Novembre 2010

Les îlots de chaleur urbains

Répertoire de fiches connaissance

IAU
INSTITUT D'AMÉNAGEMENT ET D'URBANISME
ÎLE-DE-FRANCE

Les îlots de chaleur urbains

Répertoire de fiches connaissance

Novembre 2010

IAU Île-de-France
15, rue Falguière 75740 Paris cedex 15
Tél. : + 33 (1) 77 49 77 49 - Fax : + 33 (1) 77 49 76 02
http://www.iau-idf.fr

Directeur général : François Dugeny
Département : Christian Thibault, directeur du Département Environnement urbain et rural
Étude réalisée par Emmanuelle Valette et Erwan Cordeau
N° d'ordonnancement : 08.10.007

Crédits photo(s) de couverture : Bas Driessen/sxchu, Paul Lecroart/IAU îdF et Attila Czigany/sxchu

Sommaire

Introduction : l'effet d'îlot de chaleur urbain en pratique 5

CHALEUR ET PHENOMENES PHYSIQUES..... 7

1. Les sources de chaleur en ville 9
2. Les comportements des matériaux 11
3. Le phénomène d'îlot de chaleur urbain 13
4. Particularités franciliennes 15

CHALEUR ET POPULATIONS..... 17

1. Le confort thermique 19
2. Les risques sanitaires 21
3. Particularités franciliennes 23

CHALEUR ET NATURE..... 25

1. Le cycle de l'eau 27
2. La physiologie végétale 29
3. Le vent 31
4. La problématique d'échelle : dissémination ou grande masse ? 33
5. Particularités franciliennes 35

CHALEUR ET AMENAGEMENT 37

1. Les solutions architecturales : le retour au bioclimatisme 39
2. Les solutions architecturales : les nouveaux matériaux 41
3. Les solutions de l'aménagement : le diagnostic territorial 43
4. Les solutions de l'aménagement : l'eau en ville 45
5. Les solutions de l'aménagement : le végétal en ville 47
6. Les solutions de l'aménagement : les formes urbaines et l'urbanisme 49
7. La sensibilisation : les « balades thermiques », l'exemple de Grenoble 51
8. La sensibilisation : des réalisations franciliennes exemplaires 53

Introduction : l'effet d'îlot de chaleur urbain en pratique

De l'importance des îlots de chaleur urbains

L'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) est un phénomène physique climatique peu connu en comparaison à d'autres manifestations du même ordre comme notamment l'effet de serre responsable du changement climatique.

Il est pourtant, à l'échelle urbaine, tout aussi important, d'autant plus que l'effet de serre renforce l'effet d'îlot de chaleur en tant que moteur du changement climatique mais aussi à plus petite échelle. L'effet d'îlot de chaleur est engendré par la ville, sa morphologie, ses matériaux, ses conditions naturelles, climatiques et météorologiques, ses activités…. Mais, à l'inverse, il influence le climat de la ville (températures, précipitations), les taux et la répartition des polluants, le confort des citadins, les éléments naturels des villes…

L'effet d'ICU est donc une donnée urbaine à prendre en considération dans la conception et la gestion de la ville, cependant, force est de constater que les différentes politiques urbaines sont encore loin de réellement tenir compte de ce phénomène qui nécessite – et nécessitera encore plus à l'avenir si l'on ne fait rien aujourd'hui – une adaptation raisonnée de la ville. A l'heure actuelle, les différents documents de planification et d'urbanisme (SDRIF, PCET, SCoT…) sont encore assez peu avancés sur le sujet notamment lorsqu'on les compare à des documents étrangers équivalents.

Le répertoire de fiches connaissance

Ainsi, ce répertoire de fiches connaissance a pour but de réunir, sous un format clair et pédagogique, les différents thèmes reliés à la problématique des îlots de chaleur urbains.

Le premier, « Chaleur et phénomènes physiques », a pour but de resituer les différents mécanismes à l'origine et engendrés par l'ICU pour en comprendre le fonctionnement.

Le deuxième thème, « Chaleur et populations », décrit les conséquences des ICU sur les citadins, en termes de températures et de nuisances (inconfort) ou de risques sanitaires.

Le troisième, « Chaleur et nature », expose les liens forts qui existent entre les éléments naturels (eau, végétation et vent) et les îlots de chaleur.

Enfin, la quatrième partie, « Chaleur et aménagement », s'ouvre vers les solutions à apporter en termes d'architecture, de gestion et de conception urbaine.

Chaque partie est enfin complétée, dans sa dernière fiche, par un récapitulatif concernant le particularisme de l'Île-de-France par rapport au thème considéré.

CHALEUR ET PHENOMENES PHYSIQUES

L'îlot de chaleur urbain est en premier lieu un phénomène physique. Se caractérisant par des différences de températures il est conséquence des apports de chaleur naturels et anthropiques et des conditions climatiques et météorologiques des espaces où il apparaît.

Phénomène propre à la ville, il est de fait engendré par elle, ses activités, sa forme et ses matériaux.

Pour comprendre comment fonctionne un îlot de chaleur urbain il faut donc connaître les mécanismes et les paramètres physiques qui en sont à l'origine.

1. Les sources de chaleur en ville

2. Les comportements des matériaux

3. Le phénomène d'îlot de chaleur urbain

4. Particularités franciliennes

CHALEUR ET PHENOMENES PHYSIQUES

1. Les sources de chaleur en ville

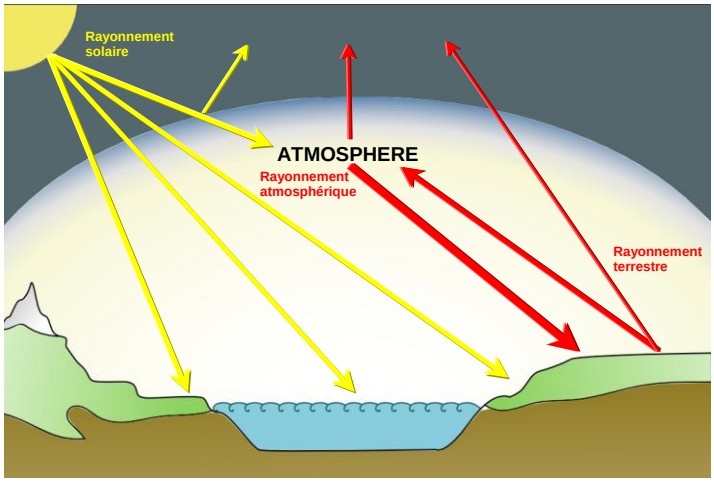
Source : Guignard (Philippe) La Documentation Française, IAU-ÎdF, Région Île-de-France

La chaleur ressentie en ville par les citadins peut avoir diverses origines, naturelles ou anthropiques. Ces chaleurs, produites ou reçues contribuent à la différence de températures observée entre ville et campagne et à l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Le chauffage naturel de la Terre

Le Soleil est la source d'énergie (et donc de chaleur) de la Terre. Les rayons émis par le Soleil traversent l'espace jusqu'à l'atmosphère terrestre. 30 % de cette énergie est renvoyé dans l'espace par l'atmosphère, les continents et les océans, le reste est absorbé et sert donc à « chauffer » l'atmosphère et la surface terrestre.

A ces apports directs d'énergie par le Soleil, s'ajoutent les rayonnements émis par l'atmosphère et la surface terrestre, car, afin de rester en équilibre, le système terrestre perd continuellement de l'énergie sous forme de rayonnement infrarouge. De l'énergie qu'elle reçoit, l'atmosphère en rayonne donc une partie vers l'espace, l'autre vers la surface terrestre ce qui contribue encore plus largement que les rayons solaires à sa température. De même, la surface renvoie des infrarouges vers l'espace (10 %) et vers l'atmosphère.



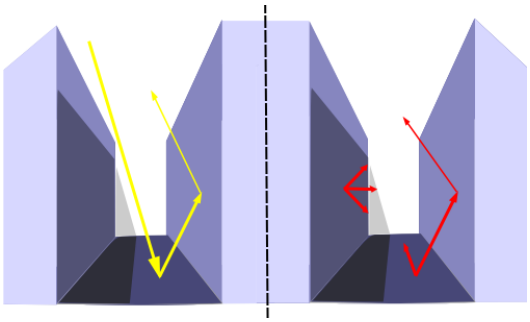
Le chauffage de l'atmosphère et de la surface de la Terre

L'œil humain ne perçoit qu'une partie du rayonnement solaire, celle située dans la partie visible du spectre (de 380 nm à 780 nm), soit 40 % de l'énergie reçue par la Terre. Sinon, 50 % de l'énergie solaire nous arrive dans le proche infrarouge et 10 % sous forme d'ultra-violets. Moyennée sur l'année et sur l'ensemble de la Terre, l'énergie solaire qui arrive est de 342 Watts par m² (cnrs.fr)

Les transferts de chaleur en ville

Par rayonnement

A l'échelle de la ville, l'énergie reçue du Soleil et de l'atmosphère est à son tour absorbée et réfléchie en partie par les matériaux de la ville. Lorsqu'elle est absorbée, elle chauffe les bâtiments et les différents revêtements et couverts urbains ; la partie réfléchie est renvoyée.

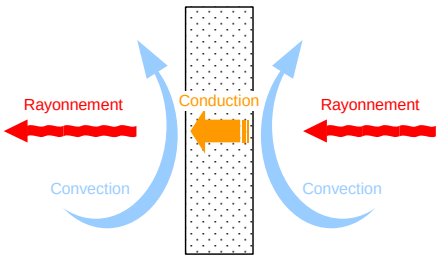


La particularité de la ville réside ici dans la multitude de surfaces sur lesquelles peut être envoyée l'énergie. Ainsi, le rayonnement renvoyé par un bâtiment peut l'être sur un autre, qui à son tour absorbe une partie de l'énergie et en renvoi une autre. De plus, tout comme la surface terrestre et l'atmosphère, la ville émet un rayonnement infrarouge qui à son tour est intercepté par les surfaces qu'il frappe et qui le réfléchissent.

Rayonnement solaire et rayonnement infrarouge en ville

Par convection et conduction

On observe également un phénomène de convection, lorsque l'air est chauffé par la ville et s'élève car il se dilate et devient alors plus léger que l'air froid. En montant, il se refroidit et retombe. C'est ainsi que se crée un « dôme » au-dessus de la ville où les masses d'air se déplacent dans un mouvement ascendant.



La chaleur se diffuse également dans les matériaux par conduction : si un mur est chauffé par le soleil à l'extérieur, ou un système de chauffage à l'intérieur d'un bâtiment, cette chaleur va se diffuser à travers le matériau du mur. C'est pour cette raison qu l'on observe des pertes de chaleur des bâtiments en hiver lorsque les logements et bureaux sont chauffés (La conduction vise à rétablir l'équilibre de température).

Rayonnement, convection et conduction sur une paroi

Les sources anthropiques

A la chaleur naturelle, vient s'ajouter une chaleur directe ou indirecte produite par les activités humaines comme les transports, l'industrie le chauffage ou la climatisation.

Ces rejets de chaleurs perturbent l'équilibre thermique de la Terre dont la température moyenne est de 15 °C. En effet, en rejetant des gaz à effets de serre (GES) dans l'atmosphère, les activités humaines augmentent sa capacité à absorber le rayonnement infrarouge, et donc sa température.

A l'échelle de la ville, l'apparition des ICU est également due à l'addition des chaleurs anthropiques à la chaleur naturelle. Lorsque cette dernière est déjà élevée, notamment à cause du rayonnement infrarouge réfléchi de multiples fois, les chaleurs anthropiques accentuent le phénomène et rendent la ville difficilement supportable en terme de température.

Références :

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) : *cnrs.fr*

Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble : *Grenoble.archi.fr*

CHALEUR ET PHENOMENES PHYSIQUES

2. Les comportements des matériaux

Source : etinerando.it

La ville stocke plus de chaleur que la campagne. Ceci est principalement dû aux propriétés des matériaux qui composent les bâtiments, les voies de circulations et les infrastructures. Leur comportement par rapport au rayonnement et à la chaleur est différent de celui de la terre nue ou végétalisée que l'on trouve plus facilement à la campagne.

