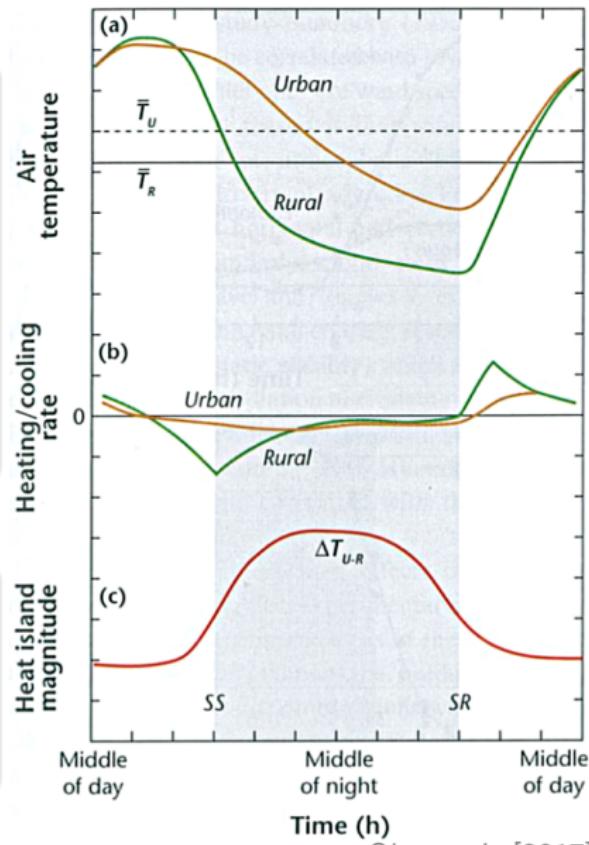
ICU - Evolution de la température de l'air

L'ICU couche de canopée urbaine est maximal au cours de la nuit

- En ville, la chaleur emmagasinée pendant la journée dans les infrastructures urbaines est restituée à l'air ambiant.
- Les taux de refroidissement sont très différents entre ville et campagne → l'air en ville se refroidit moins vite

L'ICU peut être nul voire négatif en journée

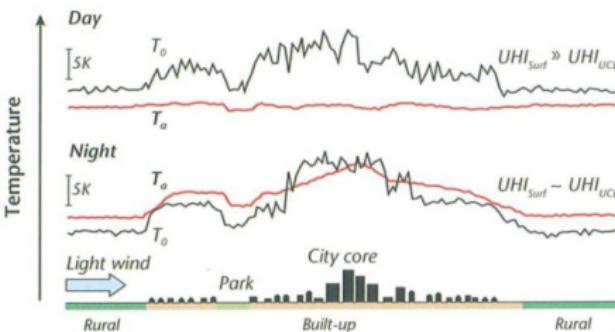
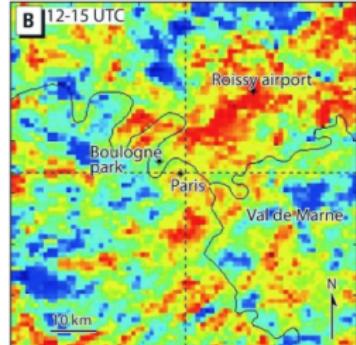
- La compacité urbaine limite la pénétration du rayonnement solaire dans les rues et retarde le réchauffement de l'air



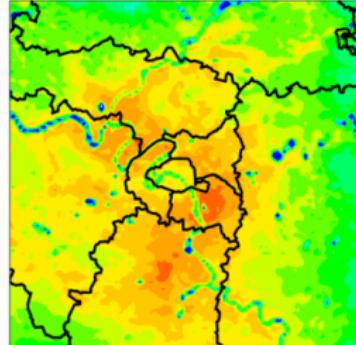
Oke et al. [2017]

Comparaison ICU surface/canopée urbaine

Ilot de chaleur urbain de surface



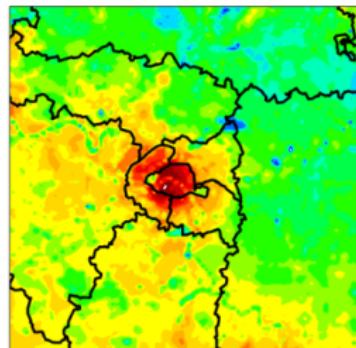
Ilot de chaleur urbain de couche de canopée urbaine



En journée, l'ICU de surface est plus élevé que l'ICU de canopée urbaine

La nuit, les deux ICUs sont plus comparables

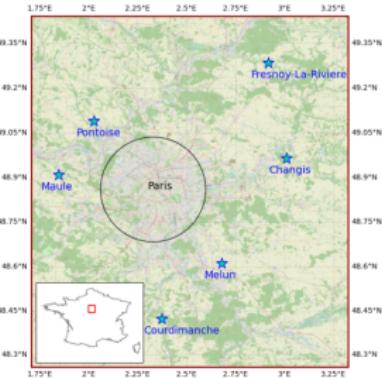
Source : Dousset et Gourmelon, 2003



ICU - Méthode de calcul

- Bien qu'il existe une forte variabilité spatiale des températures en zone urbaines et rurales, on définit généralement l'ICU comme une différence de température -sur une certaine période- entre une partie de la ville (souvent au centre où les températures sont maximales) et une moyenne l'ensemble des alentours.
- Il est donc nécessaire de choisir les environnements urbains et ruraux et d'identifier des emplacements de mesure **représentatifs** qui permettront le calcul.

$$ICU = \Delta T_{U-R} = T_U - T_R \quad [K]$$



Haeffelin et al. [2024]

tim.nagel@meteo.fr

Radome Montsouris



Météorologie Urbaine

IoT PANAME



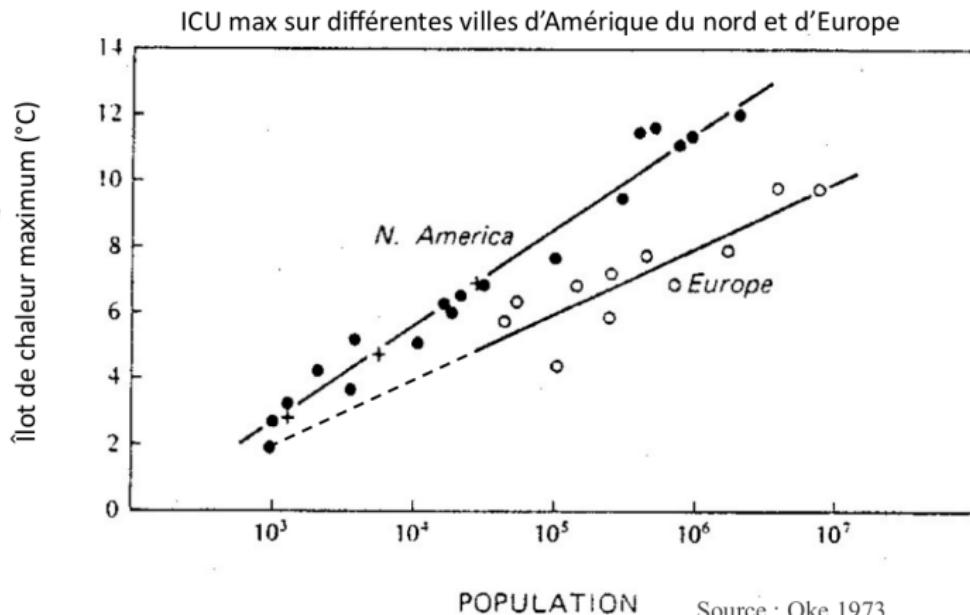
ENM-2025/2026

21 / 39

ICU - Facteurs de variabilité

L'ICU de couche de canopée urbaine est un phénomène variable aux échelles journalière, saisonnière, et spatiale:

- Il varie en fonction des caractéristiques de la ville elle-même (taille, densité urbaine, du nombre d'habitants etc.)

