

Synthèse « Climat de ville et îlot de chaleur urbain »

Remerciements

Les remerciements sont destinés à l'[ADIVET](#) pour avoir encouragé et rendu possible cette étude, particulièrement son Président François Lassalle et son délégué national Marc Lacaille, ainsi que les membres actifs du comité « Climat de Ville » Philippe Bonnet, Philippe Driat, Claire Grosbellet, Luc Proton et Marie Ruaud. Merci également aux auteurs et éditeurs dont des publications figurent dans ce travail, qui, bien évidemment, ne prétend pas être exhaustif et qui fera l'objet d'une mise à jour en 2015.

Le remerciement principal est évidemment adressé à Yannick Clerc-Renault, futur ingénieur de l'ENTPE de Lyon et ses tuteurs, Bernard Clément et Alain Devaux, pour la participation à la réalisation des recherches et des présents documents dans le cadre d'un stage.

Patrick Stefan Rheinert, Août 2013

Préambule

« Réchauffement climatique : les villes européennes doivent investir pour se protéger.

Les trois-quarts des Européens sont des citadins. Or, les zones urbaines s'avèrent plus sensibles à l'impact des événements climatiques que les zones rurales. L'Agence Européenne pour l'Environnement recommande donc qu'elles investissent dans des dispositifs préventifs afin de limiter les coûts humains et économiques liés au réchauffement terrestre et à la multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes.

Selon l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE), les villes européennes, plus encore que les zones rurales, devraient se protéger contre les effets du réchauffement global, ceci afin d'épargner leurs populations, leurs patrimoines et leurs infrastructures. *"La composition et l'agencement particuliers des zones urbaines comparés aux zones rurales modifient les impacts du changement climatique, créant des défis nombreux et variés"*, estime l'agence qui appelle à une *"adaptation urbaine au changement climatique en Europe"*.

Ainsi, plus de la moitié des villes européennes ne possèderaient pas assez d'espaces verts, *"ce qui peut fortement intensifier les vagues de chaleur"*. Un phénomène qui inquiète les experts pour certaines villes dont la population compte beaucoup de citoyens vulnérables comme les personnes âgées (en Italie, en Allemagne ou dans le nord de l'Espagne). D'autre part, dans une cité européenne de plus de 100.000 habitants, un habitant sur cinq serait très exposé aux inondations et crues de cours d'eau, engendrant d'importantes conséquences économiques. Pour preuve, la situation de Copenhague au Danemark, victime d'un déluge en juillet 2011 et dont les dégâts ont été évalués à près de 700 millions d'euros. La capitale danoise a donc prévu, dès la construction de sa seconde ligne de métro, d'installer des bouches surélevées afin d'éviter les inondations des souterrains à l'avenir. De la même manière, Londres a construit des barrages sur la Tamise afin de se protéger de la montée du niveau de la mer.

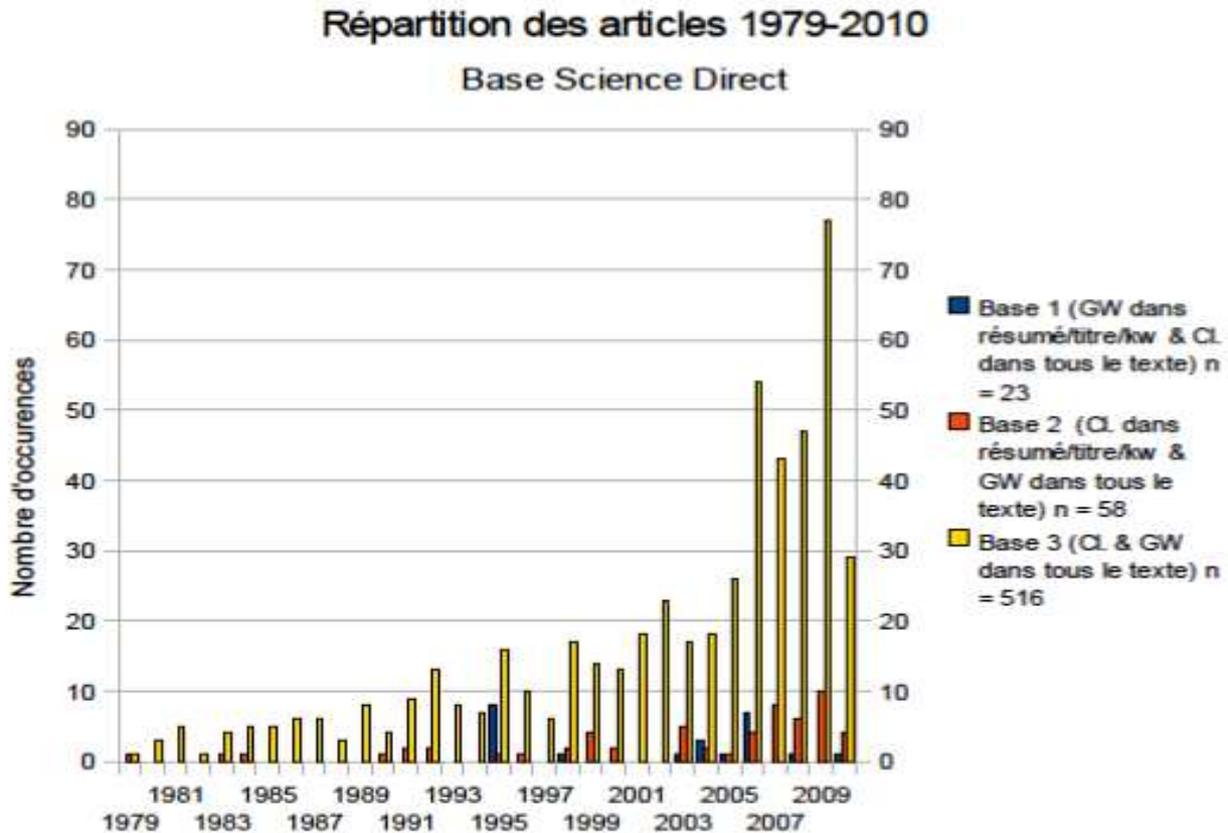
L'AEE appelle donc les villes à investir dans des dispositifs préventifs de ce type car *"plus les dirigeants politiques tardent, plus l'adaptation sera coûteuse"*, estime le professeur Jacqueline McGlade, directrice de l'organisation. » Extrait de www.batiactu.com daté du 15/05/2012