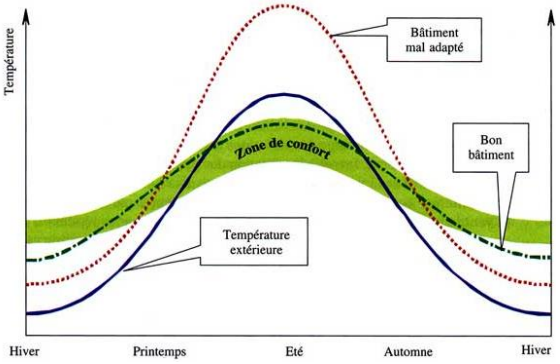
L'inertie thermique

Le principe d'inertie thermique peut se résumer comme la capacité d'un matériau à accumuler puis à restituer un flux thermique. Plus le temps d'absorption et de restitution est long, plus le matériau est thermiquement inerte. La capacité thermique représente la quantité de chaleur qu'un matériau peut stocker puis restituer.

Cette capacité dépend de trois paramètres propres à chaque matériau : la capacité de conductivité, c'est-à-dire la capacité à répartir la chaleur dans un matériau, la capacité thermique massive, à savoir la capacité de réchauffement d'un matériau, et la densité, le rapport entre sont poids et son volume.

De manière générale, plus un matériau est lourd et épais, plus il est inerte : la chaleur circulera moins vite à l'intérieur et il mettra plus de temps à atteindre une température uniforme. De plus, il faudra qu'il reçoive un flux thermique important pour monter en température. Mais, à l'inverse, une fois chaud, il mettra tout autant de temps à se refroidir.

Ce principe d'inertie est une des premières raisons de la formation des îlots de chaleur urbains car les matériaux de construction ont une inertie thermique bien plus grande que la terre. A titre d'exemple, le béton ordinaire à une capacité thermique de 2 400 à 2 640, la terre sèche de 1 350 (en KJ/m^3.°C – Kilo Joule par mètre cube par degré Celsius).

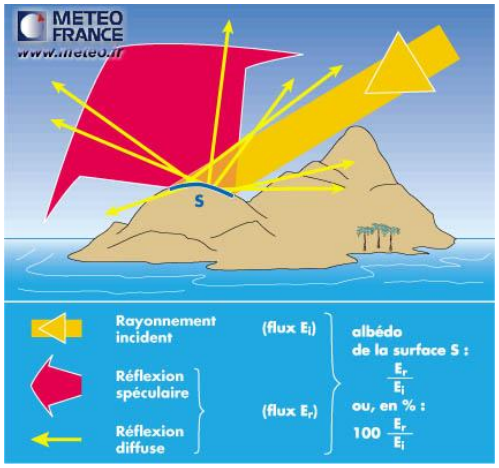


Le principe de l'inertie thermique

Source : forumconstruire.com

L'albédo

L'albédo est le deuxième paramètre des matériaux qui influe sur leur comportement face à la chaleur, il représente l'énergie solaire réfléchie par rapport à l'énergie solaire reçue (Energie réfléchie / Energie reçue).



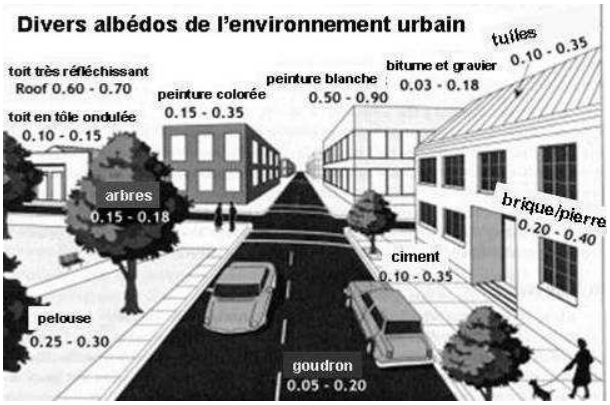
L'albédo correspond au rapport entre énergie reçue et énergie réfléchie

Source : Météofrance

L'albédo s'exprime en fraction de 0 à 1, où 1 représenterait une surface qui réfléchirait 100 % de l'énergie et 0 une surface qui absorberait entièrement les rayonnements sans aucune réflexion. Ainsi, une surface dont l'albédo est inférieur à 0,03 (ou 3 %) est perçue comme noire, celle dont l'albédo est supérieur à 0,8 (ou 80 %) est perçue comme blanche. Une surface parfaitement blanche ou un miroir parfait réfléchi 100 % de la lumière, et a donc un albédo de 1, à l'inverse, une surface parfaitement transparente ou d'un noir parfait a un albédo de 0.

Appliquée aux matériaux urbains, cette donnée physique détermine leur capacité d'absorption ou de réflexion de l'énergie reçue et ainsi leur température. Un matériau à faible albédo absorbe plus d'énergie, et donc de chaleur, sa température de surface (c'est-à-dire à son contact) sera alors plus élevée.

L'albédo moyen du globe terrestre est de 0,28 (0,34 pour les continents, 0,26 pour les océans). En ville, on mesure des albédos très variés : 0,07 pour l'asphalte ou le goudron, 0,20 pour du béton brut, 0,4 pour des tuiles.



Les albédos de la ville

Source : Colombert, 2008

La combinaison de l'inertie thermique et de l'albédo

Lorsque l'on prend en compte les deux principes physiques que l'on vient de voir, on comprend comment les matériaux urbains réagissent par rapport à l'énergie qu'ils reçoivent et comment fonctionne l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Si l'on prend l'exemple du béton brut, on voit qu'il a une inertie thermique assez élevée et un albédo faible, il absorbe donc près de 80 % de l'énergie qu'il reçoit. Ainsi, le béton soumis aux rayonnements solaires, mais aussi aux rayonnements de réflexion (cf. fiche n°1), va se réchauffer lentement mais sa capacité thermique et son albédo lui permettent d'emmagasiner beaucoup de chaleur. Lorsqu'il ne reçoit plus d'énergie, il commence à se refroidir, tout aussi lentement alors que la température de l'air extérieur qui l'entoure a déjà beaucoup baissé.

Références :

Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble : *Grenoble.archi.fr*

Météo France : *comprendre.meteofrance.com*

CHALEUR ET PHENOMENES PHYSIQUES

3. Le phénomène d'îlot de chaleur urbain

Source : Jules (Jean-Guy), IAU-ÎdF

L'îlot de chaleur urbain (ICU) se caractérise par l'observation de températures plus élevées dans une zone urbaine que dans son environnement immédiat. Ces augmentations de températures sont la première manifestation de l'influence de la ville sur son site et son environnement naturel et résulte de la combinaison de plusieurs facteurs : situation géographique et climatique, saisons, météo, mais aussi caractéristiques propres à la ville (modèle d'urbanisation, relief…)

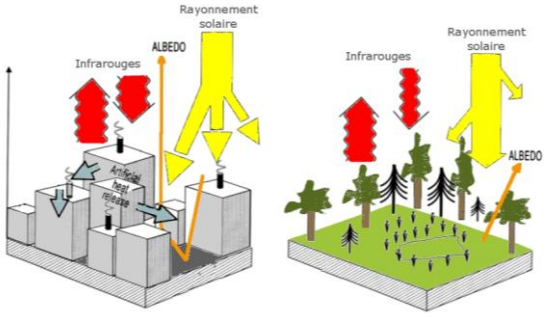
Caractéristiques

L'ICU se manifeste tout d'abord par des différences parfois très importantes entre le centre chaud et la périphérie plus froide, particulièrement lors des *minima* de température en fin de nuit où l'écart peut être de près de 16°. L'augmentation des températures ne se trouve pas seulement sur la couche la plus basse de l'atmosphère en contact direct avec la ville. On observe également un dôme de chaleur en altitude. De plus, ce dôme est irrégulier, on peut ainsi, à une même altitude, observer des différences de températures importantes.

Ce réchauffement de la zone dense de la région a alors des conséquences sur le nombre de jour de gel et de couverture de neige, et fait diminuer l'humidité relative de l'air, car l'augmentation des températures limite la pression de vapeur d'eau dans l'air. De plus, l'imperméabilisation des sols en ville s'accompagne du recueil immédiat des eaux de pluie qui sont ensuite rejetées vers les cours d'eau via les réseaux d'eaux pluviales. Le taux de vapeur d'eau dans l'air diminue puisque qu'il n'y a presque pas d'évaporation. Cette baisse de l'humidité relative des villes entraîne à son tour une baisse du nombre de jours de brouillards et de leur intensité. L'îlot de chaleur a enfin des effets sur le régime des précipitations en multipliant les épisodes orageux ou d'averses car la chaleur au niveau de la ville fait remonter les masses d'air par convection et rend ainsi l'atmosphère instable.

Le modèle d'urbanisation

La cause principale des îlots de chaleur est le modèle d'urbanisation et de développement de la ville.



La ville concentre par nature de nombreuses activités humaines émettrices de chaleur (cf. fiche n°1). De plus, le comportement des matériaux urbains fait qu'ils emmagasinent de la chaleur (cf. fiche n°2) qu'ils restituent plus tard, une fois que la température de l'air est redescendue. Ainsi, le flux thermique de l'atmosphère urbaine reste toujours positif.

Flux d'énergie et de rayonnement au-dessus d'une zone urbaine et d'une zone rurale

Source : Colombert, 2008 (simplifié)

La densité de construction entre également en jeu. Tout d'abord, les bâtiments déploient des surfaces de réflexion des rayonnements infrarouge (cf. fiche n°1). De plus, ils font obstacle aux écoulements d'air qui dissipent la chaleur. Au niveau du sol, la vitesse du vent est sensiblement plus faible qu'au-dessus des bâtiments qui freinent la circulation de l'air, ce que l'on appelle la longueur de rugosité (ou simplement, par abus de langage, rugosité). Cette rugosité dépend de la surface sur laquelle s'écoule l'air : plus le milieu comporte des obstacles, plus il est rugueux. Ainsi, la mer à une rugosité de 0,005 (5.10^{-3}) mètres ; une forêt ou une zone urbaine peuvent alors avoir plus d'1 mètre de longueur de rugosité.

Enfin, la ville possède moins de moyens de rafraîchissement naturels que la campagne. La végétation et l'eau ont un important pouvoir de rafraîchissement de l'air grâce à l'évaporation et l'évapotranspiration. Or, elles sont beaucoup moins présentes en ville, d'autant plus que les eaux de pluies sont directement évacuées dans les canalisations.

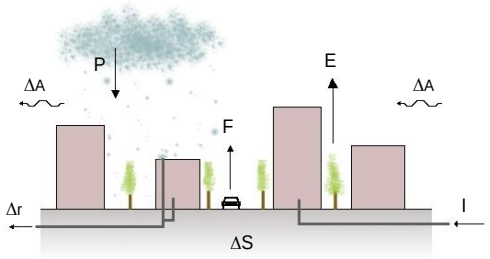


Schéma descriptif du bilan hydrique pour une zone urbaine

Réalisé à partir de Colombert, 2008

P : Précipitations ; F : vapeur d'eau provenant des processus de combustion ; I : eau apportée artificiellement par les canalisations ; E : vapeur d'eau des processus d'évaporation, d'évapotranspiration et de condensation ; Δr : ruissellement et évacuation ; ΔS : emmagasinement dans la ville ; ΔA : vapeur d'eau transportée par advection (déplacement horizontal des masses d'air).

Des contrastes à l'intérieur de la ville

Cette influence de la forme urbaine à l'échelle de la ville sur le climat se retrouve également à l'échelle de la rue et du quartier en fonction de la forme des îlots urbains et de leur orientation. Ainsi, on peut repérer de micros ICU dans des quartiers très denses par rapport à d'autres au tissu urbain plus lâche ou à proximité d'un espace vert ou d'un plan d'eau.

