

ILOTS DE CHALEUR URBAIN

Principe

Le phénomène dit « d'îlot de chaleur urbain, ICU » correspond à l'observation de différences sensiblement positives entre les températures de l'air mesurées en site urbain et celles des campagnes environnantes. L'évolution spatiale de la température se traduit par un pic semblable à un « îlot » (figure 1).

L'effet d'îlot de chaleur urbain suit la morphologie urbaine. Ainsi, des écarts de température notables sont observés aux frontières marquées entre milieu rural et urbain.

Le phénomène se caractérise par :

- un rafraîchissement nocturne en milieu urbain fortement atténué, ainsi l'heure du maximum d'ICU est généralement située quelques heures après le coucher du soleil ;
- l'augmentation de température en début de journée est plus rapide en milieu rural jusqu'à observer temporairement une température plus faible en ville ;
- une inertie du milieu urbain, notamment due aux matériaux et revêtements des surfaces urbaines.

La figure ci-contre donne l'échelle moyenne de cette augmentation de température en fonction des types d'espace et d'urbanismes associés.

Ces valeurs sont toutefois à considérer avec prudence. En effet, la quantification exacte de l'impact de l'urbanisation dans les phénomènes d'îlot de chaleur reste délicate en raison :

- Des phénomènes microclimatiques naturels locaux qui rendent la comparaison difficile.
- Du développement des centres urbains sur des sites présentant des configurations naturelles particulières (cours d'eau...) et donc dans des conditions climatiques singulières.

Il apparaît dès lors difficile de quantifier l'écart de température dû à l'effet de l'urbanisation sans connaître précisément les conditions originales.

De plus, les relevés météorologiques généralement disponibles proviennent essentiellement de stations de mesures situées en dehors des centres urbains, comme les zones aéroportuaires, choisies en fonction de caractéristiques naturelles spécifiques et donc de conditions météorologiques spécifiques.

Si la quantification exacte du phénomène est encore sujette à étude, ses impacts sur les conditions de confort et de santé des populations des centres urbains et indirectement sur les consommations énergétiques des bâtiments sont bien réels.

Caractérisation du phénomène d'îlot de chaleur urbain

Afin de définir les facteurs favorisant la création d'un ICU, il est important d'étudier le bilan thermique d'une surface de sol.

En effet, connaître les phénomènes physiques en jeu permet :

- d'étudier l'influence de la forme urbaine et de dispositifs particuliers tels que les toitures réfléchissantes, les arbres, les bassins d'eau, les fontaines, les brumisateurs...
- de déterminer les paramètres influents pour mieux concevoir.

$QS = RN + QC + QE$ avec

QS = transfert de chaleur dans le sol : conduction

RN = flux radiatif net : rayonnement

QC = flux de chaleur sensible : convection

QE = flux de chaleur latente : évaporation ou condensation

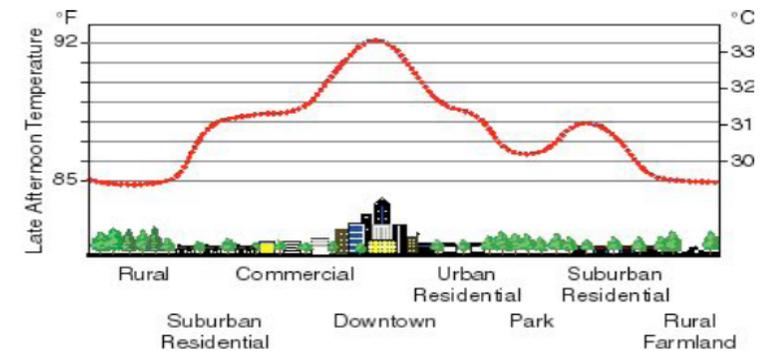


Figure 1 Principe ICU

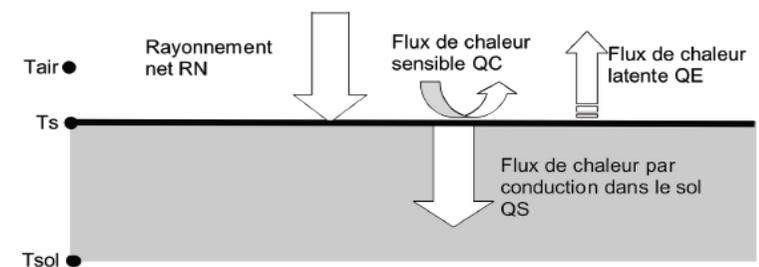


Figure 2 Bilan thermique sur une surface

Plusieurs facteurs se combinent pour concourir à l'apparition des ICU :

- **des facteurs d'origine naturelle**

Les facteurs d'origine naturelle concourant à la formation des ICU ressortent de trois catégories distinctes : climatologie, météorologie et topographie.

- *La climatologie*

L'énergie apportée par le soleil sous forme de chaleur est d'autant plus importante que celui-ci est haut. Il devrait donc faire plus chaud lors du solstice d'été. Cependant, ce raisonnement est inexact si on omet de prendre en considération l'inertie de la Terre.