Première partie : étude bibliographique

Ce travail a été mené pour rechercher et référencer les travaux et communications scientifiques, les ouvrages et autres documents d'origine internationale, et articles de revues. Tous ces documents ont comme caractéristiques communes de traiter des thèmes suivants « Changement climatique » (sous les aspects globaux et incidences pour les villes) et « l'îlot de chaleur urbain estival ». Le regard a été restreint aux vertus des surfaces extérieures des bâtiments, sachant que l'organisation des villes et leurs îlots bâtis, les couloirs de circulation d'air, le végétal en pleine terre et la présence d'eau sont également des facteurs très importants pour le climat de ville.

Si les publications les plus anciennes sont recensées en Europe avec les observations de Luke Howard en 1820 sur la ville de Londres, depuis les années 1990, ce thème est plus majoritairement traité aux Etats-Unis, notamment à travers les articles associés à H. Akbari sur les cool roofs. Mais aussi en Europe, le thème du climat de ville devient de plus en plus important dans les publications, et de manière générale, ces publications sont principalement concentrées dans les régions aux climats tempérés à chauds. (par exemple en Grèce avec la publication notamment de [Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens](#)).

Depuis la fin du 20^{ème} siècle on constate une prise de conscience du réchauffement planétaire ([Sommet de la Terre](#) de Rio de Janeiro en 1992) et de l'influence de l'action humaine sur le climat en général et en particulier sur des villes. Ce thème est ainsi de plus en plus abordé. Ph. Boudes a fait une bibliographie historique sur le thème des trames vertes :



Source : [Ph. boudes, Changement Climatique et Trames Vertes, Rapport final de la phase d'incubation \(oct. 2009 – oct. 2010\) GIS Climat Environnement Société / ANR Trames Vertes Urbaines / UMR LADYSS](#)

Légende : GW = GreenWay ; CL = Climate ; kw = Keyword

De même, les recherches, simulations et modélisations sur le climat de ville, se multiplient depuis 2000, surtout depuis 2008. Dans un premier temps, elles traitent des conséquences d'une modification du bâtiment (cool surfaces, végétalisation) à l'échelle du bâtiment lui-même, et depuis peu aussi à l'échelle de l'îlot de chaleur. Cependant comme [EPICEA](#) (pour : Etude Pluridisciplinaire des Impacts du Changement climatique à l'Échelle de l'Agglomération Parisienne), elles restent limitées à des modélisations. Aucune étude traitant, à l'échelle d'une ville entière ou d'un îlot de chaleur l'impact des cool-roofs et de la végétalisation, n'a été trouvée. Certainement reste-elle encore à faire (un retour sur 30 années d'observations est nécessaire pour parler de changement climatique).

Deuxième partie : synthèse

0) Introduction

Les propos de [C. Marchadier](#) publiés sur le site du CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques) dans la rubrique « Modélisation, Ville & Changement climatique » feront office d'introduction.

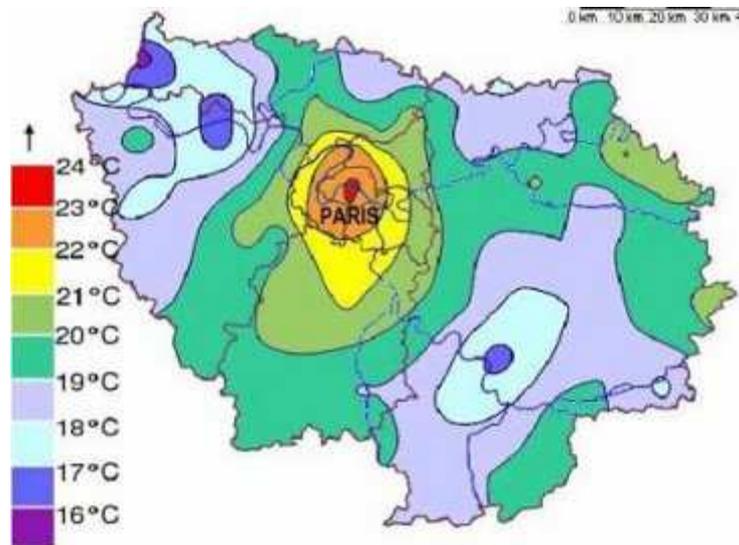
« Plus de la moitié de la population mondiale vit de nos jours en ville, cette proportion atteignant 80% dans les pays développés. De plus, les zones urbaines concentrent la grande majorité du capital (logements, distribution d'eau, infrastructures de transport). Une telle concentration de population conduit à un accroissement des préoccupations sociétales, économiques et environnementales.