Références :

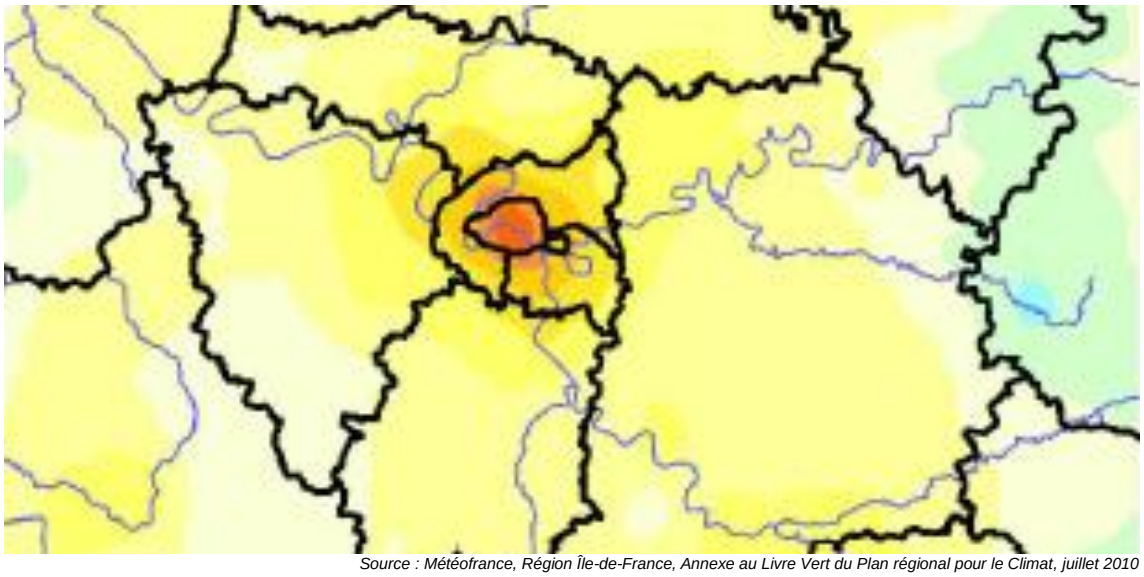
Cantat O., « L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps », *Norois*, n°191, février 2004

Colombert M., *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville*, Thèse de doctorat Génie urbain, Université Paris-Est, 2008

Escourrou G., *Climat et micro-climat urbain, pollution atmosphérique et nuisances météorologiques localisées*, IAURIF, 1996

CHALEUR ET PHENOMENES PHYSIQUES

4. Particularités franciliennes



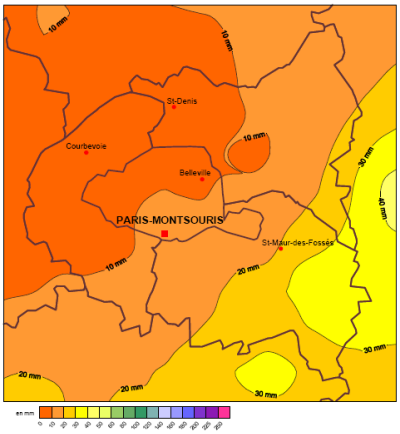
Source : Météofrance, Région Île-de-France, Annexe au Livre Vert du Plan régional pour le Climat, juillet 2010

Le climat francilien

Le climat d'Île-de-France se caractérise par la convergence de différentes influences climatiques : atlantique à l'ouest, méridional au sud, et médio-européen à l'est et au sud-est de la région. Ces influences dépendent grandement de la topographie (plateaux, vallées…) et des vents dominants.

Le mois de janvier est le mois le plus froid en Île-de-France. Les normales de températures indiquent 2,5 °C en températures minimales et 6,9 °C en températures maximales. Le mois le plus chaud est le mois d'août avec des normales maximales de 24,6 °C.

La durée d'ensoleillement annuelle est de 1 630 heures, ce qui classe la région dans la moyenne de la moitié nord de la France. Le mois d'août est celui qui reçoit le plus de rayonnement solaire avec 229 heures, le mois de décembre, celui qui en reçoit le moins avec seulement 46 heures.



En ce qui concerne les pluies, les différences mensuelles sont moins marquées : le mois le plus sec est le mois d'août (43 mm), suivi du mois de février (44 mm) ; les mois les plus arrosés sont mai et juillet avec respectivement 65 et 63 mm. On compte en moyenne 111 jours avec précipitations par an pour une hauteur de 649,8 mm, ce qui classe l'Île-de-France parmi les régions les plus sèches derrière des régions du sud-est de la France (Rhône-Alpes, Midi-Pyrénées, Languedoc, PACA et Corse).

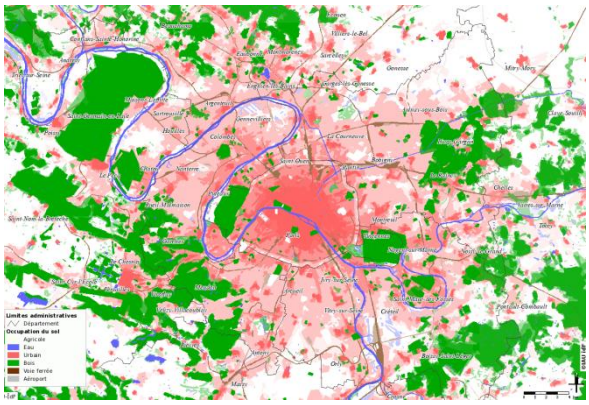
Précipitations du mois d'août 2009

Source : meteofrance.com

L'intensification métropolitaine

La densité urbaine et l'utilisation de modes de transports émetteurs de chaleur sont deux éléments clés dans la formation des îlots de chaleur urbains.

Si Paris et son agglomération sont depuis longtemps le centre économique et politique de la France, leur développement en tant que métropole est récent. Au début du XXe siècle, l'urbanisation dépasse à peine les frontières de Paris en première couronne. Cependant, la densité bâtie au centre de Paris pose déjà des problèmes sanitaires, notamment la présence de nombreux cas de tuberculose. Ce n'est pourtant qu'après la Seconde Guerre Mondiale que la région parisienne va radicalement se transformer : les îlots insalubres sont détruits, de grands projets d'aménagement sont lancés (construction des tours du XIIIe arrondissement, du quartier Crimée dans le XIXe…) ainsi que de grandes infrastructures routières qui favorisent grandement le transport individuel alors en plein essor.



L'urbanisation de Paris du XVIIIe siècle à nos jours

Etapes de l'urbanisation (du rose foncé au rose clair) : deuxième moitié du XVIIIe siècle, première moitié du XIXe siècle, 1900, 1960, 1994.

Source : IAU-ÎdF

C'est également le moment où se développent les banlieues et le péri-urbain : l'urbanisation s'étend de plus en plus loin de la capitale, qui, grâce au développement des moyens de déplacement (automobile mais aussi RER) permet à chacun d'avoir plus d'espace tout en travaillant à Paris. En corollaire, les espaces ruraux de la région, forêts et espaces agricoles, régressent de plus en plus.

Ainsi, les causes des ICU ont toujours été présentes en région parisienne : la densité de population au centre de Paris a baissé par rapport à la situation des siècles précédents, mais reste toujours très forte par rapport à d'autres grandes métropoles, d'autant plus que la densité bâtie du tissu haussmannien est l'une des plus élevée. De plus, si l'étalement urbain de la deuxième moitié du XXe siècle a permis de la faire baisser, il a d'une part favorisé le développement de l'utilisation de la voiture individuelle, source de GES et de chaleur et d'autre part entraîné la perte d'une grande partie des espaces naturels qui permettent de rafraîchir l'atmosphère. Enfin, si aujourd'hui le mot d'ordre est à la densification urbaine pour préserver les espaces ruraux et réduire l'utilisation des transports, ce retour fait resurgir la question de la concentration des activités et des habitations qui favorisent l'apparition des ICU.

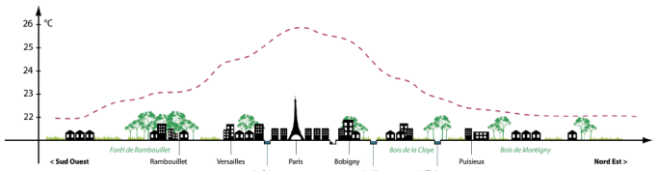


Schéma de l'îlot de chaleur au-dessus de l'agglomération parisienne

Source : Descartes, 2009

Références :

IAURIF, *Appréhender la densité 1. Les repères historiques*, Note rapide sur l'occupation du sol n°382, juin 2005

Météo France : *climat.meteofrance.com*

Région Île-de-France, *Plan régional pour le climat, Livre vert : Etat des lieux des enjeux climatiques*, juillet 2010

CHALEUR ET POPULATIONS

La chaleur en ville, et a fortiori l'effet d'îlot de chaleur urbain ont des conséquences directes sur les citadins.

Le corps humain s'adapte naturellement aux changements de températures, mais seulement dans une certaine mesure qui dépend notamment de l'âge.

Au-delà de certains seuils, nous devons adapter nos comportements et savoir nous protéger.

Il est donc indispensable de connaître les effets de la chaleur sur les populations pour pouvoir prévenir les conséquences des ICU.

1. Le confort thermique

2. Les risques sanitaires

3. Particularités franciliennes

CHALEUR ET POPULATIONS

1. Le confort thermique

Source : Lacombe (Denis), IAU-ÎdF

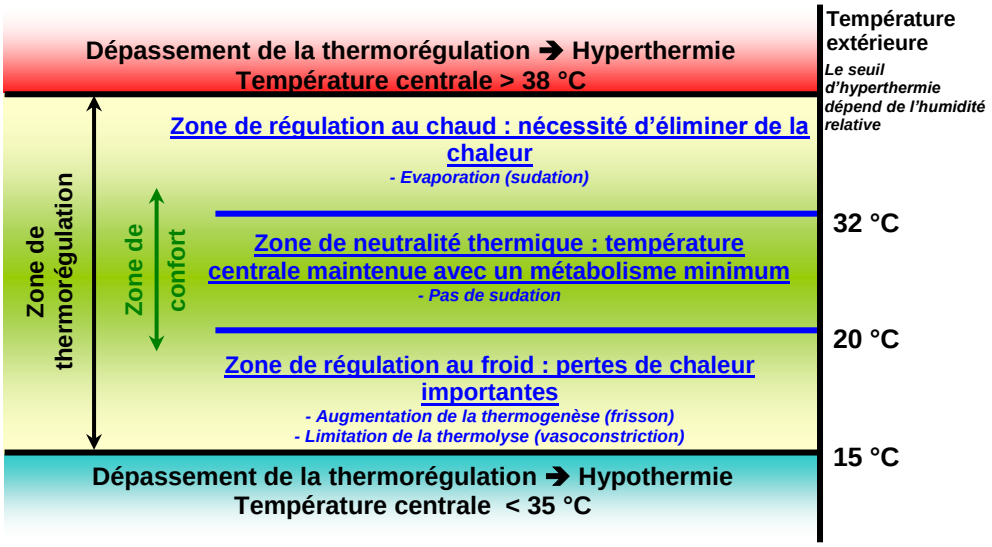
La physiologie humaine face à la chaleur

Le corps humain à une température centrale moyenne de 37 °C, indépendante de la température de son environnement (contrairement aux animaux à sang froid tels que les reptiles dont la température corporelle dépend directement des conditions extérieures). Pour maintenir cette température constante, le corps humain produit ou gagne de la chaleur et, par conséquent pour maintenir un équilibre, en perd une quantité équivalente.

La thermogenèse (production de chaleur par le corps) est permanente, elle est liée au métabolisme du corps, c'est-à-dire tous les mécanismes qui le font fonctionner (rythme cardiaque, activité digestive et cérébrale, foie…). La production de chaleur varie ensuite selon l'activité du sujet : lorsque l'on dort le métabolisme ralentit ses fonctions, on produit moins de chaleur ; l'exercice musculaire génère à l'inverse, parfois de manière considérable, de la chaleur.

La thermolyse (perte de chaleur) peut se faire de différentes manières. On perd en permanence de la chaleur selon les mêmes mécanismes de transfert que la surface terrestre : conduction (souvent négligeable), convection (réchauffement de l'air en contact avec la peau, accru par le vent) et rayonnement (cf. « chaleur et phénomènes physiques, fiche n°1). Enfin, le corps perd également de la chaleur par évaporation, tout d'abord de manière obligatoire par la respiration, mais aussi par la sudation, élément clé de la régulation de chaleur et raison pour laquelle on doit s'hydrater lorsqu'il fait chaud afin de ne pas perdre trop d'eau.