Au printemps et en été, celle-ci accumule de la chaleur avec pour conséquence un ralentissement de l'élévation de la température. On observe le phénomène inverse en automne et en hiver : la Terre restitue la chaleur accumulée au printemps et en été.

- *Météorologie*

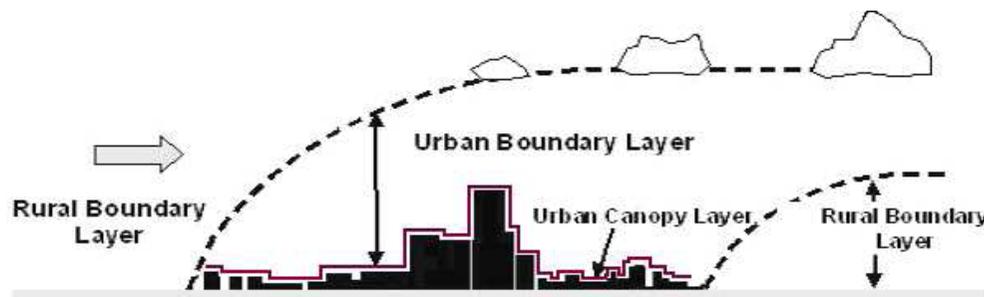
Le climat des zones non bâties diffère de celui des villes.

Conformément à la mécanique des fluides, l'écoulement du vent en rase campagne est laminaire (la mesure de sa vitesse permet de visualiser un comportement stable).

Au-dessus des villes s'observe des couches d'air chaud, de telle façon qu'elles sont couvertes d'une cloche invisible (urban boundary layer ou UBL). Cette cloche est d'une altitude très supérieure aux faîtes des constructions, y compris des immeubles de grande hauteur (IGH).

Au-dessus de la canopée urbaine (urban canopy layer ou UCL), c'est-à-dire des toitures, une seconde cloche épouse littéralement la forme du bâti.

Quand le vent s'approche de la ville, il se réchauffe et sa viscosité diminue. Il cesse d'être laminaire pour devenir turbulent, comportement erratique renforcé par les obstacles tels que les bâtiments.



Le schéma ci-contre permet de mieux comprendre ces phénomènes.

Figure 4 Ecoulement des vents autour d'une ville

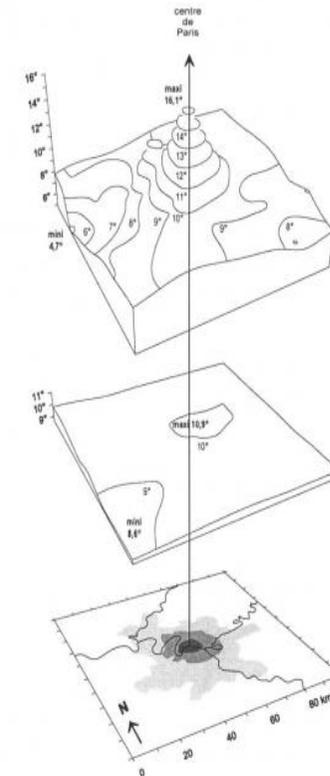


Figure 3 Impact du type de temps

La ventilation naturelle permet d'amener de la fraîcheur en ville. La vitesse du vent est un facteur important de maîtrise du phénomène d'ICU, le phénomène diminuant avec l'augmentation de cette dernière. En outre, l'ICU disparaît pour des vents d'une vitesse supérieure à 11 m/s. L'augmentation de la vitesse d'air génère, de plus, une augmentation des transferts thermiques par convection.

Pour une ville côtière comme Marseille, l'ICU peut être fortement atténué par la mobilisation des brises marines.

- *Topographie*

La topographie joue un rôle dans la hausse très localisée des températures. Lorsque les vents sont faibles, le poids de l'influence du relief local est fort.

- **des facteurs d'origine anthropique**

- *Urbanisation*

D'un point de vue physique, l'urbanisation est la substitution du couvert végétal par des surfaces minérales (bitume, pierre, etc.).

Par ce fait, elle diminue la capacité d'évapotranspiration¹, contribuant ainsi à assécher l'air ambiant. Par ailleurs, les surfaces minérales sont dotées d'une inertie thermique calculée selon leur capacité d'absorption des calories (diffusivité²) et de restitution de ces mêmes calories (effusivité³). Par conséquent, plus on bâtit, plus on accroît l'effusivité globale.

- *Albédo des matériaux et urbain*

Conformément aux lois de Stephan-Boltzmann et de Wien, la couleur des matériaux de construction détermine le rapport de l'énergie solaire réfléchi sur l'énergie solaire incidente. Appelé albédo, cet indicateur est mesuré grâce à une échelle graduée de 0 à 1.

L'albédo diffère d'une matière à l'autre. A part les nuages qui ont un albédo variable, les corps solides et liquides ont un albédo fixe. L'albédo terrestre est de 0,39 toute surface confondue. Il est de 0,07 pour l'océan ; 0,05 pour la surface d'un lac ; 0,16 pour un sol nu ; 0,14 à 0,17 pour un champ ; 0,5 à 0,10 pour une forêt, et autour de 0,9 pour la neige.