A ces préoccupations s'ajoutent le microclimat spécifique des villes, la forme urbaine affectant la circulation du vent, l'humidité proche de la surface, la fréquence d'apparition des phénomènes de brouillard, et augmentant la brise urbaine et la turbulence atmosphérique. La caractéristique principale du climat urbain est l'îlot de chaleur urbain (note de synthèse : ICU).

Ce phénomène a été observé dès 1820 par Luke Howard sur la ville de Londres : il consiste en une température plus élevée dans la ville que dans les banlieues, elles-mêmes plus chaudes que les campagnes environnantes. De nos jours, cette différence de température peut atteindre 10 degrés pour les grandes agglomérations, avec des conséquences sensibles sur le confort des habitants et la santé publique, en particulier la nuit et en période de canicule.

Ce fut le cas lors de la canicule de 2003 : la vague de chaleur qui a touché l'Europe a provoqué plus de 70 000 morts, la plupart en milieu urbain (cf figure : *canicule 2003 : îlot de chaleur nocturne à Paris - moyenne de 15 nuits consécutives* - Source : *Météo France*). Les projections climatiques prévoient d'ici la fin du siècle

une augmentation de l'intensité et de la durée des vagues de chaleur, dans différentes régions du monde : il est donc nécessaire de mieux comprendre le climat urbain pour pouvoir préparer les villes à ce changement. »

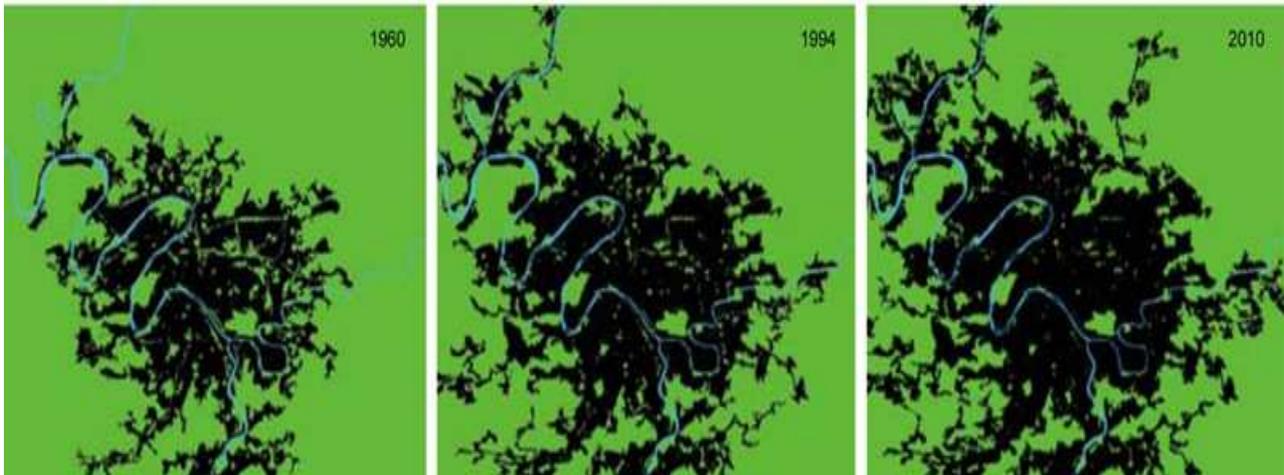


*Canicule 2003 : îlot de chaleur nocturne à Paris - moyenne de 15 nuits consécutives
- Source : Météo France*

Cette figure montre l'îlot de chaleur qui s'est créé sur la ville de Paris en 2003. La moyenne des températures nocturnes atteint 24°C pour 15 nuits consécutives. Ce genre de phénomènes extrêmes étant amenés à se reproduire de plus en plus fréquemment, il est important d'agir directement sur l'augmentation des températures en ville.

De plus, quelles que soient les politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre (tel que le CO₂, mais pas seulement), la courbe de température devrait continuer à augmenter durant des centaines d'années. En effet, la demi-vie du CO₂ est de plus de 2000 ans (c'est-à-dire le temps qu'il faut pour que la quantité de CO₂ dans l'atmosphère soit réduite de moitié en supposant qu'il n'y ait pas d'émission nouvelle) et ces effets pourraient durer jusqu'à 60 % plus longtemps que sa durée de vie dans l'atmosphère. (Eby *et al.*, [Lifetime of Anthropogenic Climate Change: Millennial Time Scales of Potential CO₂ and Surface Temperature Perturbations](#), 2009)

L'urbanisation accélérée, s'exprimant à la fois par un étalement urbain et par la densification des centres ville, est un facteur déterminant de l'effet d'îlot de chaleur, parfois désiré en hiver, mais qui représente une menace pour la santé publique et le vivre ensemble en été.



Extrait du graphique « Évolution de l'emprise de l'agglomération parisienne »
Source : [Roland Vidal, Proximités géographiques et distances culturelles entre la ville et l'agriculture](#)

Quels sont les constats et les causes décrits dans la littérature et quelles sont les approches documentées pour lutter contre les effets indésirables du climat de ville ?