Cependant, ces mécanismes ont des limites : lorsqu'il fait trop froid, le corps ne peut plus s'adapter, il entre en hypothermie ; lorsqu'il fait trop chaud il atteint l'hyperthermie. Les seuils d'hyperthermie et d'hypothermie varient selon les individus, les activités, l'habillement et le taux d'humidité. Cependant, si l'on considère un homme nu, à jeun et au repos, dans des conditions d'humidité relative moyenne, le seuil de température maximum se situe aux alentours de 40 °C et le seuil bas à 15 °C. Au-delà, les simples mécanismes de thermorégulation ne suffisent plus, l'adaptation se fait par le comportement (activité physique, habillement, habitat…)



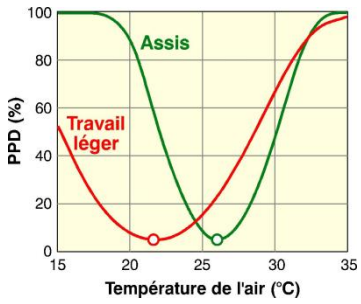
Thermorégulation, seuils de risques et confort thermique

Source : med.univ-angers.fr et smbh.univ-paris13.fr

La notion de confort thermique

La chaleur est l'un des éléments essentiels pour le confort et le bien-être humain. Le confort thermique est associé à une relation d'équilibre entre la température extérieure et la température centrale. Lorsque cette relation est en équilibre on ressent une sensation de confort, ni trop chaud ni trop froid. A l'inverse, lorsque les températures sont trop différentes – trop froid ou trop chaud – on ressent un inconfort qui pousse le corps à retrouver un équilibre grâce aux mécanismes de thermorégulation.

La notion de confort est avant tout subjective, elle dépend des individus, des époques et des cultures (luxe *vs.* confort), des activités, de l'habillement, des conditions d'humidité et de températures… Il est cependant possible d'objectiver la notion de confort thermique grâce à des indices comme le PPD (*Predicted Percent of Dissatisfied* – Pourcent prédit d'insatisfaits) qui permet d'évaluer le pourcentage maximum de personnes satisfaites de l'ambiance thermique d'un lieu en fonction de leur activité et de leurs vêtements. La norme française reprend ce principe en définissant la situation idéale telle que seulement 5 % des gens soient insatisfaits.



Températures de confort thermique (en °C) pour différentes activités et deux types de vêtements *Source : inrs.fr*		
Nature de l'activité	**Tenue légère** (chemisette et pantalon léger)	**Tenue courante** (pantalon et chemise)
Repos complet	28,2	27,7
Travail léger	23 à 24,2	20,9 à 22,5
Travail modéré	17	15
Travail lourd	14,5	11,3
Travail très lourd	10,5	6 *(extrapolée)*

Evolution du PPD en fonction de la température ambiante selon les activités

Source : energie2.arch.ucl.ac.be

Références :

Faculté de médecine d'Angers : *med.univ-angers.fr*

Institut national de recherche et de sécurité (INRS) : *inrs.fr*

UFR de Santé, médecine et biologie humaine de l'Université Paris 13 : *www-smbh.univ-paris13.fr*

CHALEUR ET POPULATIONS

2. Les risques sanitaires

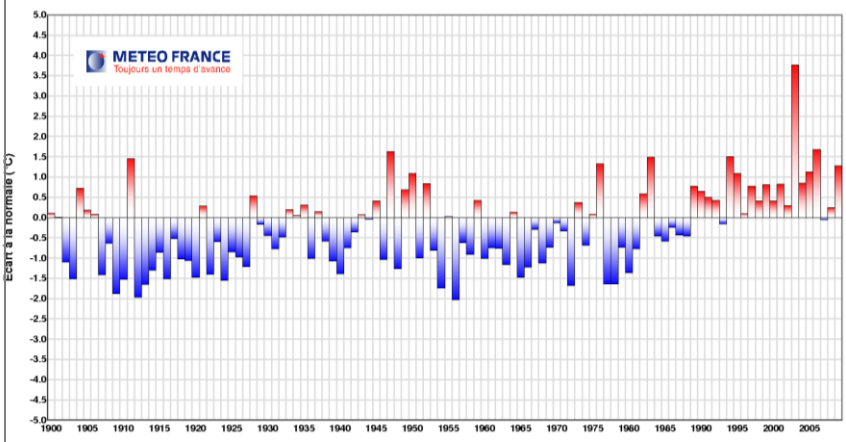
Source : ryan.vollard, Flickr.com

Le premier intérêt de la lutte contre les îlots de chaleur urbains est de diminuer les risques sanitaires qui lui sont liés, particulièrement les risques liés aux canicules, mais aussi les problèmes, notamment respiratoires, dus à la pollution des villes.

Les canicules

Les canicules sont en effet le premier risque pris en compte dans la lutte contre les ICU. La canicule de l'été 2003 et dans une moindre mesure celle de 2006, ont mis en évidence les problématiques de santé lors des périodes de forte chaleur.

Il n'existe pas de définition officielle d'une canicule, cependant, le Plan national Canicule prévoit trois niveaux d'alerte. Un premier est déclenché automatiquement du 1er juin an 31 août et permet juste un suivi étroit des conditions météorologiques et sanitaires afin de pouvoir anticiper le risque. Le deuxième niveau correspond effectivement à une canicule : il est fixé selon les départements par rapport à des niveaux de températures diurnes et nocturnes, avec peu d'amplitude sur une période prolongée de plusieurs jours. Dans le cas de Paris et de la région d'Île-de-France, ces seuils sont fixés à 31 °C le jour et 21 °C la nuit pendant trois jours consécutifs.



La canicule d'août 2003 a été la plus importante depuis le début du XXe siècle avec un écart à la normale de 3,8 °C sur l'été en France métropolitaine.

Température en France en été (juin-juillet-août) depuis 1900

Source : météofrance

Ecart à la moyenne de référence 1971 – 2000

Les populations à risques

La canicule de 2003 a eu de lourdes conséquences sanitaires : plus de 15 000 décès supplémentaires par rapport à la mortalité habituelle sur cette période. Ces derniers sont directement imputables à la chaleur, en effet, 3 306 décès sont dus à des coups de chaleur, une hyperthermie ou une déshydratation.

C'est à partir de 45 ans que l'on remarque une réelle influence de la canicule sur la mortalité. On a ainsi enregistré 434 décès directement liés à la chaleur contre 9 les années précédentes. Cependant, c'est parmi les personnes âgées de plus de 75 ans que le risque apparaît le plus grand : + 70 % de décès dans cette classe d'âge, 2 852 décès de plus que les années précédentes liés à la chaleur, mais aussi à d'autres causes indirectement liées comme les maladies cardiovasculaires (+ 2633) ou les problèmes respiratoires (+ 1213).

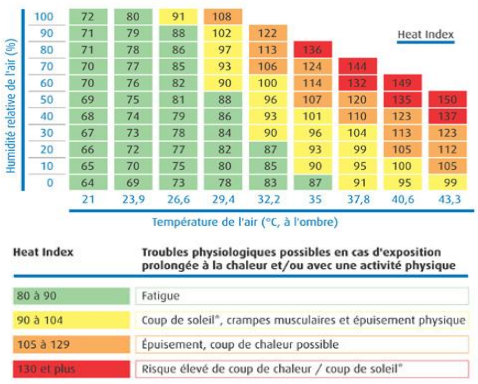
En dehors du facteur âge et santé (beaucoup de personnes souffrant déjà d'une maladie sont mortes à cause de la chaleur), on trouve également parmi les populations à risques des personnes dont les conditions de vie ou de travail les exposent particulièrement. C'est le cas par exemple des ouvriers du bâtiment, qui ont souvent des tâches physiques en extérieur. Ils ont ainsi une température de confort plus basse que les autres (cf. « Chaleur et populations », fiche n°1). De même, les SDF sont particulièrement exposés de par leurs conditions de vie, leur état de santé général et leurs faibles ressources.

Pathologies liées à la chaleur

Niveau	Effets de la chaleur	Symptômes et conséquences
Niveau 1	Coup de soleil	Rougeur et douleur, oedème, vésicules, fièvre, céphalées
Niveau 2	Crampes de chaleur	Spasmes douloureux (jambes et abdomen), transpiration
Niveau 3	Epuisement thermique	Forte transpiration, faiblesse, froideur et pâleur de la peau, pouls faible, température normale
Niveau 4	Coup de chaleur	Température corporelle supérieure à 40,6 °C, peau sèche et chaude, pouls rapide et fort, perte de conscience possible. Décès possible par défaillance de la thermorégulation.

Risques pour la santé d'une exposition à la chaleur : symptômes et niveaux de gravité

Source : inrs.fr



Afin d'anticiper les conséquences d'une canicule, on peut se référer au « *Heat Index* » qui, en combinant température et humidité relative de l'air permet d'évaluer le risque potentiel selon les conditions météorologiques. Cependant, ce diagramme est obtenu avec des températures prises à l'ombre avec un vent léger. En dehors de ces conditions, il faut ajouter 15 à l'indice pour évaluer le risque pour un travail en plein soleil.

Diagramme température / humidité, en relation avec les troubles physiologiques liés à la chaleur (*Heat Index Chart*)

Source : inrs.fr

Enfin, les pathologies, notamment respiratoires, liées à la pollution sont également à prendre en compte. Les ICU et particulièrement les canicules se caractérisent entre autre par une stagnation des masses d'air en ville ce qui concentre les polluants dans l'air et peut donc avoir des conséquences graves sur la santé.

Références :

Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm), *surmortalité liée à la canicule d'août 2003*, octobre 2004

Institut national de recherche et de sécurité (INRS) : *inrs.fr*

Météo France : *meteofrance.com*

Ministère de la santé et des sports, *Plan national canicule, version 2010*, 2010

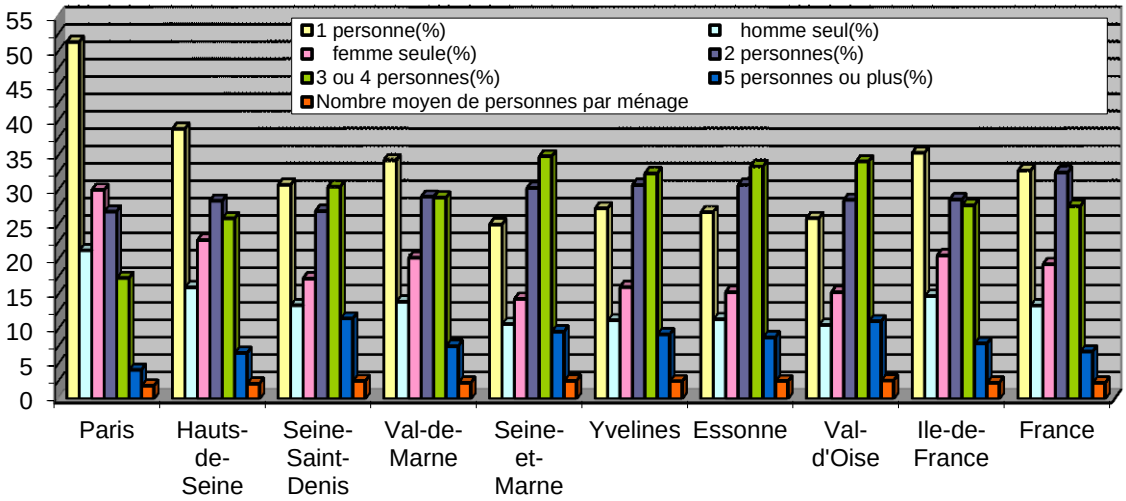
CHALEUR ET POPULATIONS

3. Particularités franciliennes

Source : Pattacini (Jean-Claude), Urba Images, IAU ÎdF

La population francilienne

La région Île-de-France compte en 2008 11 672 500 habitants ce qui la classe de loin en tête des régions les plus peuplée puisqu'elle comptabilise à elle seule plus de 18 % de la population de France métropolitaine sur seulement 2 % de la surface métropolitaine.

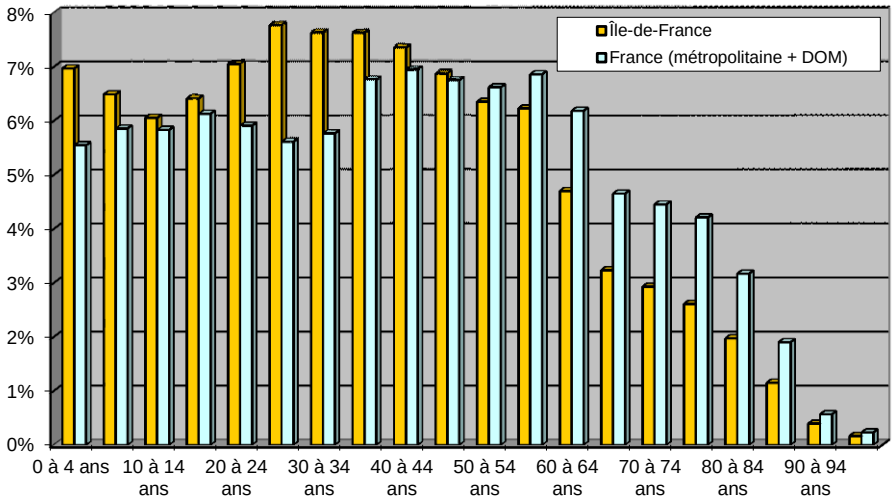


Répartition des ménages selon le nombre de membre du ménage

Données INSEE, 2006

Lorsque l'on se penche sur les ménages franciliens, on remarque une légère sur-représentation des ménages d'une seule personne (35,4 % en IdF, 32,8 % en France) les femmes étant beaucoup plus nombreuses que les hommes (20,6 % de femmes seules, 14,8 % d'hommes). Les ménages de deux personnes sont eux moins nombreux (28,7 % contre 32,6 %) alors que les ménages de plus de 5 personnes représentent 8 % des franciliens alors qu'ils ne représentent que 6,8 % de la population française.