Les caractéristiques de réflexion des surfaces et notamment celles des toits ont le plus d'influence sur l'albédo équivalent de la surface urbaine dans les villes constituées principalement d'immeuble de hauteur importante. Mais quand la hauteur des bâtiments diminue, les caractéristiques de réflexion du sol et des murs reprennent de l'influence relative.

Les surfaces rugueuses et sombres absorbent plus de rayonnement que les surfaces lisses, planes et claires et atteignent une température plus élevée, restituant alors cette chaleur à l'air ambiant.

Les surfaces lisses et planes sont moins chaudes que celles qui sont rugueuses et courbées. La taille de la surface, l'épaisseur n'induisent pas de différences significatives pendant la journée.

En règle générale, plus les réflectivités et émissivités sont grandes, plus la température de surface reste faible.

L'utilisation de revêtements réfléchissants peut réduire la température de surface d'une tuile de béton blanc de 4°C sous des conditions d'été et de 2°C durant la nuit.

Il est cependant difficile d'utiliser directement des valeurs données dans des tables. En effet, en étudiant la variation de la réflectivité solaire des bétons (Levinson *et coll.*, 2002), des modifications significatives de l'albédo ont pu être observées en fonction de leur composition, leur vieillissement et leur exposition climatique.

L'utilisation de matériaux de toiture à fort albédo permet :

- Une diminution de la température du toit et donc les flux conduits vers l'ambiance intérieure,
- Une diminution de la température d'air extérieur à laquelle est soumis le bâtiment (convection, ventilation).

Des études expérimentales et numériques américaines ont montré l'efficacité de l'utilisation de matériaux réfléchissants pour les toitures. Les économies sur les consommations d'énergie de rafraîchissement de ces bâtiments varient entre 15 et 46%.

NATURE	ALBEDO (a)	EMISSIVITE (e)
Routes		
Asphalte	0.05-0.20	0.95
Murs		
Béton	0.10-0.35	0.71-0.90
Briques	0.20-0.35	0.90-0.92
Pierre	0.20-0.35	0.90-0.92
Bois		0.90
Toits		
Goudron et gravier	0.08-0.18	0.92
Tuiles	0.10-0.35	0.90
Ardoises	0.10	0.90
Chaume	0.15-0.20	
Tôle ondulée	0.10-0.16	0.13-0.28
Fenêtres		
Verre		
Hauteur du Soleil inférieure à 40°	0.08	0.87-0.94
Hauteur du Soleil variant de 40 et 80°	0.09-0.52	0.87-0.92
Peintures		
Blanc	0.50-0.90	0.85-0.95
Rouge, Brun, Vert	0.20-0.35	0.85-0.95
Noir	0.02-0.15	0.90-0.98

¹ L'évapotranspiration correspond à la quantité d'eau totale transférée du sol vers l'atmosphère par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes. Elle correspond au flux de chaleur latente dans le bilan d'énergie. est un passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux, ce qui demande une quantité d'énergie en général non négligeable (la chaleur latente de vaporisation), ce qui permet par exemple la régulation de température chez les hommes par transpiration

² La diffusivité thermique *D* correspond à la vitesse de pénétration et d'atténuation d'une onde thermique dans un milieu.

³ L'effusivité thermique *E* correspond à la capacité d'un matériau à échanger de l'énergie thermique avec son environnement. Elle s'exprime en J.K-1.m-2.s-1/2

Outre l'albédo, la forme des toits et leur orientation influencent également la quantité de rayonnement absorbée par le bâtiment.

La notion d'albédo s'exprime également à l'échelle d'une ville. **L'albédo d'une ville ou d'un quartier** dépend de la forme du tissu urbain et de la nature des matériaux de revêtements utilisés.

L'albédo de la canopée urbaine (le "sol" apparent vu de l'espace incluant sols réels et constructions) est le paramètre fondamental pour estimer les flux de chaleurs sensible et latente des tissus urbains vers l'atmosphère, qui pilotent les transformations des écoulements atmosphériques au-dessus de la ville.

Plus l'albédo est important, plus la ville réfléchit le rayonnement solaire, ce qui amplifie son refroidissement. Par contre, plus la surface a un albédo faible plus elle se réchauffe.

Le tableau ci contre donne quelques exemples d'albédo pour différentes villes

La forme du tissu urbain impact l'albédo de la manière suivante :

- L'albédo diminue quand les irrégularités augmentent (plus marqué en hiver) ;
- L'hétérogénéité des hauteurs fait également diminuer l'albédo ;
- L'albédo augmente avec l'angle solaire zénithal ;
- Il y a une variation saisonnière de l'albédo moyen calculée sur une journée.