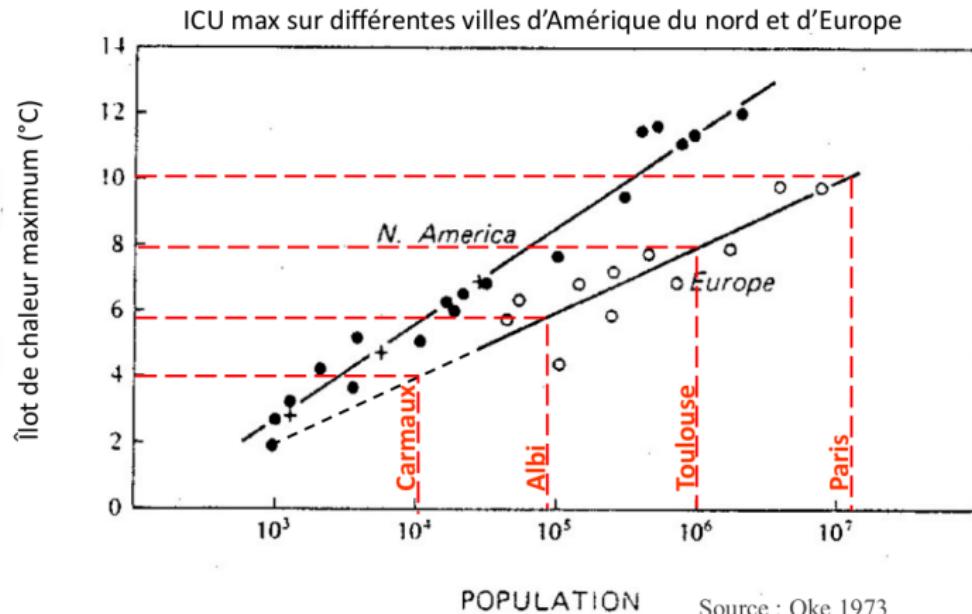


Source : Oke 1973

ICU - Facteurs de variabilité

L'ICU de couche de canopée urbaine est un phénomène variable aux échelles journalière, saisonnière, et spatiale:

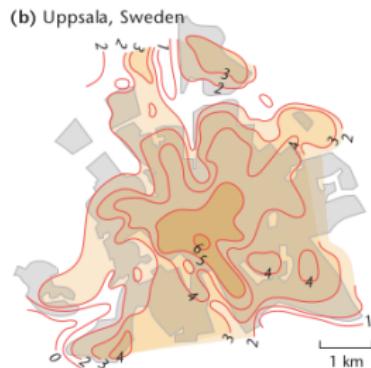
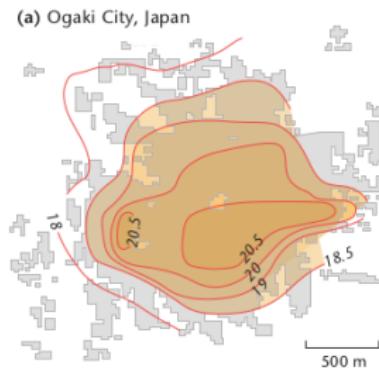
- Il varie en fonction des caractéristiques de la ville elle-même (taille, densité urbaine, du nombre d'habitants etc.)



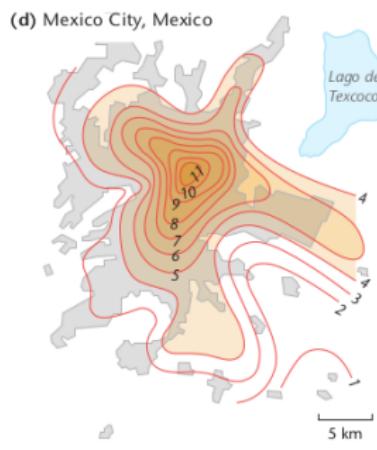
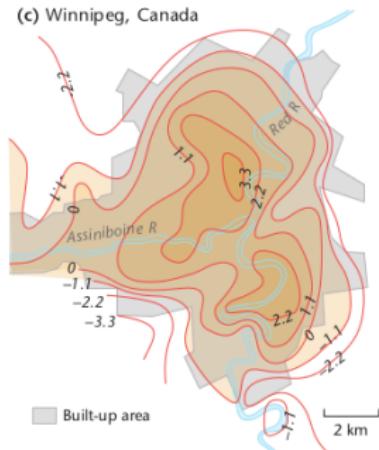
ICU - Facteurs de variabilité

L'ICU de couc journalière, sai

- Il varie en urbane, c



x échelles
taille, densité



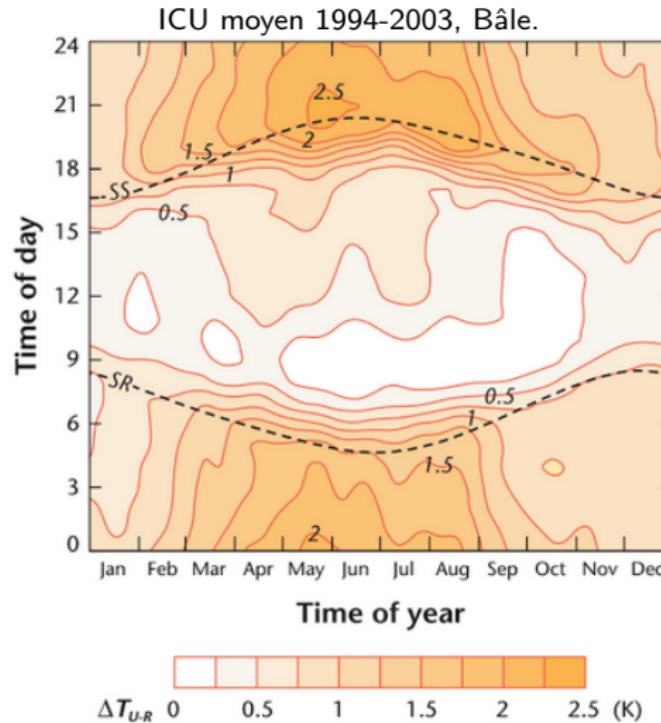
ICU - Facteurs de variabilité

L'ICU de couche de canopée urbaine est un phénomène variable aux échelles journalière, saisonnière, et spatiale:

- Il varie en fonction des caractéristiques de la ville elle-même (taille, densité urbaine, du nombre d'habitants etc.)
- De la situation géographique de la ville (effets côtiers, orographiques)
- Des modes d'occupation des sols autour de la ville (l'ICU étant calculé comme une différence par rapport à une « référence » à l'extérieur de la ville)
- Des conditions météorologiques (ensoleillement/couverture nuageuse, vent synoptique, précipitations etc.)

ICU - Facteurs de variabilité météorologiques

L'ICU de couche de canopée urbaine est favorisé par des conditions de fort ensoleillement qui expliquent notamment les variations saisonnières de son intensité.