Populations à risques



La population francilienne par rapport à la population française

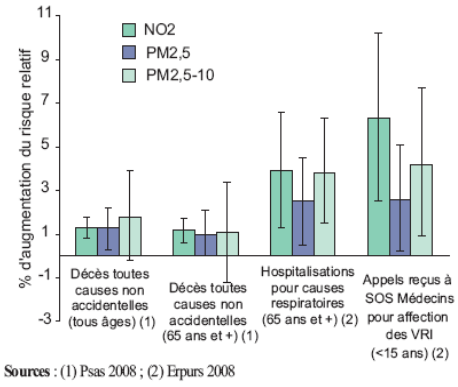
Données INSEE, 2010

Les populations les plus vulnérables – en termes d'âge – face à la chaleur en ville sont avant tout les personnes âgées.

La population francilienne est relativement jeune par rapport à la moyenne nationale : les moins de 20 ans représentent presque 26 % des franciliens (24,65 % à l'échelle métropolitaine) et les plus de 60 % seulement 17 % pour une moyenne nationale de 22 %. La tendance se poursuit jusqu'à 50 ans, âge auquel les courbes s'inversent et où la part francilienne est plus basse que celle rapportée à la France entière.

Cependant, l'isolement est un facteur aggravant, notamment combiné à l'âge ou la maladie et l'on a vu que les personnes seules étaient nombreuses en Île-de-France (35 % en 1999 ce qui en fait la première catégorie de ménage de la région contre 31 % en France) notamment à Paris où leur nombre atteint plus 50 % des habitants de la capitale. Parmi ces personnes seules, 36 % ont plus de 60 ans, ce qui en fait une population potentiellement fragile.

Santé en environnement en Île-de-France



L'âge n'est pas le seul paramètre qui influence la sensibilité aux canicules. La pollution, facteur externe et environnemental engendré par les canicules est également un risque notamment en région parisienne. D'autant plus que l'on remarque une corrélation entre les profils de sensibilité : ceux qui souffrent le plus de la pollution sont également ceux qui souffrent le plus de la chaleur (personnes âgées, jeunes enfants, malades chroniques…)

Excès de risque relatif (%) de décès, d'hospitalisation et de recours à SOS Médecins pour une augmentation de 10 µg/m3 du niveau de polluant

Source : ors-idf.org

Références :

Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) : *insee.fr*

Observatoire régional de la santé (ORS Idf) : *ors-idf.org*

IAURIF, INSEE, *Atlas des Franciliens, Tome 3 Population et modes de vie*, 2002

CHALEUR ET NATURE

Effet d'îlot de chaleur urbain et nature sont intrinsèquement liés.

L'îlot de chaleur à des conséquences immédiates sur les éléments naturels que sont l'eau, le végétal et le vent. Cependant, ces mêmes éléments sont souvent des solutions à la réduction des ICU.

Pour pouvoir envisager des solutions efficaces pour lutter contre les îlots de chaleur, il faut alors comprendre par quels mécanismes naturels on peut agir sur ce phénomène.

1. Le cycle de l'eau

2. La physiologie végétale

3. Le vent

4. Le problématique d'échelle : dissémination ou grande masse ?

5. Particularités franciliennes

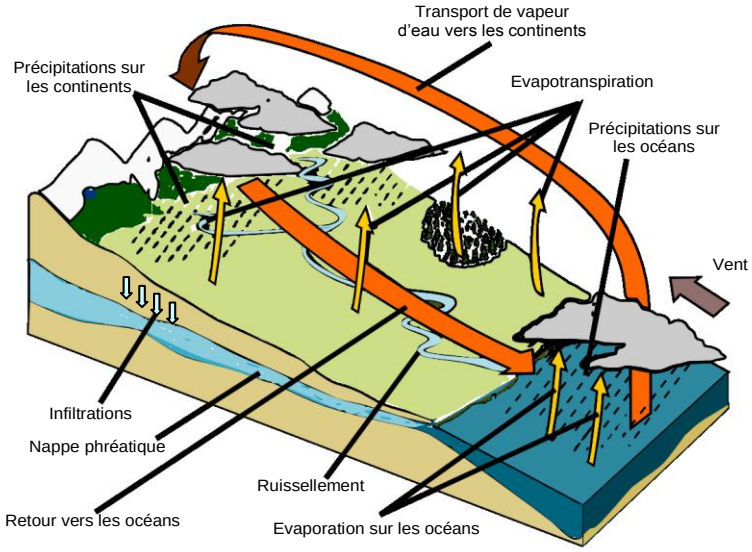
CHALEUR ET NATURE

1. Le cycle de l'eau

Source : Bachellier (Alain), flickr.com

L'eau sur la Terre

Les mers et océans concentrent 97 % de l'eau présente sur Terre sous forme d'eau salée. L'eau douce ne représente donc que 3 % et se répartie dans les glaciers (76,632 %), les eaux souterraines (22,85 %), les lacs (0,279 %) l'humidité des sols (0,195 %), l'atmosphère (0,036 %), les fleuves et les rivières (0,005 %) et la biosphère[1] (0,003 %).



Le cycle de l'eau

Source : Betrando, 2004

L'eau présente sur terre suit naturellement un cycle généré par l'énergie solaire. L'eau qui est précipitée sur Terre peut s'évaporer (65 % des précipitations), ruisseler à la surface terrestre vers les cours d'eau (24 %), ou s'infiltrer (11 % des précipitations). L'eau évaporée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau se condense ensuite pour donner lieu à de nouvelles précipitations.

Le cycle de l'eau est donc un système stable où toute perte d'eau à un endroit du système terrestre est compensée par un gain ailleurs. Ainsi, le volume d'eau sur Terre reste constant.

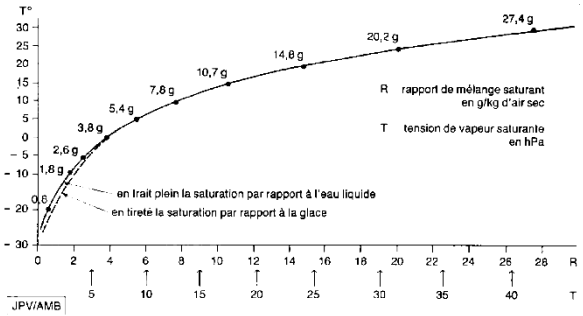
[1] *« Zone de contact entre l'atmosphère et l'écorce terrestre où se concentrent toutes les formes de la vie » (encarta.com)*

Mécanismes du rafraîchissement de l'air par l'eau

Le rafraîchissement de l'air par l'eau est dû au processus de changement d'état de l'eau. En effet, lorsque l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux, elle consomme une partie de l'énergie présente dans son environnement et fait ainsi baisser la température de l'air. C'est ce processus que l'on ressent par exemple lorsque l'on a une impression d'air frais quand l'on porte des vêtements mouillés ou humides.

Appliqué aux sujet qui nous intéresse ici, c'est l'eau présente dans les sols non imperméabilisés, les plans d'eau et les plantes qui est évaporée et consomme une partie de l'énergie envoyée par le Soleil (cf. « Chaleur et phénomènes physiques » fiche n°1).

L'intensité de l'évapotranspiration (évaporation de l'eau et transpiration des plantes) dépend du taux d'humidité de l'air qui dépend lui-même de sa température. En effet, moins l'air est humide, c'est-à-dire moins il contient de vapeur d'eau, plus il peut recevoir de l'eau produite par évapotranspiration et ce jusqu'à saturation (100 % d'humidité relative).

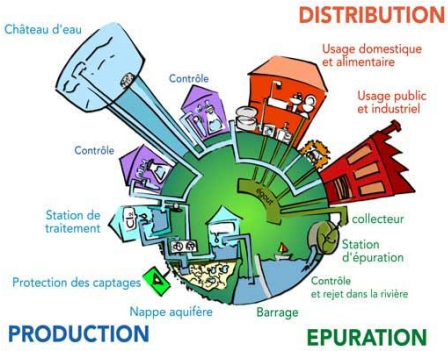


Cependant, le potentiel d'humidité de l'air dépend de la température de l'air : plus l'air est chaud, plus il peut contenir de vapeur. C'est pourquoi lorsqu'il fait chaud l'évaporation est plus rapide et plus importante.

Loi de saturation de l'air en vapeur d'eau en fonction de la température (°C)

Source : J.-P. Vigneau, 2000 in. Beltrando, 2004

La gestion urbaine des eaux



Le cycle anthropique de l'eau

Source : www.cile.be

En ville, l'eau suit également un cycle, cette fois, anthropique. Elle est puisée dans les cours d'eau ou les nappes phréatiques, traitée et contrôlée avant d'entrer dans les réseaux de distribution d'eau. Une fois utilisée, elle rejoint les égouts, qui recueillent aussi les eaux de ruissellement, passe par une station d'épuration et est rejetée dans les rivières lorsque le réseau fonctionne de manière unitaire. Notons qu'une réglementation oblige maintenant les nouveaux réseaux construits à séparer eaux usées et eaux de pluie.

Le cycle anthropique de l'eau pose ici deux problèmes : d'une part il mélange eaux usées et polluées et eaux de ruissellement, qui, si elles sont impropres à la consommation, peuvent en revanche être utilisées pour certains usages domestiques et publics (toilettes, arrosage…). D'autre part, l'eau en ville est beaucoup plus rapidement rejetée dans les cours d'eau qu'en milieu naturel où elle est retenue dans le sol et la végétation. Cela a pour conséquence d'appauvrir les sols en eau imperméabilisés à leur surface (et ainsi de limiter les possibilités d'évapotranspiration), mais aussi de saturer les réseaux d'eau qui peuvent alors déborder lors de pluies importantes.

Références :

Beltrando, G., *Les climats, processus, variabilité et risques*, A. Colin, 2004
Centre national de la recherche scientifique (CNRS) : *cnrs.fr*

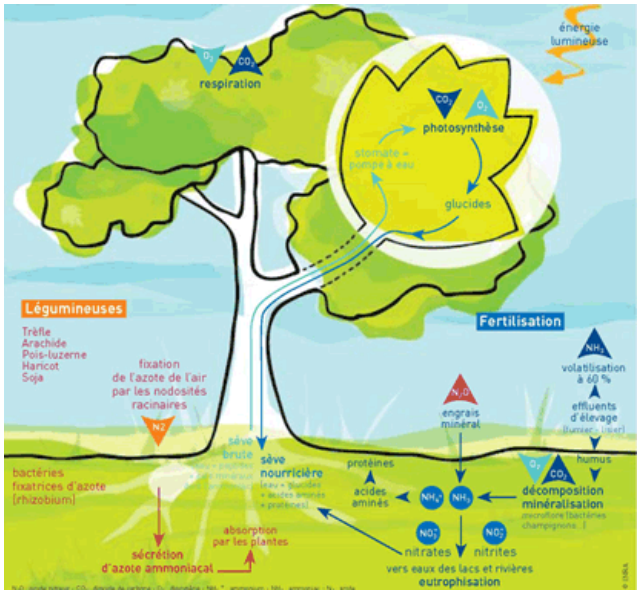
CHALEUR ET NATURE

2. La physiologie végétale

Source : photoblogue.net

L'alimentation des végétaux

Comme tout être vivant, les végétaux absorbent les éléments dont ils ont besoins pour vivre et en rejettent d'autres après consommation. Les plantes ont deux sources principales de nutrition : l'air, où elles trouvent du carbone, et le sol où elles puisent de l'eau et des sels minéraux.



Les longueurs d'onde de la lumière dans le spectre visible, entre 400 nm (violet) et 700 nm (rouge) sont utilisables pour la photosynthèse. Les feuilles des plantes contiennent des pigments comme la chlorophylle (verte) et les caroténoïdes (jaune) qui absorbent la lumière et exploitent son énergie pour transformer le dioxyde de carbone (CO_2) en carbone (C) qui est assimilé dans la plante (stockage), en rejetant du dioxygène (O_2).