Site	Albédo
Los Angeles (centre ville)	0.20
Madison, WI (<u>urbain</u>)	0.15-0.18
St. Louis, MI (urbain)	0.12-0.14
St. Louis, MI (centre)	0.19-0.16
Hartford, CT (<u>urbain</u>)	0.09-0.14
Adelaïde, AUS (commercial)	0.27 (moyenne)
Hamilton, Ontario	0.12-0.13
Munich, Allemagne	0.16 (moyenne)
Vancouver, BC	0.13-0.15
Tokyo	0.10 (moyenne)
Ibadan, Nigeria	0.12 (moyenne)
Lagos, Nigeria	0.45

- *Chauffage et climatisation*

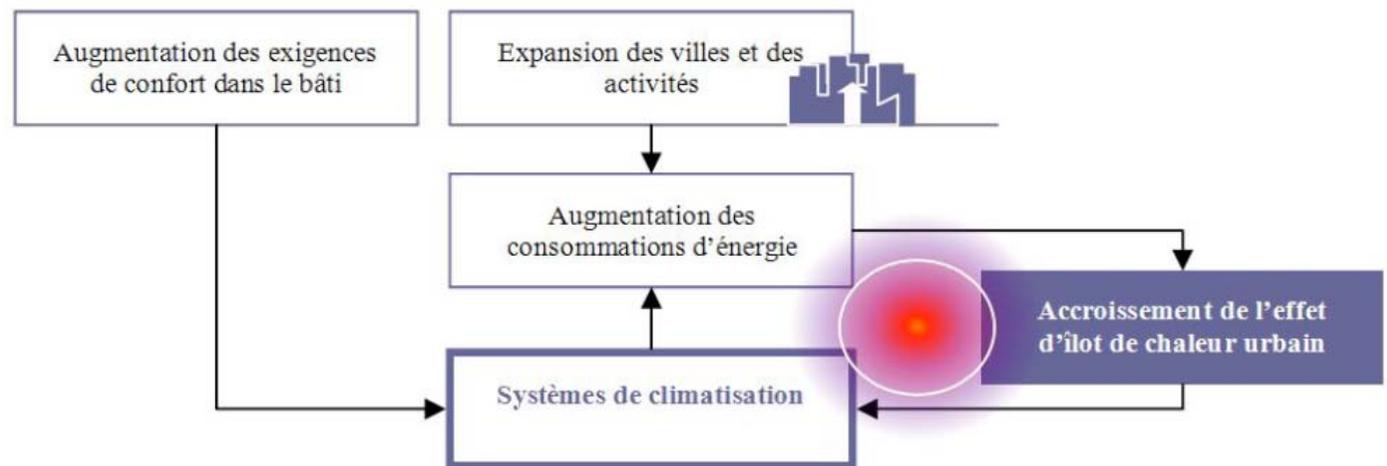
Les dissipations thermiques des bâtiments participent de façon importante à l'amplification du réchauffement urbain.

La densification des villes et l'augmentation générale des consommations énergétiques font augmenter l'énergie dissipée.

Les systèmes de climatisation sur air représentent une part significative des charges thermiques venant s'ajouter à l'ambiance extérieure.

Le phénomène s'inscrit donc dans une sorte de cercle vicieux d'auto-amplification : plus il fait chaud, plus l'intérieur des bâtiments est rafraîchi, ce qui génère encore plus de charges thermiques à l'extérieur.

Le schéma ci-contre illustre cette chaîne.



Evaluation du phénomène d'îlot de chaleur urbain

L'ICU peut être évalué de façon dynamique grâce à des modèles numériques par exemple ENVI, mais aussi estimé par une méthode statique.

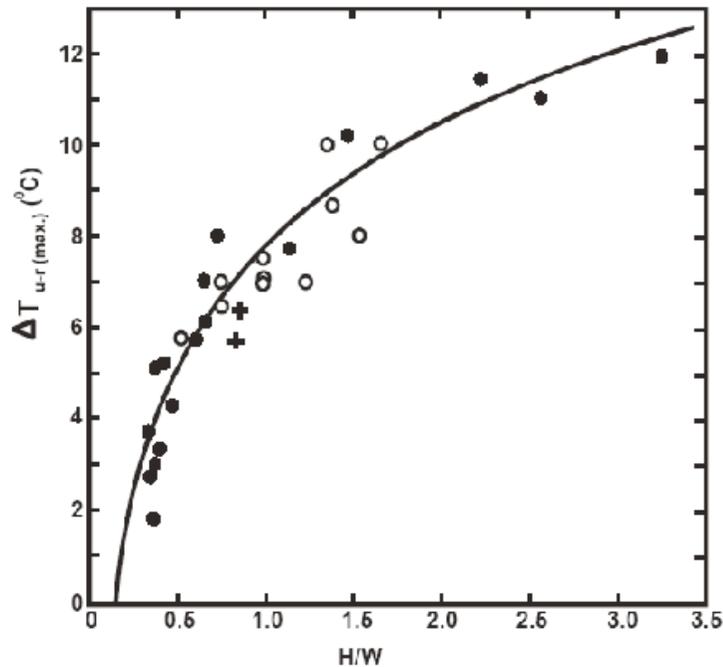
OKE (OKE T.R. «Overview of interactions between settlements and their environments» WMO experts meeting on Urban and Building climatology, WPC-37, WMO, Genève. 1982) propose une expression de TurMAX en fonction de la population et de la vitesse de vent de référence.