Voogt and Parlow [2011]

tim.nagel@meteo.fr

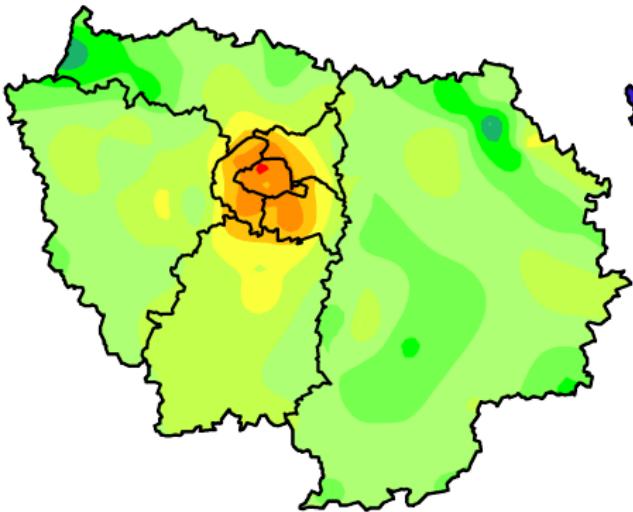
Météorologie Urbaine

ENM-2025/2026

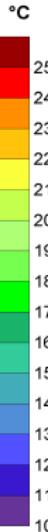
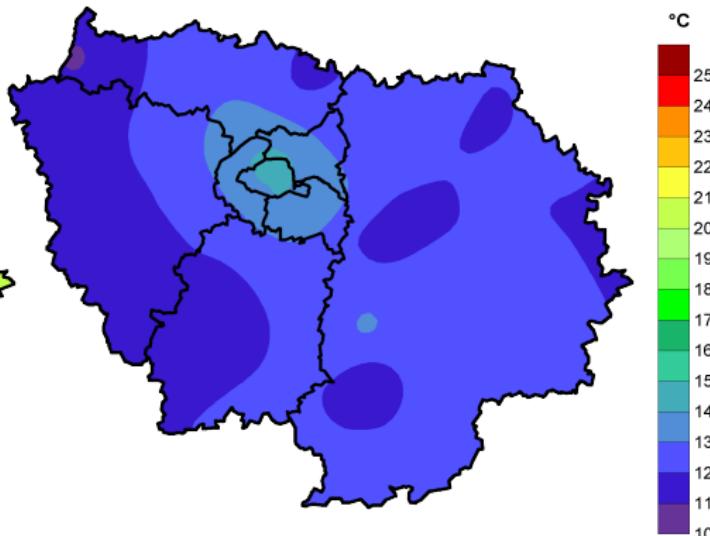
24 / 39

ICU - Facteurs de variabilité météorologiques

T_{min} moyennes IdF 8-13 août 2003.
 $\Delta T = 8^{\circ}\text{C}$ ($16^{\circ}\text{C} - 24^{\circ}\text{C}$)



T_{min} moyennes IdF août 2000.
 $\Delta T = 4^{\circ}\text{C}$ ($10^{\circ}\text{C} - 14^{\circ}\text{C}$)



En conditions de canicule, l'ICU peut être fortement amplifié (mais pas toujours):

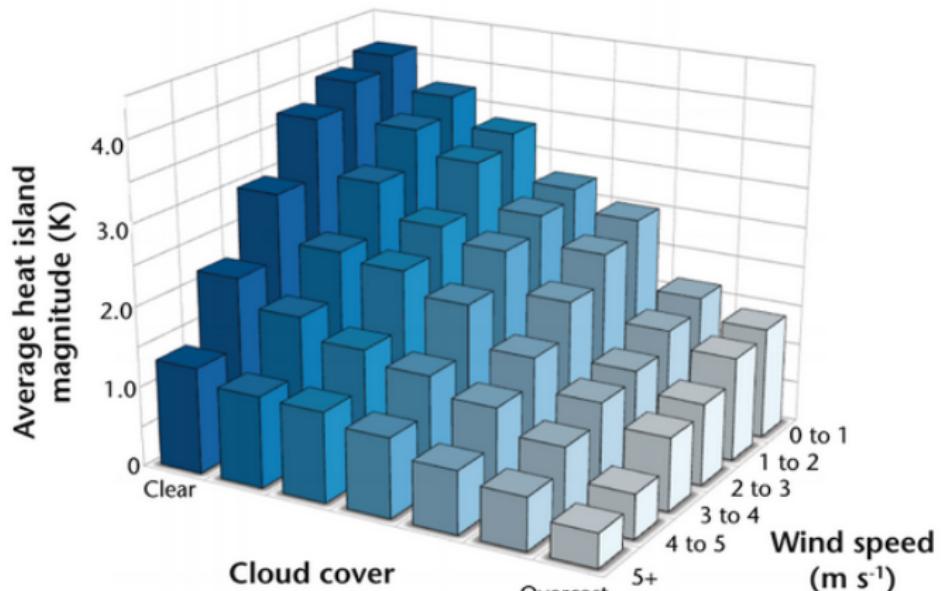
- Accentuation des températures nocturnes élevées
- Aggravation potentielle des impacts sanitaires sur les populations urbaines
- Importance de l'état hydrique des sols alentours dans et autour de la ville

ICU - Facteurs de variabilité météorologiques

Nébulosité: réduit ICU → Modifie le rayt IR incident, le bilan net en surface et le refroidissement nocturne.

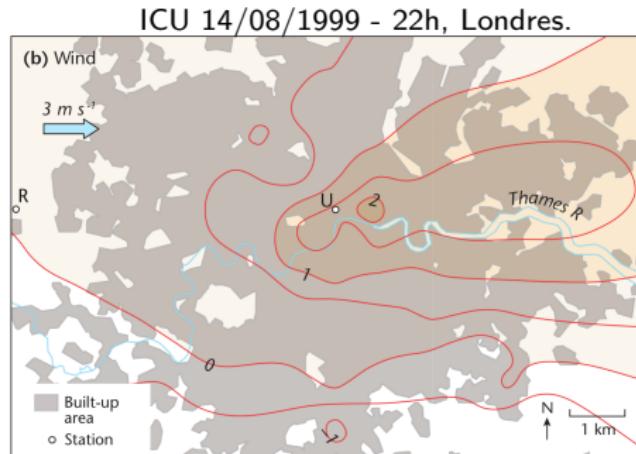
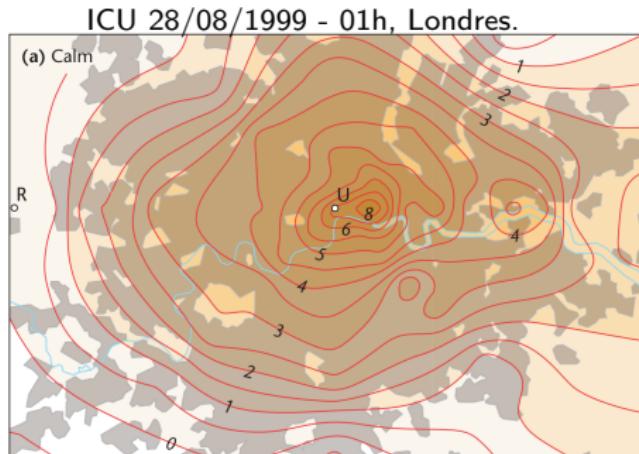
Le vent annule ou réduit l'ICU: → Favorise le mélange horizontal ce qui supprime les différences de température.

ICU nocturne moyen 09/1991-12/2011, Orlando, FL.