Comment les bâtiments urbains peuvent devenir plus vertueux dans cette lutte ?

1) Le Climat de ville

La ville n'offre pas les mêmes caractéristiques climatiques que les campagnes et les milieux naturels.

A. Le phénomène de « smog »

Le phénomène de smog correspond vulgairement au nuage de pollution stagnant au-dessus des villes. Il est particulièrement visible dans des zones fortement industrialisées et fortes consommatrices d'énergies fossiles, comme au-dessus de Shanghai en Chine. Mais les zones moins industrielles n'en restent pas moins

touchées. Ce phénomène est plus précisément défini par le site [Environnement Canada](#) :

« Le terme smog fait référence à un mélange toxique de gaz et de particules que l'on peut souvent observer dans l'air sous forme de brume sèche. Il est associé à plusieurs effets néfastes sur la santé et l'environnement. »

Les deux principaux polluants qui composent le smog sont l'ozone troposphérique (note : troposphérique : Qui vient de la troposphère, couche de l'atmosphère la plus proche de la surface) et les particules. Les fortes densités de smog sont souvent associées à la saison estivale de par la présence de rayons du soleil et de températures élevées et avec une faible vitesse du vent. Cependant, le smog se produit toute l'année, le smog hivernal (à cause de la contribution des particules au lieu de l'ozone) étant une préoccupation sérieuse, quand l'air en stagnation accumule les polluants provenant du chauffage au bois et de l'utilisation de véhicules ». Le smog est lié à l'îlot de chaleur. En effet, H. Akbari *et al.* affirment que l'îlot de chaleur urbain n'augmente pas uniquement le besoin de refroidissement en été, il accroît également la création et l'entretien du smog de par l'augmentation des températures.

Les effets néfastes sur la santé publique dans les périodes de smog sont considérables, notamment en période de canicule. Ils touchent particulièrement les personnes vulnérables : les enfants, les personnes souffrant de troubles respiratoires et /ou cardiaques, les personnes âgées et celles qui exercent une activité physique en plein air.

B. L'îlot de chaleur urbain

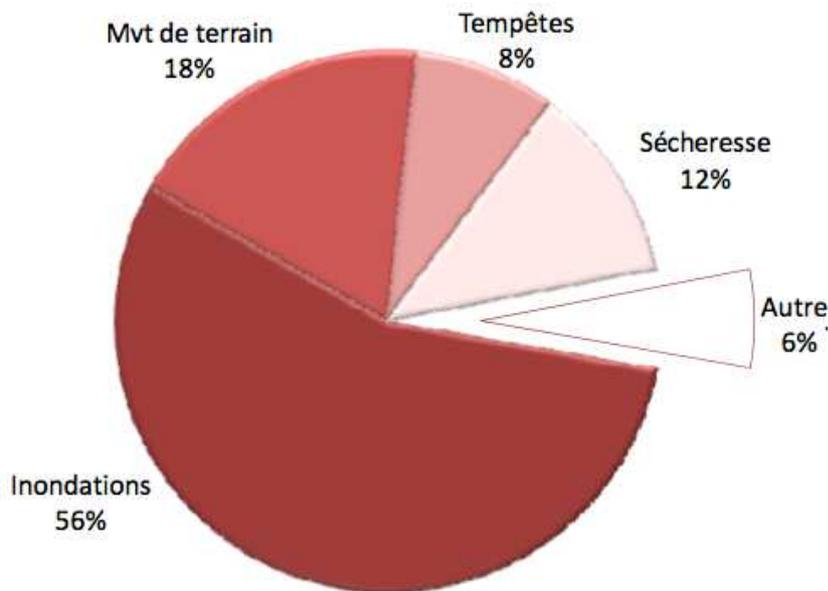
L'îlot de chaleur urbain (ICU) est l'augmentation des températures en ville par rapport aux températures des banlieues et campagnes environnantes. Cette augmentation est principalement marquée la nuit et peut actuellement atteindre 10 °C. La formation et le développement d'un ICU dépendent de nombreux paramètres, dont la vitesse du vent et la couverture nuageuse. Morris *et al.* ([Quantification of the Influences of Wind and Cloud on the Nocturnal Urban Heat Island of a Large City](#), 2000) ont observé pour la ville de Melbourne que l'îlot de chaleur urbain est inversement proportionnel à la racine quatrième de la vitesse du vent et de la couverture nuageuse. Cette variabilité dépend également de la saison. L'ICU est donc maximal pour un vent faible et peu de nuages.

L'ICU a un fort impact économique et écologique, puisque, d'après Akbari *et al.* on peut estimer que 5 à 10% de la demande actuelle en électricité aux Etats-Unis est

due à l'augmentation de 0.5-3.0°C des températures urbaines. ([Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas](#) , 2001).

C. Précipitations et vents

D'après Grady Dixon *et al.*, l'îlot de chaleur urbain aurait un impact sur les précipitations. Celles-ci seraient moins fréquentes mais plus intenses et situées à l'opposé de la ville par rapport à la provenance du vent ([Patterns and Causes of Atlanta's Urban Heat Island-Initiated Precipitation](#), 2003). L'imperméabilisation des surfaces urbaines induit ensuite une augmentation du ruissellement et des inondations en cas de fortes précipitations, ce qui rend de nombreuses villes particulièrement vulnérables et touchées. Les statistiques des assurances en témoignent.