L'effet d'îlot de chaleur urbain peut alors être défini par l'écart de température maximum entre la ville et la campagne environnante (TurMAX).

$$\Delta T_{URMAX} = \frac{P^{0,25}}{(4U)^{0,5}} \quad \text{Avec} \quad \begin{array}{l} P : \text{Nombre d'habitants} \\ U : \text{vitesse du vent s de référence en m/s} \end{array}$$

Vitesse du vent de référence (m/s)	Intensité de l'îlot de chaleur (K)
1	4.5
2	3.4
3	3.4
4	2.6
5	2.2

Si l'on prend l'exemple de la ville de Paris, les résultats ci-contre sont obtenus (Escourrou G., Le climat et la ville. Presses universitaires Nathan, Paris 1991.):



OKE T.R. propose également une formule permettant de distinguer les villes européennes et américaines. Corrélation entre TurMAX et le rapport d'aspect H (hauteur) / W (largeur) des rues, de type canyon, des centres urbains :

$$\Delta T_{URMAX} = 7.45 + 3.97 LN\left(\frac{H}{W}\right)$$

Un abaque est également disponible et présenté ci-contre

Observations de 31 villes d'Amérique du Nord (.), Europe () et d' Australasie (+)

Figure 5 Abaque de détermination de l'écart de température max

Atténuation du phénomène d'îlot de chaleur urbain

La logique veut qu'il ne soit pas possible d'intervenir sur les facteurs naturels concourant à la formation des ICU. Par contre, les facteurs anthropiques se prêtent à expérimentation, et ce à plusieurs niveaux :

- **Les interventions à l'échelle urbaine**

La plantation d'arbres offre de nombreux avantages : ils captent les polluants atmosphériques, retiennent les poussières en suspension, stockent le CO₂ et rejettent de l'oxygène au cours de la photosynthèse tout en humidifiant l'air ambiant par évapotranspiration. Si les arbres apportent de l'ombre en été, il faut toutefois privilégier ceux à feuilles caduques car ils perdent leurs feuilles en hiver, permettant ainsi aux habitants de bénéficier de l'ensoleillement. Afin de limiter les effets tragiques des pics de chaleur, l'introduction massive d'espaces verts et d'arbres présentent bien des atouts. Des plans de verdissement, campagnes de plantation, aides à la création de parcs et de squares sont des mesures efficaces pour rafraîchir les îlots de chaleur urbains et atténuer les conséquences humaines des canicules à venir. Les villes doivent anticiper cette nouvelle donne climatique.

Un espace vert est donc un excellent équipement pour atténuer l'îlot de chaleur urbain et rafraîchir l'air ambiant. Ainsi, l'aménagement d'un parc arboré de 100 mètres carrés au cœur d'un îlot urbain, bordé par des immeubles de 15 mètres de hauteur, permet d'abaisser la température de 1°C dans les rues canyons adjacentes. Ce gain de fraîcheur se prolonge sur une distance de 100 mètres. Au-delà, l'effet bénéfique de l'espace vert s'estompe. Et les chercheurs de conclure qu'une augmentation de 10 % de l'emprise verte au sol diminue la température de l'air ambiant de 0,8°C. Or, un écart de 1°C n'est pas anodin en terme de mortalité : l'INVS estime qu'une hausse de 1°C aurait aggravé le risque de 80 % pendant la vague de chaleur d'août 2003 !

L'asphalte, le béton et le granit sont des revêtements inertes qui accumulent l'énergie solaire la journée et déstockent la chaleur emmagasinée la nuit. Ces matériaux, imperméables et sombres, sont de véritables **puits de chaleur qui alimentent l'îlot de chaleur urbain.** Sous nos latitudes, les surfaces engazonnées et les arbres d'ornement équilibrent leur température interne, à la manière d'un corps humain, en transpirant énormément dès que la température extérieure dépasse 25°C. Outre qu'un arbre intercepte une partie du rayonnement solaire, procurant une ombre protectrice, il a aussi tendance à aligner sa température sur celle de l'air environnant. Ce mécanisme de régulation thermique est loin d'être négligeable : un arbre feuillu peut émettre jusqu'à 400 litres d'eau par jour, ce qui représente une puissance de refroidissement équivalente à celle de 5 climatiseurs pendant 20 heures en climat chaud et sec.

La présence d'eau dans la ville est un vecteur important de l'atténuation du l'ICU. L'existence de cours d'eau à ciel ouvert, la mise en place de fontaines ou de jets d'eau impacte favorablement la maîtrise du phénomène d'îlot de chaleur urbain. La valorisation des bénéfices du rafraîchissement évaporatif ajoute un dispositif urbain complémentaire efficace. Ainsi la mise en place de système de brumisation ou encore la mise en œuvre de surfaces minérales poreuses avec circulation d'eau (CIEMAT, Madrid 1992) sont autant de systèmes urbains développable pour atténuer les effets d'ICU. De manière générale, la présence d'eau modère le climat urbain. Ainsi, la Cheonggyecheon, une rivière de Séoul (Corée du Sud) enfouie depuis 1950 sous un tronçon d'autoroute, a été libérée en 2005, la température semble avoir ainsi baissé de 3,6 °C aux alentours.