Quant à l'eau, elle est diffusée dans toutes les parties de la plante grâce à l'évapo-transpiration qui fait remonter l'eau depuis les racines. La majeure partie est évacuée par transpiration au niveau des feuilles. Ce processus d'évaporation par le sol et de transpiration par le végétal consomme de l'énergie et participe au rafraichissement.

Photosynthèse et nutrition végétale

Source : inra.fr

Le stress hydrique

Les végétaux sont donc très intéressants en ville pour réduire le taux de CO_2 (ainsi que d'autres éléments polluants) et rafraîchir l'atmosphère par évapotranspiration. Cependant, afin d'avoir un réel effet, les végétaux ont besoin d'un apport en eau suffisant. Or, la situation urbaine est souvent responsable d'une diminution des ressources en eau.

On parle de stress hydrique lorsque la quantité d'eau qui est diffusée par évapotranspiration est supérieure à celle que la plante puise dans le sol. Afin de se protéger, les plantes développent des mécanismes qui leur permettent de conserver l'eau, notamment la fermeture des stomates, cellules spécialisées des feuilles par lesquelles les végétaux transpirent. Selon la gravité de la situation de déficit hydrique (durée, température, taux de sécheresse…), les conséquences sur la santé du végétal peuvent être importantes : diminution puis arrêt de la photosynthèse (qui passe également par les stomates), flétrissement, mort de la plante. De plus, cela fait perdre à la plante non seulement son potentiel rafraîchissant, mais également son rôle de fixation du carbone : elle devient un émetteur de carbone en absorbant du dioxygène et en rejetant du CO_2.

Transpiration et ombrage

Face à ces problématiques, il faut réfléchir aux types d'espèces végétales que l'on peut implanter en ville pour en rafraîchir l'air. Il faut qu'elles soient à la fois assez résistantes au stress hydrique, et capables de transpirer et de réfléchir la lumière suffisamment, mais aussi qu'elles offrent de l'ombre en été.

La capacité de transpiration et d'ombrage des plantes dépend de plusieurs facteurs. Tout d'abord, de la surface foliaire, c'est-à-dire la surface des feuilles. Plus cette surface est grande, plus la plante est ombrageante et a de stomates et donc plus elle est à même de transpirer. Lorsque les apports en eau sont suffisants, les plantes transpirent en fonction de l'énergie solaire qu'elles reçoivent. Les quantités transpirées sont alors plus ou moins semblables d'une espèce à une autre. Cependant, en cas de stress hydrique, certaines plantes s'adaptent mieux que d'autres. Celles qui peuvent développer leur système racinaire pour aller puiser l'eau en profondeur ou celles qui ont des feuilles aptes à retenir l'eau (feuilles en forme de vase, poils à la surface pour retenir l'eau de pluie…) sont donc plus intéressante pour le rafraîchissement.

Source : cactuspic.creaweb3000.com

La constitution des feuilles entre également en ligne de compte. Par exemple, les plantes grasses ont des feuilles épaisses qui constituent des réserves d'eau et leur permettent de moins transpirer en climat aride sans diminuer pour autant leur photosynthèse. De même pour les cactées où les feuilles sont remplacées par des épines. De plus, ces dernières n'ouvrent leurs stomates que la nuit, limitant ainsi leur perte d'eau durant la journée plus chaude. Ces espèces rafrachissent donc moins, or ce sont les plus résistantes à la chaleur et au manque d'eau.

Albédo

L'action sur l'albédo des surfaces permet aussi de réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain. Une étude britannique de janvier 2009 propose alors de sélectionner les variétés de culture selon leur albédo. Selon les chercheurs cela pourrait faire baisser d'1 °C la température de surface des zones cultivées (Université de Bristol). L'albédo des végétaux est généralement assez faible (herbe, forêts, culture, sol nu, sont compris entre 0,03 et 0,37 (Riquier, 1963)), mais si cette géo-ingénierie n'est pas encore réellement développée, il pourrait en effet être intéressant de choisir les plantes urbaines en fonction de leur albédo.

Références :

CNRS, « l'eau dans les plantes » *cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/accueil.html*

Institut national de la recherche agronomique : *inra.fr*

Riquier, J. (1963), « Formules d'évapotranspiration », *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, 1963

University of Bristol, « Cooling the planet with crops » *bris.ac.uk/news/2009/6091.html*

CHALEUR ET NATURE

3. Le vent

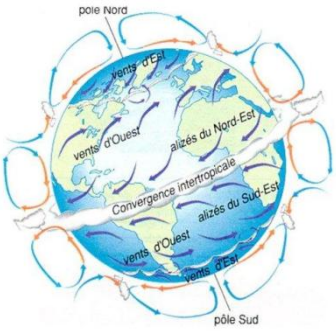
Source : Abron (Claude) IAU ÎdF

L'origine du vent

Le vent est la résultante du déplacement de masses d'air dans l'atmosphère, déplacement provoqué par des différences de température et de pression atmosphérique. Les déplacements d'air se font toujours du chaud (les hautes pressions, c'est-à-dire les anticyclones) vers le froid (basses pressions, dépressions).

Les masses d'air se déplacent ainsi sur le plan vertical : l'air chaud s'élève, l'air froid descend par convection. Du fait des différences de températures entre les océans et la surface terrestre et les différentes régions du monde on observe une circulation générale des masses d'air avec, entre les tropiques, une convergence des basses pressions puisque les mouvements sont symétriques entre les deux hémisphères.

En raison du phénomène de convection, sur le plan horizontal, les masses d'air au contraire se déplacent au niveau du sol, des pôles froids, qui reçoivent peu de chaleur du Soleil à cause du faible angle d'incidence, vers l'équateur chaud.



La circulation des masses d'air sur Terre

Source : educnet.education.fr

L'échelle de Beaufort mesure la vitesse du vent selon 13 degrés (de 0 à 12).

Force	*m/s*	*Genre*	*Observations*
0	0 à 0,2	Calme	La fumée s'élève verticalement
1	0,3 à 1,5	Très légère brise	On ressent à peine le souffle du vent. La girouette ne bouge pas
2	1,6 à 3,3	Légère brise	Feuilles d'arbres frémissantes
3	3,4 à 5,4	Petite brise	Les drapeaux flottent et les branches s'agitent
4	5,5 à 7,9	Jolie brise	Poussières s'envolant et blé qui commence à onduler comme en vagues
5	8,0 à 10,7	Bonne brise	Des petits arbres se balancent, les vagues moutonnent sur le lac
6	10,8 à 13,8	Vent frais	Les grandes branches s'agitent, les fils électriques et la cheminée « chantent »
7	13,9 à 17,1	Grand frais	Arbres commençant à gémir
8	17,2 à 20,7	Coup de vent	Les petites branches commencent à se briser
9	20,8 à 24,4	Fort coup de vent	Quelques tuiles s'envolent des toits et parfois les antennes télés également
10	24,5 à 28,4	Tempête	Des arbres sont arrachés et la circulation est difficile
11	28,5 à 32,6	Forte tempête	Dégâts importants aux maisons
12	> 32,6	Ouragan	Ravages étendus et catastrophiques

Le vent en ville

Tout comme à l'échelle de la planète, le vent en ville est le résultat du déplacement ascendant des masses d'air du chaud vers le froid. Dans le contexte urbain, où les différences de chaleur sont beaucoup plus nombreuses, on voit ainsi l'apparition de brises, c'est-à-dire des vents faibles dirigés des zones froides vers les zones chaudes.

Ce phénomène est particulièrement important dans le contexte de l'îlot de chaleur urbain : on observa alors des brises de la campagne vers la ville, mais aussi à l'intérieur même de la ville, entre, par exemple un parc, plus froid, et des rues chaudes, ou même à l'intérieur d'une même rue.

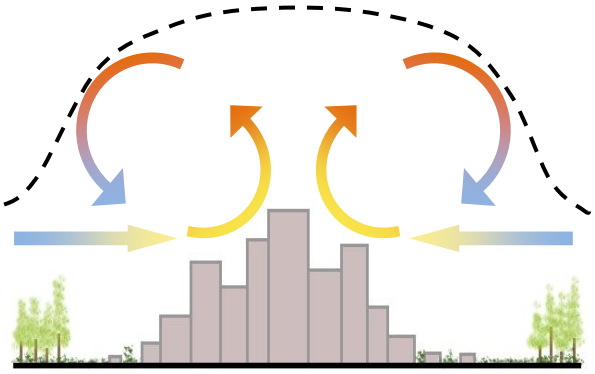
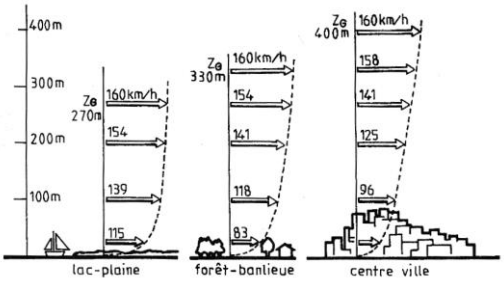


Schéma du phénomène de brise thermique de la campagne vers la ville

Ces brises de campagne engendrent un effet de dôme au-dessus de la ville particulièrement néfaste lors des pics de pollution

La ville a également comme effet sur les régimes des vents de diminuer leur vitesse dans les plus basses couches de l'atmosphère et à la surface de la Terre à cause des nombreux obstacles qu'elle crée.



Profil de la vitesse du vent pour différentes surfaces

Source : Chatelet et al., 1998 in. Colombert, 2008

Le rafraîchissement par le vent

Le rafraîchissement de la ville par le vent relève d'une part d'un processus physique et d'autre part d'un ressenti.

Tout d'abord, le vent permet de chasser l'air chaud de la ville qui est alors remplacé par de l'air plus frais et moins pollué. De plus, on ressent d'autant plus une sensation de frais lorsque le vent souffle car il chasse la fine couche d'air à la surface de la peau qui se comporte comme un isolant et maintient la chaleur (cf. « Chaleur et populations – fiche n°1). Enfin, le vent peut être combiné à l'eau dans un effet « brumisateur » : il transporte les gouttelettes d'eau d'une fontaine par exemple, rafraîchissant ainsi l'atmosphère et les personnes qui les reçoivent directement, grâce à l'action du vent sur la peau mais aussi avec l'évaporation des gouttelettes qui consomme de l'énergie.

Références :

Centre national de la recherche scientifique (CNRS) : *cnrs.fr*

Colombert M., *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville*, Thèse de doctorat Génie urbain, Université Paris-Est, 2008

Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble : *grenoble.archi.fr*

Météo France : *meteofrance.com*

CHALEUR ET NATURE

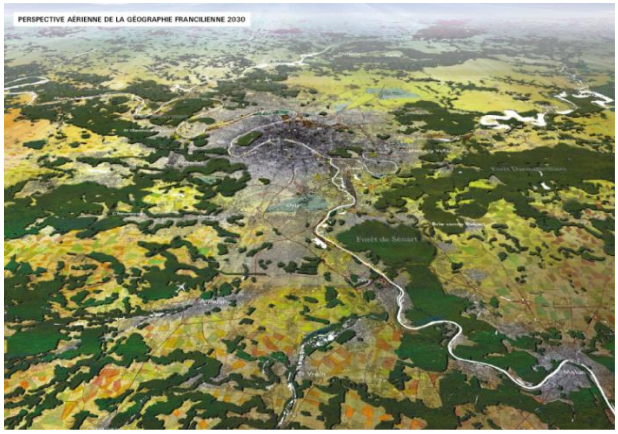
4. La problématique d'échelle : dissémination ou grande masse ?

Source : Guignard (Philippe), La Documentation Française, IAU ÎdF

Le végétal est certainement l'un des meilleurs moyens de réduire les effets d'îlots de chaleur urbains grâce à son pouvoir rafraîchissant (diminution de la chaleur latente par l'énergie consommée pour l'évapotranspiration, cf. « Chaleur et nature » fiches n°1 et 2). De plus, il apporte des bénéfices sociaux (les espaces verts comme aménités) et permet la réduction de certains polluants et gaz à effet de serre, notamment le CO_2 par son activité photosynthétique. Cependant, lorsque l'on prévoit de créer des espaces végétaux se pose la question d'où les introduire et à quelle échelle.

La création de grandes masses en périphérie pour faire baisser la température ?