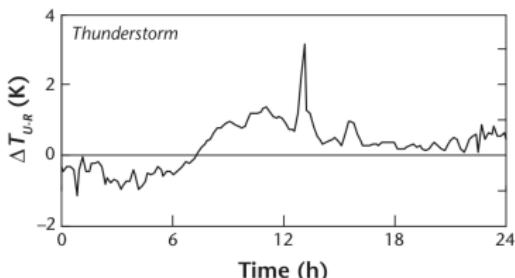
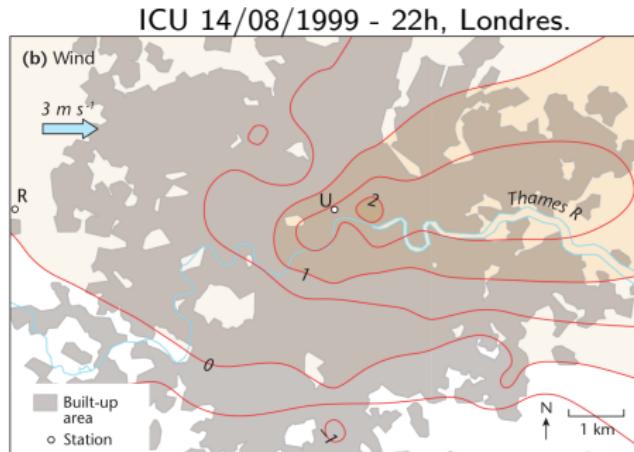
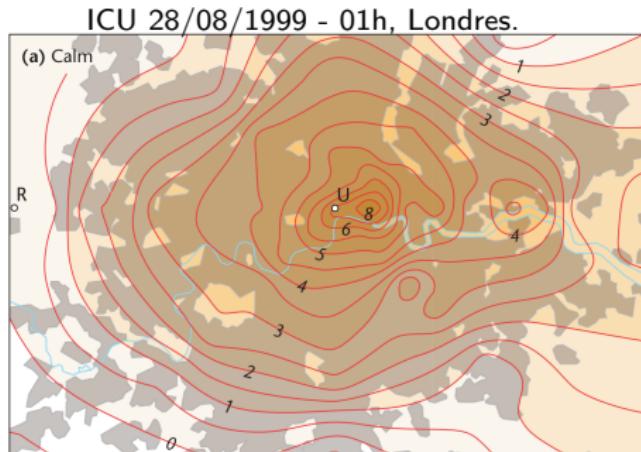
ICU - Facteurs de variabilité météorologiques

Le vent annule ou réduit l'ICU: → Favorise le mélange horizontal ce qui supprime les différences de température.



ICU - Facteurs de variabilité météorologiques

Le vent annule ou réduit l'ICU: → Favorise le mélange horizontal ce qui supprime les différences de température.

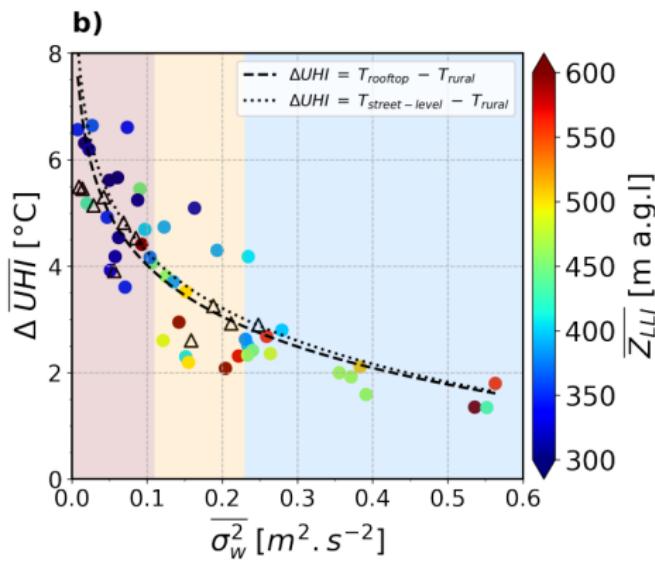
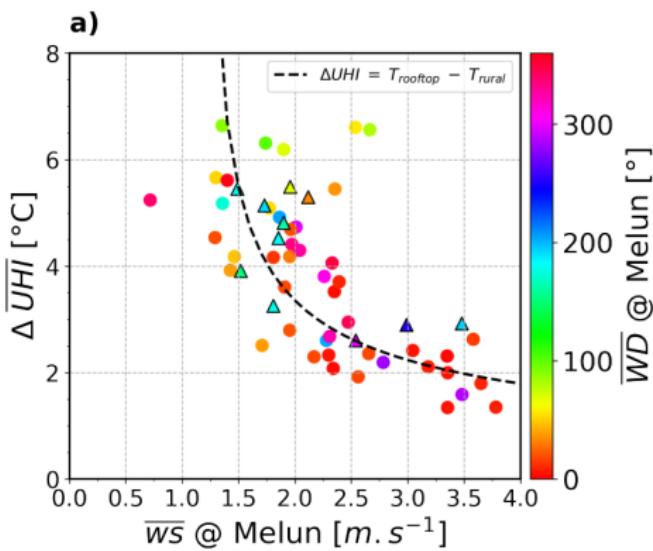


Le passage d'un **front orageux** peut stopper la formation d'un ICU nocturne (Lodz, Pologne - 22/06/1998).

Sur la figure, 0h correspond à midi heure locale.

ICU - Facteurs de variabilité météorologiques

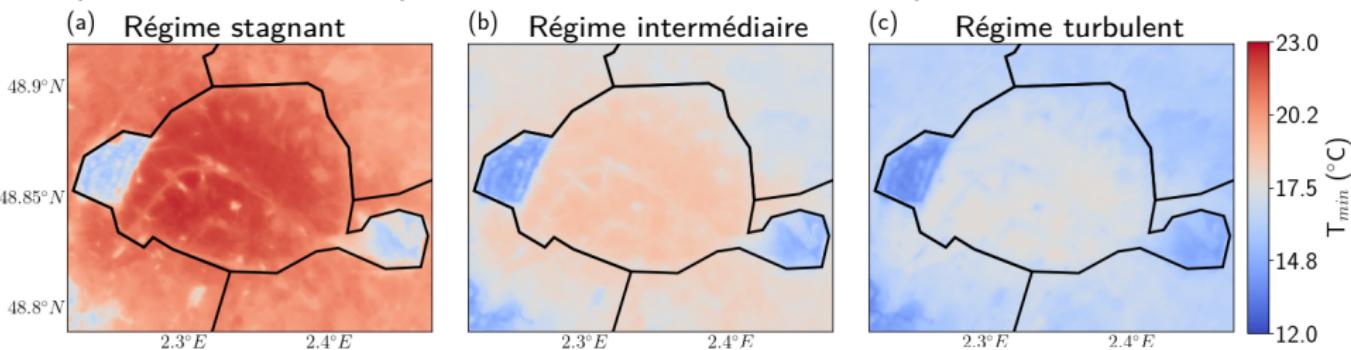
Le vent annule ou réduit l'ICU: → Favorise le mélange horizontal **et vertical** ce qui supprime les différences de température.



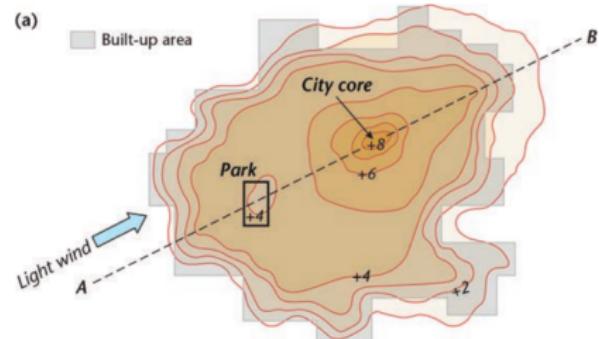
$\overline{\sigma_w^2}$: Variance de la vitesse du vent vertical au dessus de la couche de canopée urbaine (mesure par Doppler Lidar - IPSL Paris)

ICU - Variabilité intra-urbaine

La ville est un **milieu très hétérogène**: parcs urbains de différente taille, quartiers plus ou moins denses, types de bâti, potentiels points d'eau (étangs, rivières). Les températures nocturnes peuvent être très variables d'un quartier à l'autre.