Travailler l'aéroulque urbaine et la ventilation des rues. Le phénomène d'ICU diminuant avec la vitesse du vent et s'annulant au dessus de 11 m/s, la valorisation et la maîtrise des phénomènes d'aéroulque urbaine est une voie à creuser. Outre la valorisation directe des brises marines dans la conception urbaines, des systèmes de type cheminé à vent ou tours évaporative peuvent être mise en œuvre localement (cf jeux de Séville et d'Athènes).

- **Les interventions à l'échelle du bâti**

Matériaux de construction

La lutte contre les ICU ne peut faire abstraction de la capacité thermique des matériaux de construction, c'est-à-dire de l'énergie nécessaire pour augmenter de 1 °C leur température, sachant qu'une capacité thermique élevée va réduire l'amplitude des variations jour/nuit.

Par ailleurs, si on veut obtenir une diffusivité thermique importante, l'épaisseur des matériaux rentre en ligne de compte.

Une diffusivité thermique élevée induit non seulement un retard dans l'échauffement du matériau, mais aussi le refroidissement de l'air à proximité.

A titre d'exemple, le béton libère rapidement la chaleur qu'il a accumulée durant la journée. Malheureusement, sa capacité thermique est faible, aussi sa température augmente-t-elle assez vite dès que le soleil se lève, les masses d'air se réchauffant à son contact.

A l'inverse, la pierre met beaucoup de temps à s'échauffer, mais refroidit nettement moins vite durant la nuit (MARIETHOZ T., 2006).

Si le choix de la nature des matériaux de construction s'avère délicat, modifier l'albédo d'un quartier est d'avantage aisé puisqu'il suffit de choisir des matériaux de couleur claire, voir blanche.



Végétalisation du bâti

La végétalisation des toitures de même que l'utilisation de plantes grimpantes en façade constituent des pare-soleil efficaces.

En effet, **la végétation** agit par :

- absorption du rayonnement par la masse végétale qui est dissipée en chaleur latente ;
- évapotranspiration des plantes mise à profit pour rafraîchir l'ambiance ;
- écran au rayonnement solaire et au vent (effet direct positif ou négatif).

La fonction d'écran dépend du type de végétation et du cycle annuel du feuillage.

L'estimation des économies d'énergie liées à l'utilisation de la végétation est principalement abordée par le biais de la simulation.

Des chercheurs ont mis en évidence une baisse de température intérieure de 4 à 6° au plus fort de l'été avec une légère augmentation de l'humidité dans la pièce pour un écran végétal (Virginia Creeper) associé à une façade légère.

On peut considérer que la température moyenne d'une feuille est très proche de celle de l'air ambiant.

Bassin d'eau en toiture

Une autre solution consiste à disposer des bassins d'eau en toiture. Il existe ainsi des dispositifs de bassin constitués de sacs de toile sur une grille de polystyrène qui flotte sur l'eau.

Les sacs interceptent les apports solaires qu'ils dissipent, ainsi que les flux provenant du bâtiment, en chaleur latente due à l'évaporation de l'eau, convection et rayonnement infrarouge.

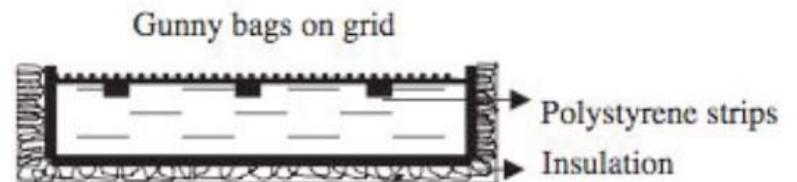
Ce système est plus performant qu'un bassin avec une isolation amovible, du fait de la stratification thermique qui se produit dans l'eau.

Pour les bâtiments étudiés, les auteurs trouvent une épaisseur d'eau optimale de 20cm. Le dispositif permet d'améliorer la stabilité des températures intérieures.

Rafraîchissement adiabatique

Le **rafraîchissement adiabatique direct ou indirect** permet de lutter efficacement contre les effets d'échauffement. De nombreux systèmes sont aujourd'hui disponibles, qu'ils s'agissent de systèmes de brumisation ou de systèmes évaporatifs.

Building	With the green roof	Without the green roof
Average daily air temperature (°C)	29	31
Average maximum air temperature (°C)	30	33
Average minimum air temperature (°C)	29	30
Average daily temperature width (°C)	2	3
Number of air temperatures exceeding 30°C	28 (15) ^a	132 (69)
Number of air temperatures exceeding 32°C	0 (0)	30 (16)
Total number of measurements	192	192



Impact sur la consommation énergétique des bâtiments

- **En hiver**

Le phénomène a un effet positif en hiver, en réduisant localement et de façon sensible les Degrés Jours Unifiés et par la même les besoins de chauffage des bâtiments. Le centre d'Athènes, par exemple, connaît une diminution de charge de chauffage de 30 à 50% par rapport à celle de sa banlieue.