La création de grandes masses végétales et d'eau en périphérie est une idée qui a été reprise et développée par le groupe Descartes lors de sa contribution à la consultation internationale sur le Grand Paris, lancée par l'Etat en 2007.



Le groupe Descartes propose en effet de créer des lacs au sud-est de la Région, à l'est et au nord de la Marne et de l'Oise. De plus, il prévoit d'étendre la forêt francilienne d'au moins 30 % à partir des grands massifs forestiers déjà existants (Fontainebleau, Rambouillet et Chantilly). Enfin, il double les espaces verts en zone périurbaine, les faisant passés de 40 à 60 % ; rien n'est fait dans Paris intra-muros.

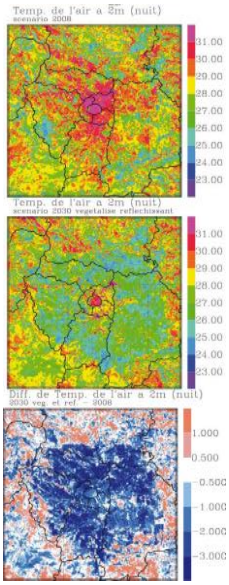
L'ÎdF en 2030 selon le groupe Descartes

Source : Descartes, 2009

Si ce principe de « ceinture forestière » reprend l'idée de la ceinture verte, déjà ancienne, esquissée dans les années 1970 par la Région, il s'en écarte en proposant la création de forêt sur des terres agricoles, alors que le projet régional protège ces espaces car implantés sur des terres fertiles et participant au développement d'une agriculture de proximité, même si le groupe Descartes souhaite la création d'agro parcs dans les espaces interticiels.

Schéma régional fonctionnel des espaces agricoles, boisés et naturels

Source : Région Île-de-France, 2008



Quelque soit la forme que prend cette ceinture francilienne, la création et la préservation d'espaces naturels près des zones urbaines est bénéfique à la réduction des pollutions atmosphériques, le maintien d'une biodiversité, le contrôle de l'étalement urbain et bien sûr à la lutte contre les ICU. En effet, il semble que même sans aucune modification dans Paris intra-muros, la température du centre de la capitale s'en trouve diminuée de 1 à 2°C selon les modélisations du projet EPICEA.

Cependant, les différences de températures ville/campagne peuvent créer des brises thermiques (cf. « Chaleur et nature » fiche n°3) qui contribuent à créer un « dôme » de chaleur au-dessus de la ville. La création de grandes masses froides autour d'un centre chaud ne renforcerait-elle pas ce phénomène qui conforte déjà l'ICU et la concentration des polluants en zone dense ?

Températures nocturnes en 2008, prévisions 2030 et différence 2008-2030

Source : Descartes, 2009

Une ceinture verte combinée à des espaces verts de petite taille disséminés dans la zone dense

Face à ces contraintes, l'idéal serait alors de réussir à combiner une ceinture verte et des espaces verts de proximité car ces derniers peuvent avoir une action plus importante sur les ICU à un niveau beaucoup plus local (le gain de fraîcheur sur un quartier depuis un parc de 100 m² en coeur d'îlot ne se fait sentir qu'à une distance de 100 mètres). Cette combinaison permettrait alors d'éviter les trop grands contrastes thermiques qui provoquent les brises et d'unifier les températures à l'échelle de l'agglomération.

La trame verte d'agglomération

Source : Région Île-de-France, 2008

Il faut cependant bien tenir compte de la disposition de ces espaces verts dans la ville, notamment en fonction des vents, qui conditionne directement la zone où ils procurent un rafraîchissement et tenir compte du risque d'inefficacité en termes de réduction des polluants en raison des pesticides qu'ils nécessitent.

Références :

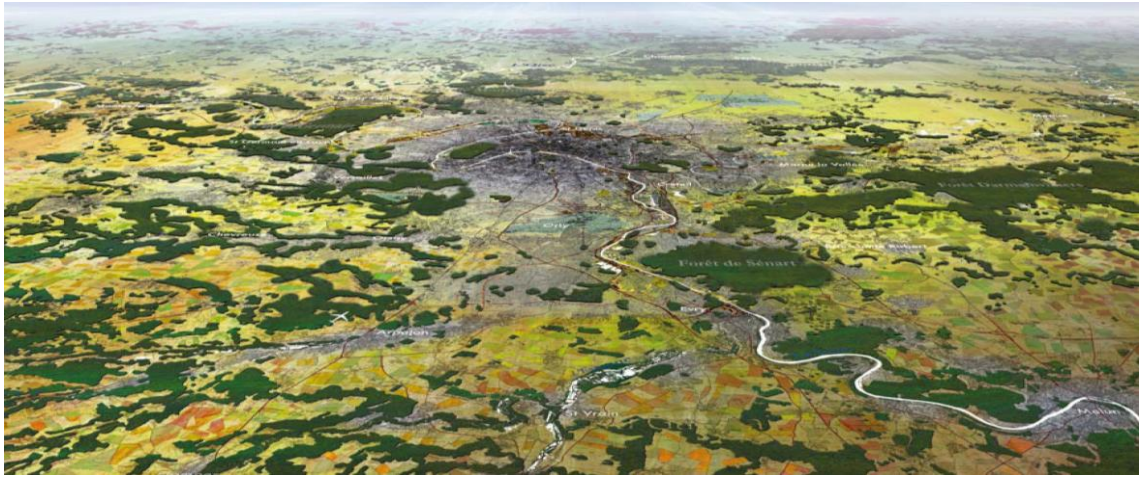
Boutefeu, E., « Végétaliser les villes pour atténuer les îlots de chaleur urbains », *Techni-Cités* n°129, 8 mai 2007

Descartes, *Consultation internationale de recherche et de développement sur le grand pari de l'agglomération parisienne, livret chantiers 1 & 2*, 19 février 2009

Région Île-de-France, *Rapport du Schéma directeur de la région Île-de-France, projet adopté*, 25 septembre 2008

CHALEUR ET NATURE

5. Particularités franciliennes



Source : Descartes, 2009

La géographie francilienne

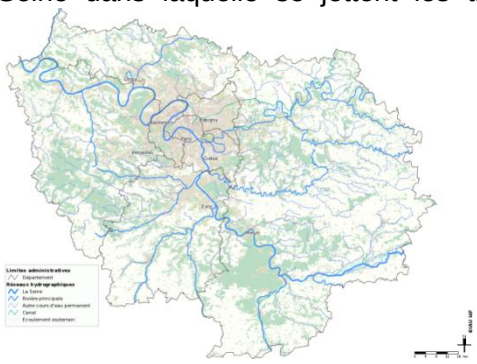
L'agglomération francilienne se situe au milieu du bassin parisien qui s'étend entre le Massif central, les Vosges, les Ardennes, l'Artois et le Massif armoricain (environ 140 000 km²) et dont la Seine est le principal cours d'eau.

Les différences d'altitude de la Région sont assez faibles, puisque les hauteurs varient entre 11 et 217 mètres au-dessus du niveau de la mer (respectivement à Port-Villez dans les Yvelines et Haravilliers dans le Val-d'Oise). L'Île-de-France se caractérise principalement par de grands plateaux et plaines : le Vexin, plateau calcaire recouvert de limon, la Brie plateau également calcaire très fertile, la Beauce, et la Plaine de France.

Les conditions hydriques

Malgré sa relativement faible pluviométrie (cf. Chaleur et phénomènes physiques, fiche n°4), la Région Île-de-France est un territoire riche en eau.

Elle se situe à la confluence de quatre grands cours d'eau, la Marne, l'Oise, l'Yonne et la Seine dans laquelle se jettent les trois premières. A cela, s'ajoute une cinquantaine d'autres rivières (Orge, Loing…) constituant un large réseau de près de 7 677 km.



De plus, le sous-sol francilien est lui aussi riche en eau, cinq grandes nappes aquifères se trouvent sur son territoire : les calcaires de Champigny, les sables de Fontainebleau et du Soissonnais, les sables verts de l'albien ainsi que les nappes de la Craie et de Beauce. Cependant, deux d'entre-elles (Champigny et Beauce) sont soumises à de fortes pressions en termes de ressources en eau.

Le réseau hydrographique de la Région Île-de-France

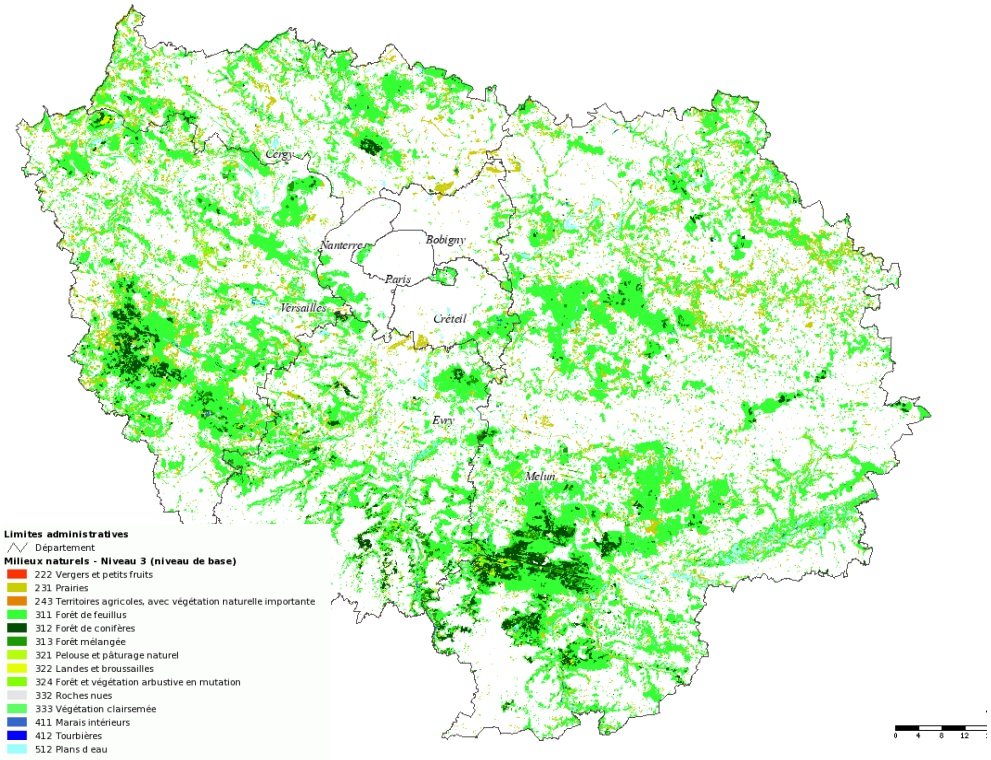
Source : IAU îdF

Les principaux massifs et les types de végétation

Si l'Île-de-France est surtout une région agricole, son territoire est tout de même couvert de 23 % de forêts soit 279 953 hectares (hors peupleraies) ; notamment grâce aux deux plus grands massifs que sont les forêts de Fontainebleau et de Rambouillet (respectivement 250 et 220 km²). Notons que la grande majorité des espaces forestiers de la Région relève du domaine privé (71 %), ce qui peut rendre leur gestion difficile.

Si l'on trouve bien des conifères dans les grandes forêts franciliennes, la végétation est surtout composée de feuillus (chênes, hêtres, châtaigniers…), à près de 93 % en ce qui concerne uniquement le domaine privé, avec une large préférence pour les espèces de chêne. Or, les feuillus ont pour particularité d'avoir une capacité d'évapotranspiration et d'ombrage bien supérieure, ce qui est particulièrement intéressant pour lutter contre les îlots de chaleur. En effet, « un arbre feuillus 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 » (Boutefeu, 2007)

Enfin, notons que le manque d'eau (précipitations) explique la moindre importance des prairies, pelouses et pâturages naturels en Île-de-France, et pour partie consécutivement, le peu d'élevage.



L'occupation du sol en milieu naturel en Île-de-France (ECOMOS)

Source : IAU ÎdF

Références :

Boutefeu, E., « Végétaliser les villes pour atténuer les îlots de chaleur urbains », *Techni-Cités* n°129, 8 mai 2007

Centre régional de la propriété forestière (CRPF) d'Île-de-France et du Centre : *crpf.fr*

Direction régionale de l'environnement (DIREN), délégation de Bassin Seine-Normandie : *ile-de-france.ecologie.gouv.fr*

Encyclopédie Larousse en ligne : *larousse.fr*

Institut d'aménagement et d'urbanisme Île-de-France (IAU ÎdF) : *iau-idf.org*

CHALEUR ET AMENAGEMENT

L'effet d'îlot de chaleur urbain découle directement de l'urbanisation.