- Simulations avec le modèle météorologique de recherche Meso-NH
- Effet rafraîchissant des bois et parcs urbains diffère suivant conditions météorologiques (Haeffelin et al. [2024]).
- Parc = cool island

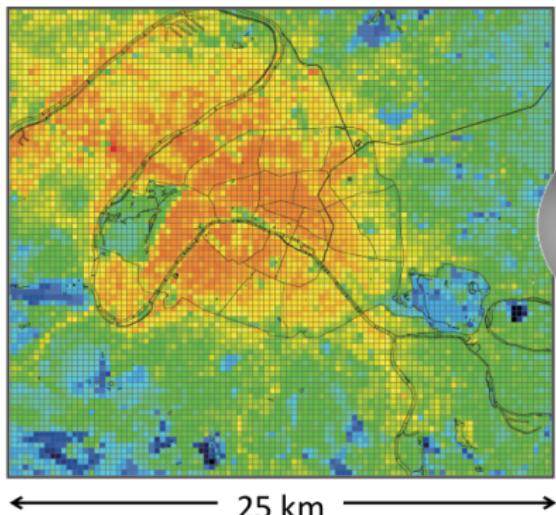


ICU - Variabilité intra-urbaine

Classiquement, l'ICU est évalué à l'échelle de la ville

Mais il existe différents niveaux de variabilité microclimatique, à l'échelle du quartier voire de la rue, qui peuvent être du même ordre de grandeur

ICU à l'échelle de la ville (Paris)



Source: EPICEA Project

Variabilité microclimatique
à l'échelle du quartier



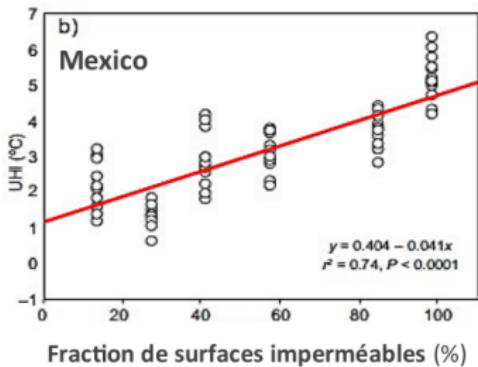
Source: APUR

ICU - Variabilité intra-urbaine

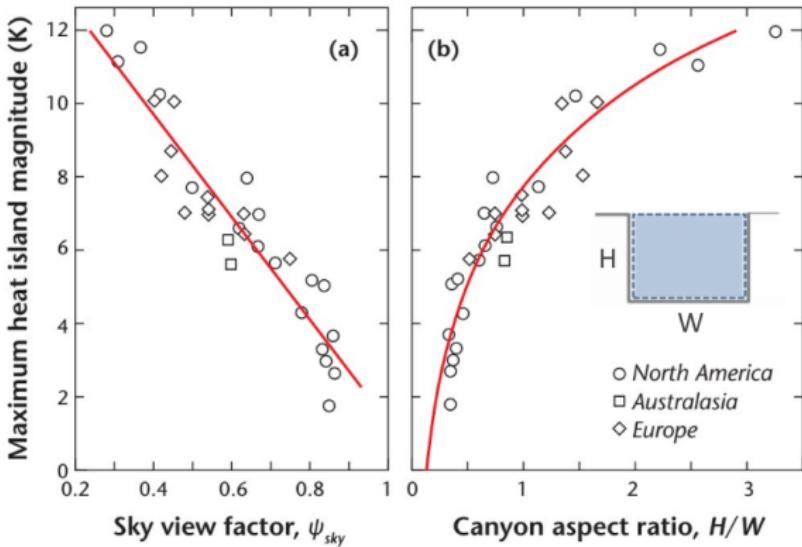
Classiquement, l'ICU est évalué à l'échelle de la ville

Mais il existe différents niveaux de variabilité microclimatique, à l'échelle du quartier voire de la rue, qui peuvent être du même ordre de grandeur

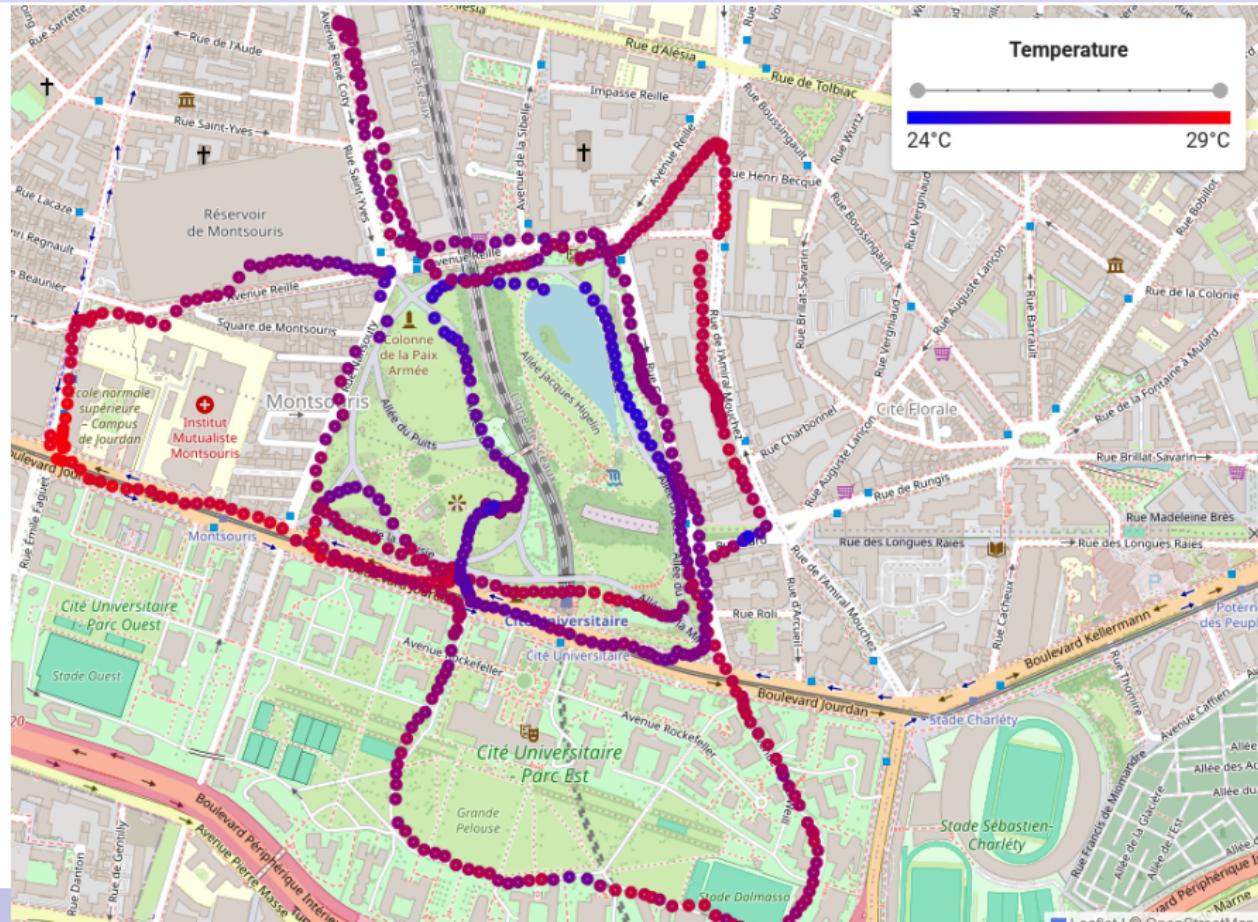
- Surfaces imperméables
- Facteur de vue du ciel
- Rapport d'aspect du canyon
- ...