- **En été**

A l'inverse, le phénomène génère une consommation d'énergie accrue en été pour climatiser les bâtiments.

L'évolution des exigences de confort d'été dans les bâtiments et le développement de la climatisation tendent alors à accélérer ces surconsommations.

Dans certains centres urbains, on estime que les charges thermiques peuvent être doublées par l'effet d'îlot de chaleur, alors que, dans un même temps le coefficient de performance des machines thermodynamiques fonctionnant sur l'air est réduit de 25%.

L'augmentation maximale de température due à ce phénomène se traduit directement par un besoin de puissance installée supérieure pour les équipements.

La nécessité de surdimensionner les systèmes de production par rapport aux consommations courantes génère alors un surcôt d'investissement immédiat.

Une étude menée sur six villes américaines a montré que le pic de puissance appelée augmente de 2 à 4% pour une augmentation de la température de l'ordre 1°C, au-delà d'un seuil de 15-20°C.

Impact sur la santé

Les graphiques ci-contre illustrent la corrélation entre la température moyenne journalière et la surmortalité due à une chaleur excessive, pour des épisodes caniculaires ayant eu lieu à Marseille lors de l'été 1983 et Athènes en juillet 1987.

Une étude menée sur Londres de 1976 à 1996 a notamment montré que :

- La surmortalité liée à la chaleur augmente linéairement avec la température au-delà de 19°C (température journalière moyenne).
- Pour une variation de 1°C au-delà de cette valeur moyenne, une surmortalité de 3,34% était constatée.
- L'augmentation de la valeur minimale de température est plus importante que celle de la valeur maximale. (Hajat et coll.)

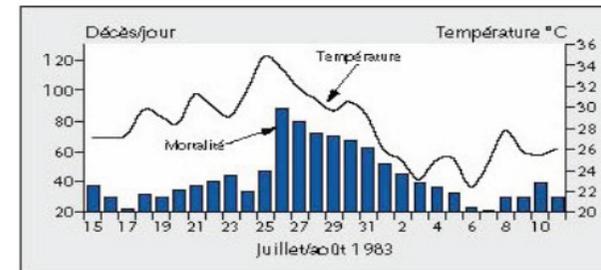


Figure 1. Mortalité et température moyenne journalière à Marseille, du 15 juillet au 12 août 1983. Normales de la période : 27 décès/ jour et 23,4 oC (sources : Observatoire régional de la santé de Provence- Alpes- Côte d'Azur/Météo-France).

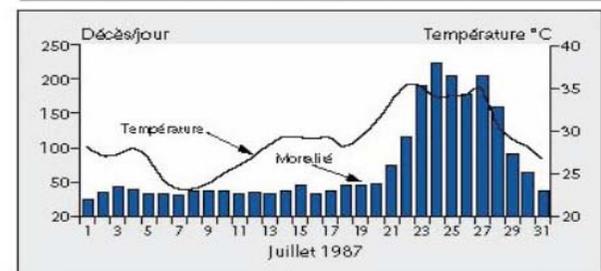


Figure 2. Mortalité et température moyenne journalière à Athènes, en juillet 1987. Normales de la période : 33 décès/jour et 27,2 oC (sources : ministère grec de la Santé et de la Protection sociale/ Observatoire d'Athènes).

Figure 6 Corrélation entre température et mortalité



Cas particulier de la Ville de Marseille

La caractérisation du phénomène d'îlot de chaleur sur la ville de Marseille a fait l'objet d'une étude et de mesures spécifiques dans le cadre du travail de doctorat de Grégoire Pigeon et de la campagne CLU-ESCOMPTE menée en juin et juillet 2001. Le mémoire de thèse associé à ce travail est fourni en annexe de la présente fiche.

Ce travail a notamment permis de caractériser la variabilité spatio-temporelle de l'îlot thermodynamique urbain et l'impact de la brise marine sur la mesure du bilan d'énergie en centre ville de Marseille.

- **Variabilité spatio-temporelle de l'îlot thermodynamique urbain à Marseille**

L'îlot de Chaleur Urbain est apparu comme étant la structure spatio-temporelle la plus significative pour la nuit. La structure spatiale de l'ICU s'est révélée concentrique autour du centre ville de Marseille alors que l'évolution temporelle associée correspondait à une intensification jusqu'au milieu de la nuit et une homogénéisation pendant la deuxième partie de la nuit.

Le jour, l'ICU était inexistant et le champ de température, parallèle à la côte, était principalement dominé par les interactions mer/continent.