Répartition des arrêts par nature de périls (cumul 1982-2011)

http://www.allianz-nosengagementsdurables.fr/IMG/pdf/l_assurance_des_catastrophes_naturelles_2011-anonyme_1_.pdf

La géométrie des villes ainsi que la rugosité qu'elles proposent aux écoulements de l'air sont deux caractéristiques ne permettant pas aux masses d'air de circuler correctement au-dessus et dans les villes, ce qui a un impact sur la formation et le développement de l'îlot de chaleur. En effet, les villes sont rarement construites pour laisser ouvert des couloirs de circulation du vent, tel qu'expose [Ph. Boudes](#).

2) Pistes d'amélioration du climat de ville

A. Les surfaces fraîches

Les « surfaces fraîches » sont des surfaces à faible, voire très faible [albédo](#) (albédo : rapport entre la quantité d'énergie provenant du soleil réfléchi et celle qui est reçue. Une surface à fort albédo réfléchira beaucoup d'énergie, et inversement pour une surface à faible albédo). Elles sont une première piste de recherche d'amélioration du climat de ville. D'après les études de Akbari *et al.*, en 2012 : Avec l'augmentation de l'albédo des surfaces urbaines, la réflexion des courtes longueurs d'onde du rayonnement solaire augmente. L'énergie thermique solaire est ainsi moins absorbée, conduisant à des températures de surface inférieures et à une réduction du rayonnement thermique dans l'atmosphère. D'après les études de Akbari *et al.* : Les « cool surfaces » et la végétation urbaine ont un effet sur la température de l'air urbain et peuvent réduire la demande en énergie pour le rafraîchissement ainsi que le smog. Ils estiment que 20 % de la demande en énergie aux USA peut être évitée en prenant des mesures pour modérer l'îlot de chaleur urbain. L'albédo urbain pourrait être diminué facilement et à moindre coût si les surfaces sombres étaient remplacées par des surfaces plus claires, lors des entretiens réguliers des toitures par exemple. ([Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas](#), 2001)

L'intérêt majeur est bien entendu environnemental : l'augmentation de l'albédo mondial pourrait compenser l'équivalent de 44 Gt de CO₂. (Akbari *et al.* « [Global cooling increasing world-wide urban albedos to offset CO₂](#) », 2012). Mais aussi économique, dans le même article, Akbari *et al.* estiment qu'à environ 20€/t de CO₂ émis, la compensation de 44 Gt en changeant l'albédo urbain pourrait faire économiser l'équivalent d'environ 850 Md €. De nombreuses études ont démontré des réductions de plus de 20 % dans les coûts de refroidissement pour les bâtiments dont l'albédo du toit est passé de 10-20 % à environ 60 % (aux États-Unis), les économies potentielles dépassent 770 M € / an. Cependant si les « toitures fraîches » sont efficaces pour la réduction de l'ICU, leur impact énergétique n'est pas nécessairement positif. En effet, d'après Oleson *et al.*, aux hautes latitudes, l'augmentation de l'albédo des toits est moins propice à la réduction l'ICU à cause de l'apport solaire moindre. De plus, l'augmentation du coût de chauffage en hiver doit être comptabilisée dans le bilan des « toitures fraîches ». ([Effects of white roofs on urban temperature in a global climate model](#), 2010).

Dans ce même article, ils précisent que si la latitude joue un rôle important dans l'impact de ces toitures, le matériau de construction du toit a un rôle important lui

aussi. Un matériau léger avec une faible inertie thermique ne stockant pas beaucoup d'énergie diminuera l'effet potentiel de l'augmentation de l'albédo sur l'ICU.

De plus, les effets des « toitures fraîches » ne sont pas si importants, même sur des bâtiments avec des revêtements bitumineux. Pour une température extérieure de 33°C, la température de surface des constructions munies d'un revêtement bitumineux étaient de 54°C, 50°C pour une toiture blanche et 36-38°C avec un toit végétalisé avec la même couche d'isolation thermique. (M. Weber, « [Positive Wirkungen begrünter Dächer–Zusammenstellung von positiven Fakten aus aller Welt](#) », 2011).

B. la végétalisation

A la différence de la majorité des surfaces urbaines, le végétal ne transforme que très peu de lumière absorbée en chaleur mais l'utilise pour la photosynthèse, à condition qu'il dispose de suffisamment d'eau. L'impact principal de la végétation de bâtiments sur les températures urbaines repose sur l'ombre qu'elle apporte aux surfaces qu'elle couvre et sur l'évaporation de l'eau.