Source : Colunga et al. 2015

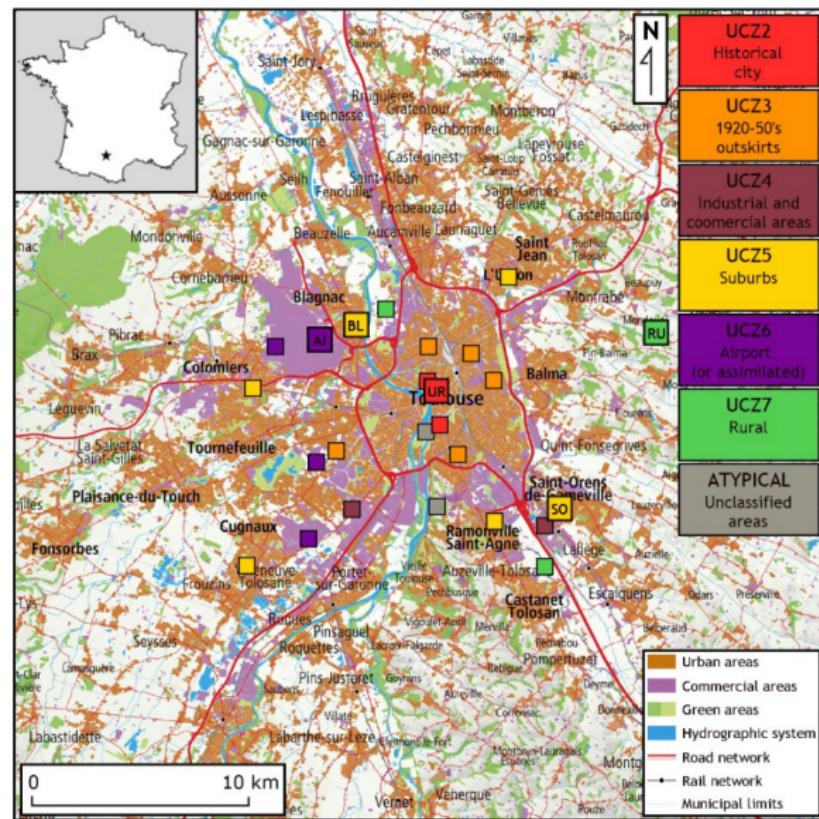


ICU - Variabilité intra-urbaine - PANAME (CMRM/IPSL)



ICU - Variabilité intra-urbaine

Campagne de mesure CAPITOUL (Toulouse, Fev 2004 – Fev 2005)



Réseau fixe de 27 stations météo (T,HU)

1 année d'observation en continu

- Saint Michel (MIC)
- 1 station centre-ville de référence
- 2 stations « centre-ville »
- 5 stations « faubourgs »
- 2 stations « zones industrielles et commerciales »
- 7 stations « résidentiel »
- 4 stations « zones aéroportuaires »
- 3 stations « rural »
- 2 stations « non classifiées »

ICU - Variabilité intra-urbaine

Caractéristiques environnementales des stations

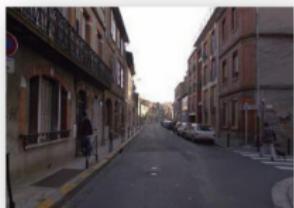
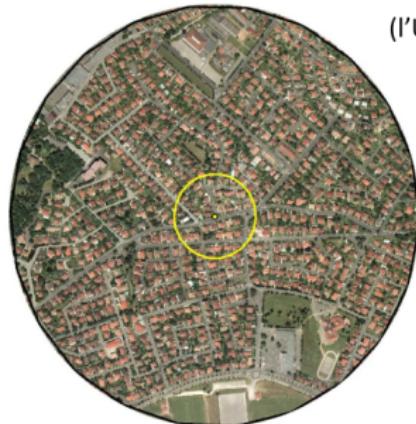
MIC

(Saint Michel)



UNI

(l'Union)



Taux d'urbanisation = 73 %

Densité bâtie = 53 %

	Saint Michel	L'Union
Altitude	140 m	143 m
Eau	0 %	0 %
Sol nu	13 %	19 %
Veg basse	1 %	7 %
Veg haute	10 %	36 %
Bitume	23 %	24 %
Toits tuile	47 %	13 %
Toits terrasse	6 %	1 %
Distance au centre	1493 m	6189 m
Facteur de vue du ciel	0.23	0.68



Taux d'urbanisation = 38 %

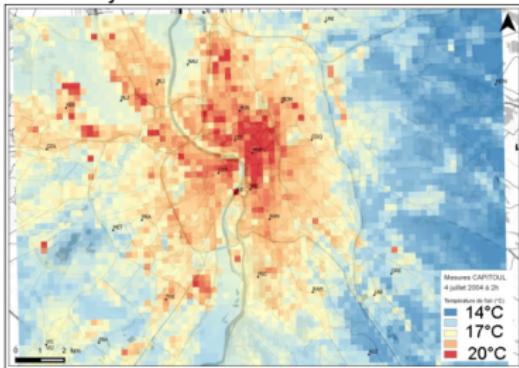
Densité bâtie = 14 %

ICU - Variabilité intra-urbaine

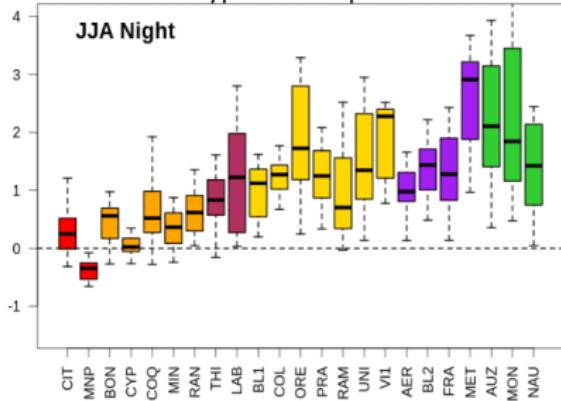
Différence de température entre la station de référence et chaque station du réseau

- Centre-ville
- Faubourgs
- Zones commerciales
- Résidentiel
- Zones aéroportuaires
- Rural

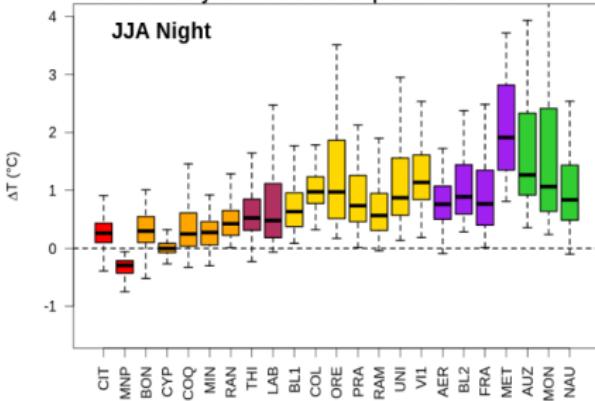
Nuit 3-4 juillet 2004



Sélection des types de temps « estivaux »