La structure spatiale de l'ICUC a été analysée en fonction de paramètres objectifs de l'urbanisation. Autour de chaque site de mesure (500 m), la fraction couverte par les surfaces imperméables et le rapport d'aspect ont été évalués à partir d'une base de données géographique. Il a été montré une **très bonne corrélation** entre la **structure spatiale de l'ICU la nuit** et la **fraction de surface couverte par des matériaux imperméables** (91%) ainsi qu'avec le **rapport d'aspect des rues entourant les sites de mesure** (86%).

Le jour, par contre, la **relation entre la température et les surfaces imperméables était faible**, et le **critère le plus pertinent était la distance à la côte**.

Un constat identique a été fait pour l'humidité.

- **Impact de la brise marine sur la mesure du bilan d'énergie en centre ville de Marseille**

Les travaux montrent que le phénomène de brise marine (advection horizontale) constitue le principal effet atténuateur de l'îlot de chaleur à Marseille.

Limites & points de sensibilité

La diversité des configurations de l'îlot de chaleur urbain repose donc sur la complexité des interrelations entre :

- des données géographiques stables (situation, site, type d'urbanisation...);
- des données végétales et atmosphériques déterminées par des événements cycliques (saisons);
- des données atmosphériques aléatoires (types de circulation et types de temps).

Malgré les simulations numériques, il reste difficile de prévoir un ICU.

En effet, pour prédire un fort ICU, il convient de prévoir un temps clair et calme. Ce type de temps s'observe généralement dans les périodes anticycloniques, ce qui relève de la circulation atmosphérique générale.

Or, si les centres météorologiques sont capables de prévoir avec une assez grande fiabilité la situation synoptique à courte et moyenne échéance, en revanche la prévision des types de temps est plus délicate car ils s'observent à des échelles parfois plus fines que la maille des modèles de prévision.

Dans le plan vertical, il arrive fréquemment que des phénomènes de basses couches viennent « brouiller » la qualité globale d'une prévision. Quand il s'agit de nuages bas, cela remet alors totalement en cause les mécanismes de formation de l'ICU en bloquant le refroidissement nocturne par rayonnement.

La connaissance du terrain des prévisionnistes est alors essentielle pour interpréter les sorties de modèles et adapter les prévisions à l'échelle locale, en fonction de facteurs géographiques comme la présence d'une grande agglomération.

En intégrant les spécificités de la ville, les modèles de prévision météorologiques d'échelle synoptique pourraient permettre de prévoir l'intensité de l'ICU. Cette connaissance du phénomène d'îlot de chaleur permettra ainsi :

- de connaître les matériaux et les formes urbaines à utiliser dans la conception;
- d'avoir une meilleure connaissance des effets des dispositions dans un contexte donné;
- d'adapter une conception au climat urbain.

Pour aller plus loin...

L'enjeu d'une bonne connaissance du phénomène d'îlot de chaleur est essentiel afin :

- de préserver un confort d'été satisfaisant dans les années à venir et notamment lors d'épisodes climatiques critiques face aux changements climatiques et canicules récurrentes d'ici la moitié du 21ème siècle ;
- de limiter les consommations d'énergie accrue pour refroidir les bâtiments ;
- de limiter l'effet sur la santé des populations ;
- de créer des puits de fraîcheur dans les espaces urbains.

Une prédiction précise d'un ICU s'avérerait utile, par exemple, pour anticiper les épisodes de forte pollution atmosphérique au centre de l'agglomération lorsque par temps calme l'excédent thermique provoque un phénomène de brise de campagne : « La convergence de ces vents faibles (1 à 3 m/s) vers le point le plus chaud, provoque, dans cet endroit, une accumulation de polluants d'autant plus importante que la brise représente une couche d'inversion d'1 à 3° plus fraîche, favorable à une concentration des polluants près du sol » (Escourrou 1991).

Si la convergence produit nécessairement une ascendance au centre de l'ICU, celle-ci n'est pas assez puissante pour évacuer les polluants lourds dans l'atmosphère.

En présence d'un type de temps clair et calme, la détermination de ces quartiers à risques se heurte à une absence de connaissance à échelle très fine de l'îlot de chaleur urbain qui permettrait de mieux connaître les lieux de convergence et de blocage des masses d'air polluées.

Bibliographie

- **Les échanges surface-atmosphère en zone urbaine - projets CLU-Escompte et Capitoul, thèse de G Pigeon 2007**
- L'îlot de chaleur urbain : une ombre sur la ville durable ?, Franck Canorel, Université du Maine,
- La ville : climat, pollutions et politiques, Yves Richard, Centre de Recherches de Climatologie UMR 5210 CNRS / Université de Bourgogne,
- Du Microclimat au bâtiment Concevoir en milieu urbain : prise en compte des interactions bâti-environnement urbain, M. Musy, Ecole Nationale Supérieure Architecture Nantes,
- Impact des modifications de l'albédo et des matériaux urbains sur la température et la qualité de l'air à Madrid, Tristan Mariethoz, Projet de Master SSIE – ENAC – EPFL,
- Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes, Stéphane Glockner,
- L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps, Olivier Cantat,
- Traité d'architecture et d'urbanisme et bioclimatique, André De Herde et Alain Liébard.