- **Evapotranspiration**

L'évapotranspiration est la combinaison, au niveau de la végétation (substrat compris), de l'évaporation de l'eau provenant du substrat et stockée sur la plante ajouté à la transpiration même de la plante. Les échanges au niveau d'une feuille se font, le jour, comme suit : du gaz carbonique (CO₂) est absorbé ; de l'oxygène (O₂) et de l'eau (H₂O) sont rejetés. L'eau, pour passer de l'état liquide à l'état gazeux, a besoin d'une certaine quantité d'énergie (la chaleur latente de changement d'état). Ainsi l'évaporation de 1 m³ d'eau correspond à 680 kWh d'énergie de refroidissement. Cette énergie correspond à environ 15% du besoin annuel de chauffage pour un appartement de 100 m² en BBC 2012. Ce principe trouve de plus en plus d'application pour refroidir passivement les bâtiments à basse consommation, comme l'a expérimenté l'Université de Berlin Potsdam avec ses façades végétales. [gebaeudekuehlung](#)

- **Effet sur la thermique**

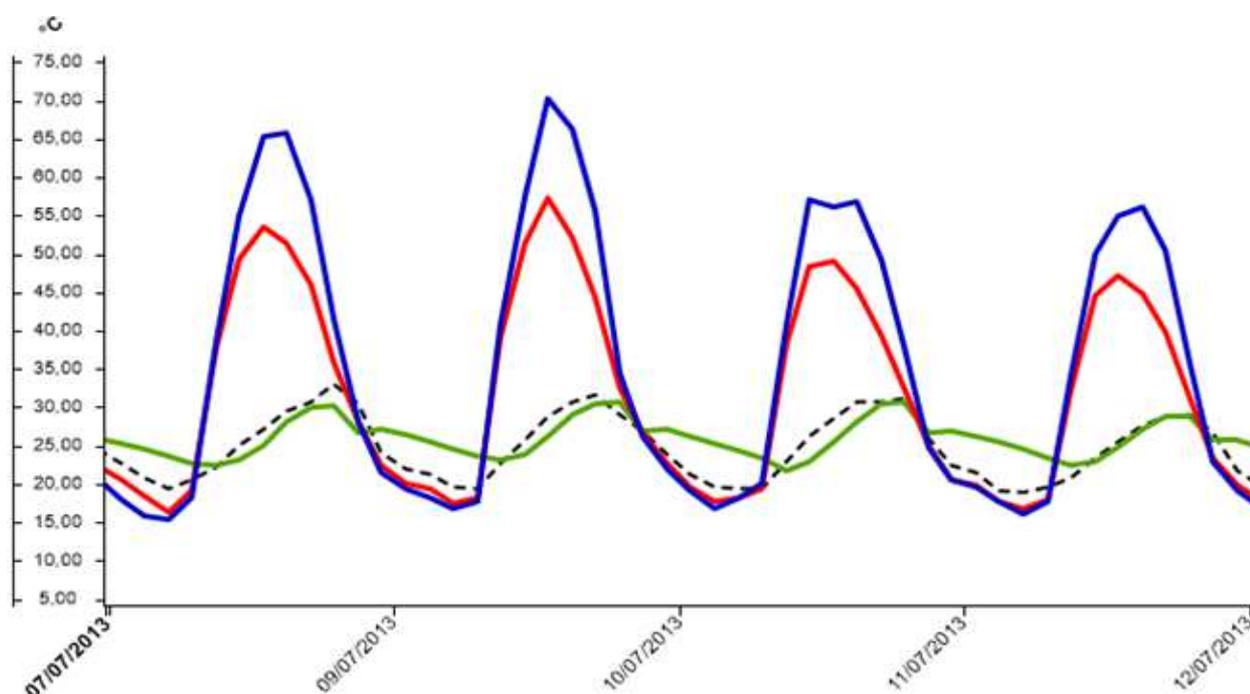
Le programme de recherche [EPICEA](#) (pour : Etude Pluridisciplinaire des Impacts du Changement climatique à l'Echelle de l'Agglomération Parisienne) a montré par modélisation l'impact de diverses pistes de recherche pour limiter l'îlot de chaleur parisien. Le scénario 2 de leur modèle prévoit l'augmentation de la

végétation en ville. Cette augmentation a lieu sur les surfaces recouvertes de terre, les chaussées et les toitures. L'impact est intéressant puisqu'il est en moyenne de 1 à 3 °C avec des impacts instantanés de 3 à 5 °C. L'impact est d'autant plus grand que la végétation est dense. Il est plus important en journée et efficace si l'évapotranspiration est possible.

La végétation a un effet sur le microclimat urbain et permet de réduire l'apport solaire sur des surfaces sans végétation qui stockeraient beaucoup d'énergie, de réduire le stockage d'énergie dans le sol, les toitures, etc. ... grâce à l'évapotranspiration. (Dimoudi *et al.*, [Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits](#), 2003).

Cet effet a été mesuré sur la toiture végétalisée expérimentale à l'échelle d'un bâtiment, [grünboX](#) à Lyon, réalisée par l'[AGENCE RHEINERT](#).

On observe, sur cet exemple (8 au 12 Juillet 2013), que la température de la tuile témoin placée sur cette même toiture, est largement supérieure à la température de l'air ambiant, elle-même dépassant la température mesurée au-dessus de la couche d'étanchéité de la toiture.



STATISTIQUES

	#1	#2	#4	#5
Min.	16,70	20,72	13,78	12,33
Max.	33,13	30,72	57,35	70,32
Moy.	24,234	25,75	30,798	33,946

- 1 --- vint Température air ext. à l'ombre [°C]
- 2 — v1 Toiture végétale extensive arrosée [°C]
- 4 — v3 Tuile canal rouge [°C]
- 5 — v4 Tôle gris soutenu RAL 7024 [°C]

L'impact de la végétation sur l'îlot de chaleur urbain est intimement lié à une disponibilité suffisante en eau. Si l'apport en eau ne pose généralement pas problème en hiver, il est le grand enjeu en période estivale et caniculaire. Car la transpiration des plantes en stress hydrique est très limitée et elle disparaît si cette période dure trop longtemps. Ce problème peut être réduit par le recours à des méthodes de gestion de l'eau plus ou moins sophistiquées. Généralement le recours à des citernes recueillant le surplus des précipitations permet de limiter les besoins en eau. Cela permet de déphaser, voire d'annuler l'injection d'eaux pluviales dans les réseaux publics (tel que dans grünboX), un atout très important dans la gestion durable de villes qui sont, dans notre pays, régulièrement victimes d'inondations.