Toutes les journées de la période



ICU - Variabilité intra-urbaine

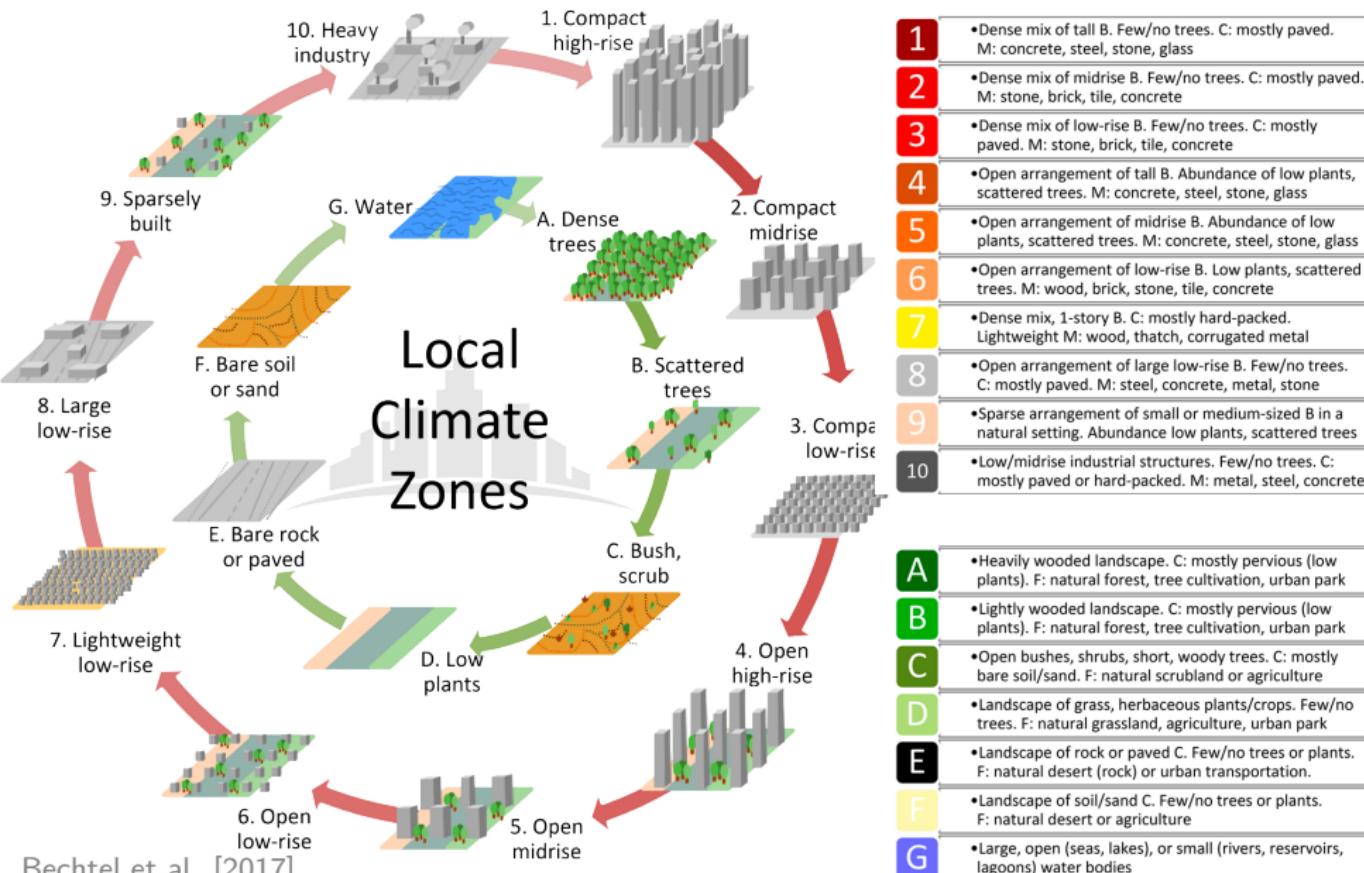
Classiquement, l'ICU est **évalué à l'échelle de la ville**.

Mais il existe différents niveaux de **variabilité microclimatique**, à l'échelle du quartier voire de la rue, qui peuvent être du même ordre de grandeur.

A l'échelle du quartier, Stewart and Oke (2012) ont développé le concept de **Local Climate Zone (LCZ)** :

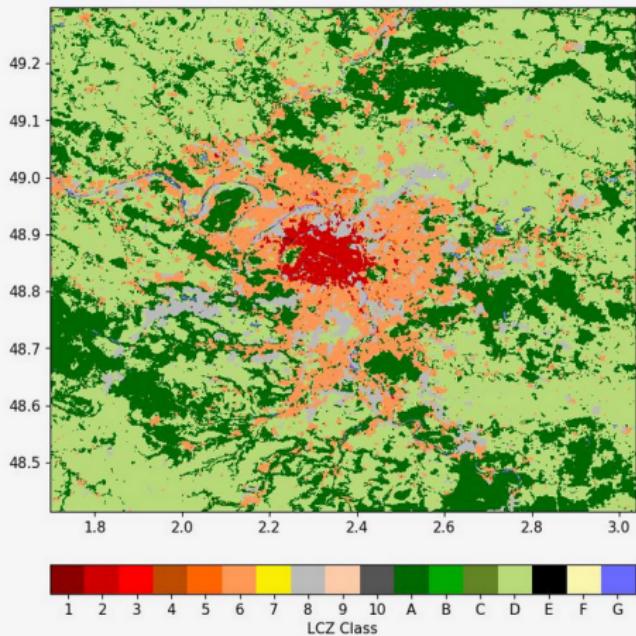
- Schéma de classification de zones spatiales, selon 17 classes “homogènes” ayant des réponses énergétiques (et microclimatiques) caractéristiques
- Caractérisation des classes basée principalement sur :
 - **Les fractions d'occupation du sol**, i.e. surfaces perméables vs imperméables)
 - **Les propriétés de la structure de surface**, i.e., hauteur des bâtiments, hauteur des arbres, densité bâtie...
 - → **Facteurs déterminants dans le bilan d'énergie**