- **Diminution du bruit**

La plupart des toitures classiques fournissent une réduction phonique pour les fréquences entre 500 et 1000 Hz d'environ 10 dB. [M. Weber](#) cite une étude menée par une firme allemande (Kalzip) qui a prouvé que le substrat d'une toiture végétale agit comme un isolant acoustique à partir du moment où son épaisseur dépasse 15-20 cm. L'augmentation du pouvoir isolant de la toiture se situe entre 8 et 18 dB selon si le substrat est sec ou non.

- **Absorption du rayonnement électromagnétique**

Le rayonnement à haute fréquence, par exemple pour la téléphonie portable, est absorbé à plus de 99% par une toiture végétale avec un substrat d'une épaisseur de 15 cm, selon une étude de l'université de Kassel et confirmée par l'institut de l'université technique de Munich. Une toiture en tuiles n'absorbe qu'environ 50 %. [Schlamm drüber - ingenieur.de](#) DVI Nachrichten N°24 6/2001.

- **Impact sur le fonctionnement des panneaux photovoltaïques**

Les cellules photovoltaïques voient leur rendement décroître avec la hausse de leur température, en moyenne 0,4 %/ °C au-dessus de leur température de fonctionnement nominale. L'implantation sur des toitures végétales permet de limiter la hausse de la température des cellules et donc de garder un meilleur rendement dans les périodes de fort ensoleillement.

- **CO₂ et fixation de particules fines et qualité de l'air**

La [FBB](#) (Fachvereinigung Bauwerksbegrünung) a confié deux études à l'Université Humboldt de Berlin, dont les résultats ont été présentés lors du congrès annuel de 2011.

La première, concernant la « fixation de particules fines en fonction du type de végétalisation du toit », a apporté le résultat qu'une végétation [sedum](#) fixe environ 10 g/m²/an. La deuxième cherche la « Vérité sur le stockage du CO₂ par les toitures végétalisées extensives » : la biomasse d'une végétalisation de 3 ans contient au moins entre 800 et 900 g/m² CO₂, quel que soit le type de végétation. Indépendamment de cette capacité de stockage, l'action continue des plantes (via la photosynthèse) d'absorber et transformer le CO₂ dépend du type de plante. Le sédum est peu actif, cependant les mousses présentent un bilan très positif de 2,2 kg/m²/an (contre 2,4 kg/m²/an pour un espace vert en pleine terre) en plus de leur faculté de retenir de grandes quantités d'eau. ([www.fbb.de](#) et [fbb.de](#) pages 27 et suivantes)

Le travail de thèse de [M. Weber](#) éclaire une grande partie des qualités de la végétalisation, notamment des toitures. Publiée en Allemagne en 2011, il répertorie les bienfaits de la toiture végétalisée à travers le monde. M. Weber affirme que végétaliser 20 % des toitures permettrait d'avoir un impact sur la pollution de l'air égal à environ 17 000 arbres plantés dans les rues à l'échelle d'une ville comme Washington. Il aborde également des aspects trop peu considérés qui sont les effets sociaux, esthétiques et psychologiques de la végétation.

Troisième partie : conclusion

Comme l'indiquent les nombreuses études qui ont pu être utilisées pour ce travail, le climat de ville est, et va devenir de plus en plus, une préoccupation d'avenir : en effet, la ville est le lieu du vivre ensemble avec de plus en plus de population, donc de plus en plus dense et vaste. Elle est le lieu de vie et de création des richesses, et pour ces raisons, particulièrement vulnérable. Elle est parfois encore un territoire de production de nourriture. D'après la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), l'agriculture urbaine nourrirait 700 millions d'habitants dans le monde, soit 10 % de la population mondiale. Inévitablement, les températures, et notamment urbaines, vont augmenter dans les années à venir. Il faut ainsi agir directement sur les conséquences de la hausse de ces températures, bien sûr parallèlement aux objectifs de limitation des émissions de gaz à effet de serre.

Si les toitures fraîches et la végétalisation ont le potentiel, surtout combinés, d'atténuer les effets d'îlot de chaleur, la végétalisation apporte de nombreux avantages supplémentaires liés à une vision de la ville en tant que lieu de vie et d'espace de biodiversité. Les solutions doivent s'adapter au climat et aux possibilités des villes, bâtiments et infrastructures. Ainsi les routes, les trottoirs, les acrotères devraient être livrés avec un albédo élevé, ou mieux encore, un albédo changeant selon les saisons (élevé en été et bas en hiver par exemple dans le cas de nos latitudes). La combinaison végétal/toitures fraîches n'est donc pas la seule possibilité pour limiter l'îlot de chaleur et l'impact de l'homme sur son environnement. De plus, comme le vent a une influence sur la concentration de polluants dans les villes (smog), et donc directement et indirectement sur l'îlot de chaleur, il est nécessaire de construire, de rénover les villes avec une attention particulière portée aux couloirs de ventilation et aux trames vertes.