ICU - Variabilité intra-urbaine - LCZ

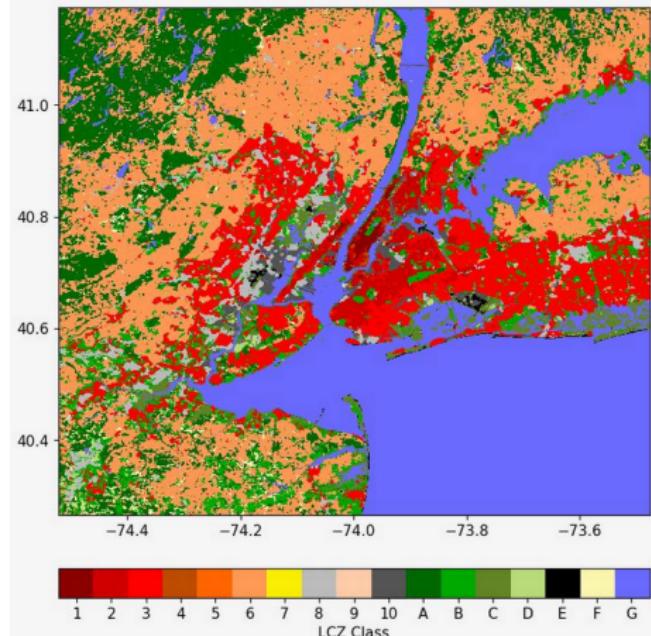


LCZ - base de données mondiale WUDAPT

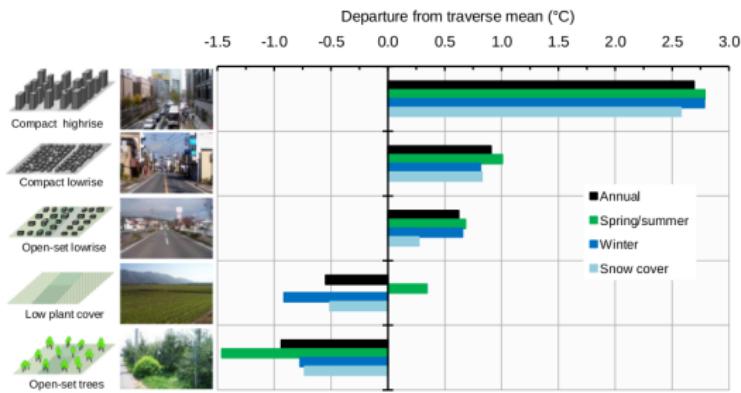
Paris



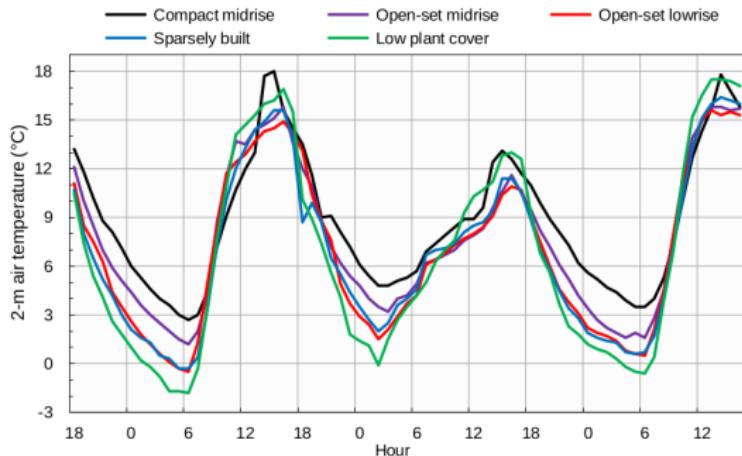
New York



LCZ - Signature climatique des LCZ

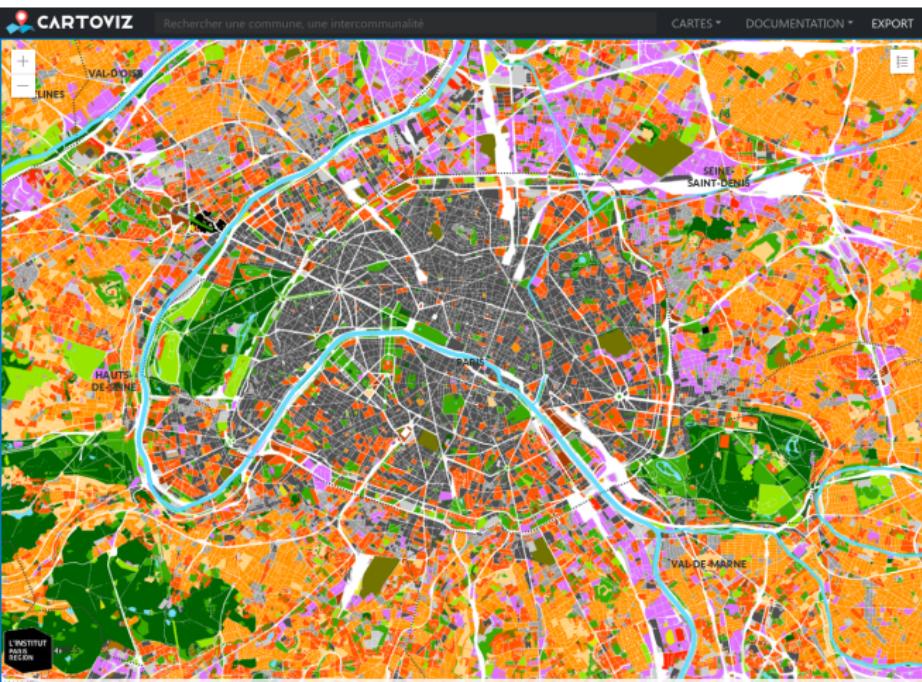


Différenciation thermique des LCZ
Bassin de Nagano (2001-02, 0h)
Sakakibara and Matsui [2005]



Différenciation thermique des LCZ
Uppsala (21-23 septembre 1976)
Taesler [1981]

LCZ - Chaleur en Ville



CHALEUR EN VILLE

MISE À JOUR 2023

Identifier les zones à effet d'ICU et sensibiliser les acteurs de l'aménagement et de l'urbanisme à la chaleur urbaine.



La prise en compte des effets du changement climatique est un grand défi pour l'Île-de-France. On observe que l'effet d'ilot de chaleur urbain (ICU) est un facteur aggravant des vagues de chaleur et en particulier des épisodes de canicule.

La ville par sa minéralité, ses matériaux, sa rugosité, ses carences en eau et en végétation, ses activités anthropiques émettrices de chaleur et de polluants, est source de perturbations radiatives, thermiques, hydrologiques et aérodynamiques qui influencent le climat en réchauffant l'atmosphère. Les températures de l'air - en particulier la nuit - s'avèrent plus élevées dans les zones denses urbaines que dans les zones rurales, l'île de définition.

L'Institut Paris Region a d'abord proposé une modélisation numérique sur toute l'Île-de-France à l'échelle de l'ilot - îlot bâti (= pâté de maisons) ou non bâti (= espace ouvert naturel, agricole ou forestier) - via la mobilisation des bases de données géographiques urbaines. Puis, à partir de ce référentiel des îlots morphologiques urbains, sans données d'observations météorologiques ou climatologiques, le parti a été d'utiliser le nouveau système de classification des Zones climatiques locales (Local Climate Zones, LCZ) pour caractériser l'influence climatique des îlots d'après leur type morphologique, leur comportement thermique ou radiatif et leur potentiel de rafraîchissement.

Cette application permet d'interpréter simplement les effets de chaleur ou de fraîcheur associés à chacune de ces propriétés.

Le résultat est corroboré par le retour d'expérience de la canicule de 2003 (périème de nuit tropicale notamment).

Pour aller plus loin et aider à élaborer des diagnostics de vulnérabilité, une seconde partie propose une cartothèque pour identifier les zones les plus sujettes à l'effet d'île le jour et la nuit, et pour déterminer leur niveau de vulnérabilité en considérant plusieurs indicateurs de vulnérabilité humaine et de difficultés à faire face

<https://www.institutparisregion.fr/cartographies-interactives-cartoviz/>

Institut Paris Région [2023]

tim.nagel@meteo.fr

Météorologie Urbaine

ENM-2025/2026

38 / 39

ICU - Liste des causes

Cause	Description of cause
Canopy layer heat island (UHI_{UCL})	
Surface geometry	<ul style="list-style-type: none">(a) Increased surface area ($\lambda_c > 1$)(b) Closely-spaced buildings<ul style="list-style-type: none">– multiple reflection and greater shortwave absorption (lower system albedo);– small sky view factor ($\psi_{sky} < 1$) reduces net longwave loss, especially at night;– wind shelter in UCL reduces heat losses by convection and advection.
Thermal properties	Building materials often have greater capacity to store and later release sensible heat.
Surface state	<ul style="list-style-type: none">(a) Surface moisture-waterproofing by buildings and paving reduces soil moisture and surface wetness.(b) Convection favours sensible (Q_H) over latent heat flux density (Q_E).(c) If snow – lower albedo in city gives relative increase of shortwave absorption compared to rural areas.
Anthropogenic heat	Anthropogenic heat release due to fuel combustion and electricity use is much greater in city.
Urban 'greenhouse effect'	Warmer, polluted and often more moist urban atmosphere emits more downward longwave radiation to UCL.