Continuer à densifier nos villes sans compensation végétale aura fatalement l'effet de leur surchauffe. Inversement, selon Gill *et al.*, il serait même possible de compenser des erreurs faites dans le passé en augmentant substantiellement la surface végétalisée des villes déjà malades.

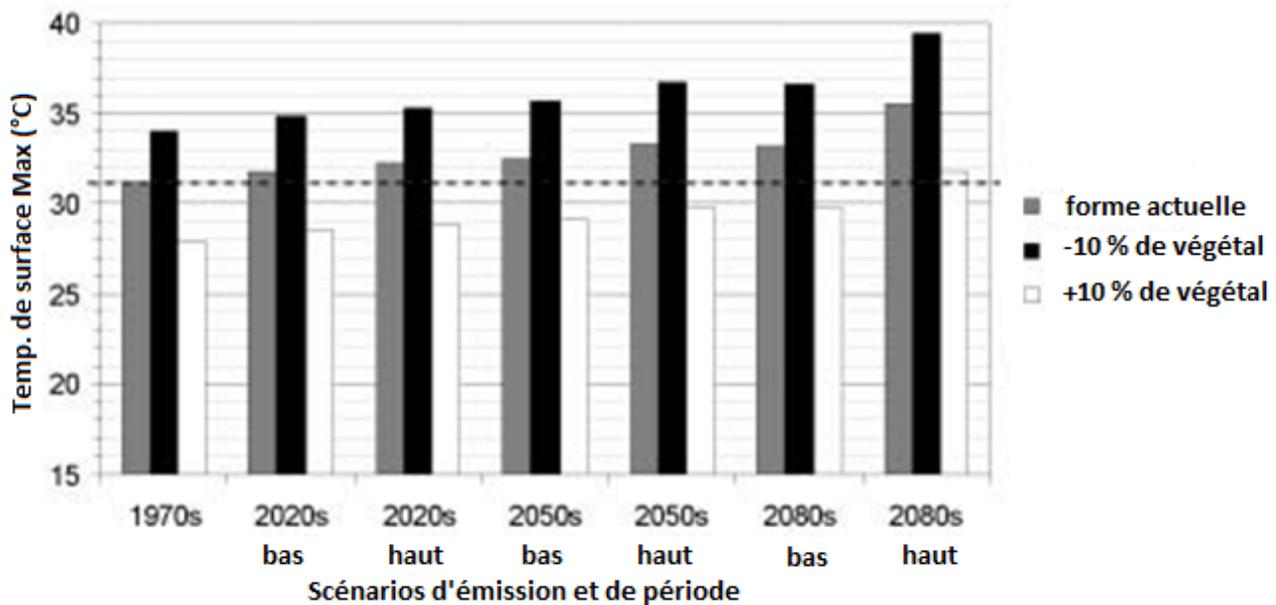


Figure : 98^e percentile (ensemble de valeur dont on a retiré les 2% de valeurs maximales) de la température de surface maximale en été dans les centres urbains, avec la forme actuelle et lorsque 10 % de la couverture végétale sont retirés/ajoutés par rapport à l'état de 1970. La ligne pointillée montre la température dans le cas de la forme actuelle 1961-1990.

Source : [Adapting Cities for Climate Change: The Role of The Green Infrastructure](#)

Ce graphique montre que, par exemple pour les années 2080, la variation de +/- 10 % des surfaces végétales impliquent un écart des températures maximales de près de 10 °C pour le scénario le plus négatif.

Cependant, si les publications se multiplient, elles se basent presque toutes sur des modèles ou alors n'intègrent les conséquences d'un traitement du bâtiment incorporant surfaces fraîches et végétalisation qu'à l'échelle du bâtiment lui-même. Il semble donc important d'obtenir et de comparer dans le temps des mesures et leur incidence sur l'îlot de chaleur urbain au niveau d'une ville ou quartier entier. Il ne s'agit pas non plus de limiter le regard uniquement à des aspects techniques, mais de l'élargir à la perception humaine, au niveau psychologique et anthropologique (rapport Homme-Nature). S'il s'avère que le seuil d'avoir trop chaud (température ressentie – voir [biométéorologie humaine](#)) est augmenté pour un citoyen de plusieurs degrés dans un cadre verdoyant, la végétalisation urbaine dans toutes ses formes est ainsi promise à un grand destin. Car il faudra trouver à tout niveau des alternatives pour la climatisation active et conventionnelle dans un contexte d'économie d'énergie et réglementaire de plus en plus contraignant, notamment dans le bâtiment, sans pour autant perdre de vue qu'il s'agit de maintenir ou de créer des lieux de vie agréables et avec un impact écologique limité.



Singapore ©Markus Schirmer

Il semble donc urgent de lancer un projet de recherche et d'observation sur une ville ou un quartier rassemblant plusieurs pays et régions. Le temps où chaque pays finance ses propres recherches trop partielles en ignorant ce que le voisin a déjà où est en train d'étudier devrait également être révolu. Une concertation internationale et une concentration des moyens s'avèrent nécessaires pour apporter à toutes les échelles des réponses plus significatives aux problématiques liées au climat de ville.