Si la ville est la cause du phénomène, il est possible de trouver des solutions architecturales et d'aménagement qui réduisent l'effet de surchauffe de la ville ou tout du moins ne le font pas augmenter.

L'aménagement est donc en première ligne pour trouver des solutions collectives de conception et de gestion des espaces urbains profitables à un rafraîchissement des métropoles. Quelques exemples.

1. Les solutions architecturales : le retour au bioclimatisme

2. Les solutions architecturales : les nouveaux matériaux

3. Les solutions de l'aménagement : le diagnostic territorial

4. Les solutions de l'aménagement : l'eau en ville

5 . Les solutions de l'aménagement : le végétal en ville

6. Les solutions de l'aménagement : les formes urbaines et l'urbanisme

7. La sensibilisation : les « balades thermiques », l'exemple de Grenoble

8. La sensibilisation : des réalisations franciliennes exemplaires

CHALEUR ET AMENAGEMENT

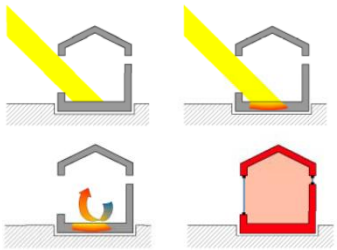
1. Les solutions architecturales : le retour au bioclimatisme

Source : Ville de Narbonne sur energies-renouvelables.org

La conception des bâtiments, leurs qualités architecturales, influencent grandement le confort ou l'inconfort thermique des ambiances intérieures. Les constructions récentes ont souvent résolu le problème du froid par des matériaux isolants qui ont permis aux architectes de ne pas prendre en compte l'environnement dans lequel ils bâtissaient. Le confort d'été, lui, a souvent été oublié. Aujourd'hui, avec la prise de conscience écologique, on cherche à construire selon des techniques plus respectueuses de l'environnement, avec des matériaux locaux et plus sains. L'architecture bioclimatique s'inscrit dans ce mouvement qui tente de limiter les dépenses énergétiques tout en améliorant le confort des bâtiments.

« Stratégie du chaud » et « stratégie du froid »

L'architecture bioclimatique, dans les pays au climat tempéré, repose sur deux principes : une stratégie du chaud en hiver et une stratégie du froid en été qui combinées permettent un bâtiment thermiquement très performant.

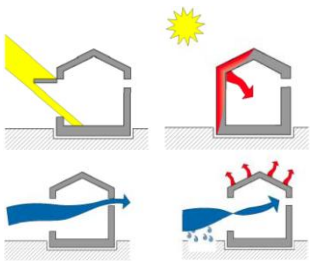


La « stratégie du chaud » consiste à chauffer de manière naturelle le bâtiment. Il faut capter l'énergie solaire et faire rentrer un maximum de lumière et de chaleur par les fenêtres, stocker la chaleur reçue dans les matériaux, la distribuer dans toutes les pièces, la conserver et l'empêcher de s'échapper vers l'extérieur.

Capter / Stocker / Diffuser / Conserver

Source : grenoble.archi.fr

La « stratégie du froid », à l'inverse, consiste à éviter au bâtiment de surchauffer en été. Il faut se protéger du Soleil, éviter le transfert de la chaleur par les matériaux, la dissiper en ventilant le bâtiment et rafraîchir les pièces.

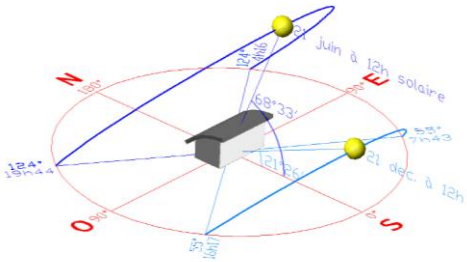


Protéger / Eviter / Dissiper / Rafraîchir / Minimiser

Source : grenoble.archi.fr

L'orientation des bâtiments

L'orientation des bâtiments est le premier élément qui permet d'améliorer le confort thermique tout en diminuant les consommations énergétiques de chauffage et de climatisation. Sous nos latitudes, le sud est le plus exposé au Soleil, c'est donc dans cette direction qu'il faut créer des ouvertures pour pouvoir capter un maximum d'énergie durant l'hiver en évitant les éléments qui pourraient masquer le rayonnement. Cependant, il faut aussi pouvoir se protéger l'été grâce à des brise-soleil (balcon, casquettes, volets…) étudiés pour ne pas gêner l'entrée du soleil l'hiver.



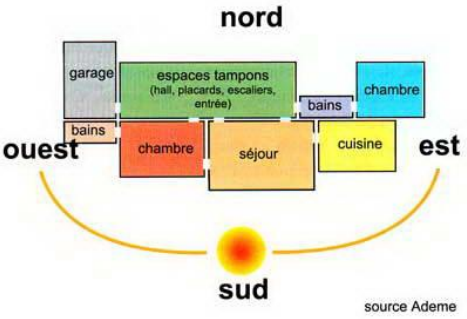
A l'inverse, les ouvertures au nord sont déconseillées pour le confort d'hiver car c'est l'exposition la plus froide, particulièrement lorsque le vent vient de cette direction, et qu'elle n'offre quasiment pas d'apport thermique.

La course du Soleil aux solstices d'hiver et d'été
Source : grenoble.archi.fr

La disposition des pièces

La disposition intérieure des pièces est le deuxième principe à respecter. Dans une habitation, les pièces ont des usages différents et ne sont pas occupées aux mêmes moments de la journée.

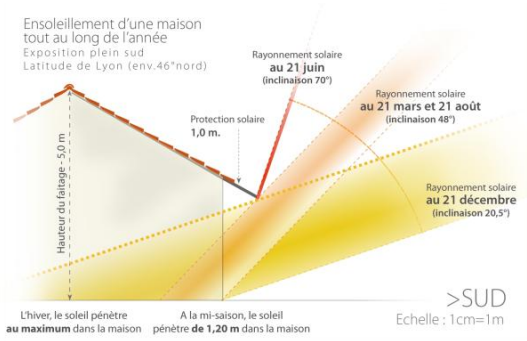
Ainsi les pièces techniques comme les entrées ou les garages peuvent être installées dans les parties de la maison orientées au nord. Elles créent alors un espace tampon qui isole les pièces principales de l'extérieur. A l'inverse, les pièces de vie doivent être les mieux orientées pour profiter des apports naturels de lumière et de chaleur.



Organisation des pièces en fonction de l'orientation du bâtiment
Source : hepsul.org

La véranda, un exemple de dispositif d'architecture bioclimatique

Les vérandas sont connus et utilisés en architecture depuis longtemps, notamment aujourd'hui, pour créer des extensions agréables.



De plus, elles ont également des vertus en terme d'architecture bioclimatique : en hiver, lorsque le soleil est bas, elles permettent de faire entrer un maximum de lumière et de chaleur et grâce à leur vitrage créent un effet de serre qui réchauffe l'air intérieur ; en été par contre, une toiture opaque en débord limite l'entrée du rayonnement solaire lorsqu'elles sont positionnées au sud.

Les apports solaires selon l'angle des rayons
Source : hepsul.org

Références :
Association Hepsul : *hespul.org*
Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble : *grenoble.archi.fr*

CHALEUR ET AMENAGEMENT

2. Les solutions architecturales : les nouveaux matériaux

Source : Abron (Claude), IAU îdF, Amphitrion

Les caractéristiques et propriétés physiques des matériaux urbains (inertie thermique, albédo) influencent grandement l'effet d'îlot de chaleur (cf. « Chaleur et phénomènes physiques », fiche n°2). De plus, l'ICU est aggravé par les déperditions de chaleur des immeubles d'habitation et de bureaux. L'une des possibilités pour réduire les ICU est alors de modifier les matériaux utilisés pour les infrastructures et les bâtiments afin d'améliorer leurs performances ce qui contribue également aux nécessaires économies d'énergie.

Les matériaux urbains

A Paris, la plupart des espaces publics sont recouverts d'asphalte, qui a un coefficient d'absorption solaire très élevé de 0,93. Ce matériau présente des qualités très utiles en milieu urbain, cependant, ses propriétés thermiques renforce l'îlot de chaleur urbain puisqu'il peut atteindre des températures allant jusqu'à 80 °C (Giguère, 2009).

Afin d'augmenter l'albédo des revêtements de voiries, plusieurs solutions peuvent être envisagées :

- Le pavé inversé : au lieu de recouvrir une couche de granulats par du bitume, on étend « une fine couche de bitume sur laquelle est disposé le granulat à haut albédo. Ces types de pavés sont cependant déconseillés pour les routes à grandes vitesses » (Giguère, 2009).
- L'asphalte et le béton coloré : Cette technique consiste en l'ajout de pigments afin d'augmenter le pouvoir réfléchissant des matériaux.
- Une couche superficielle de béton : On peut également recouvrir un bitume existant d'une couche de béton car le béton à un albédo un peu plus élevé.

La végétalisation est également une solution envisageable. En rendant le sol perméable, cela permet d'avoir une évaporation des sols et une transpiration des végétaux pour rafraîchir l'air.

On peut bien sûr créer des espaces verts, mais il est également possible d'utiliser des revêtements comme des pavés alvéolés, dalles composées d'alvéoles de ciment dans lesquelles l'herbe peut pousser.

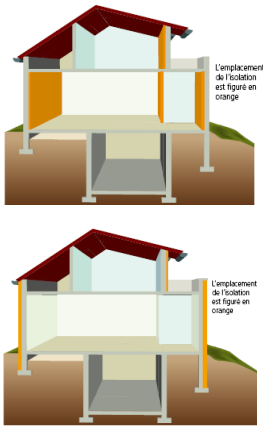
"Désimperméabiliser" les sols : les pavés alvéolés

Source : hellopro.fr

Ces revêtements méritent toutefois une réflexion en terme d'entretien (rapport coûts/bénéfices, potentiel d'innovation…) : *« Des matériaux de type asphalte noir ou dalles en pierre naturelle ne nécessitent pas de nettoiement exceptionnel. Par contre, des matériaux de type béton désactivé […] sont à éviter en règle générale sur de grandes étendues, a fortiori si la colorimétrie choisie est claire. […] En outre, des matériaux non génériques risquent d'engendrer de nombreux problèmes d'entretien et de réparabilité.»* (PLU de la Ville de Paris). De plus, la végétalisation des espaces publics par l'emploi de pavés alvéolés peut ne pas être réellement efficace si elle n'est pas accompagnée d'autres solutions : leur albédo est certainement plus élevé que celui de l'asphalte car en ciment et en végétaux, mais on peut douter du pouvoir rafraîchissant d'aussi peu de végétation, composée uniquement d'herbe.

L'isolation des bâtiments

Différentes techniques peuvent être employées selon le type de construction et les impératifs, notamment réglementaires ou financiers.



On peut isoler par l'intérieur, c'est-à-dire que l'on installe l'isolant contre les parois intérieures du bâtiment. C'est la solution la plus économique et elle présente l'avantage de ne pas modifier l'aspect extérieur. Par contre, cela réduit quelque peu l'espace habitable en raison de l'épaisseur de l'isolant. A l'inverse, on peut isoler par l'extérieur par un « mur manteau ». Cependant, cette tâche peut être compliquée et est souvent coûteuse. Elle ne peut pas toujours s'appliquer dans les villes anciennes et protégées. De plus, les techniques d'isolations actuelles, que ce soit sur des constructions neuves ou non, ont tendance à calfeutrer les bâtiments (APUR, mai 2010), ce qui limite le renouvellement de l'air intérieur souvent pollué par les produits ménagers, le tabac, l'humidité…

Isolation par l'intérieur et isolation par l'extérieur

Source : Ademe, 2008

Les fenêtres : le point faible des bâtiments

Les ouvertures sont généralement les points faibles des bâtiments, tant en termes d'isolation (ponts thermiques), qu'en terme d'entrée de la chaleur. Le premier problème peut facilement être résolu grâce à des fenêtres performantes (double ou triple vitrage, bonne isolation). Pour le deuxième, notons que le CNRS travaille actuellement sur des vitres à cristaux liquides cholestériques qui pourraient être réglables et renvoyer plus ou moins de lumière et de chaleur vers l'extérieur.

Références :

Ademe, *Améliorer le confort de votre maison, l'isolation thermique*, mars 2008

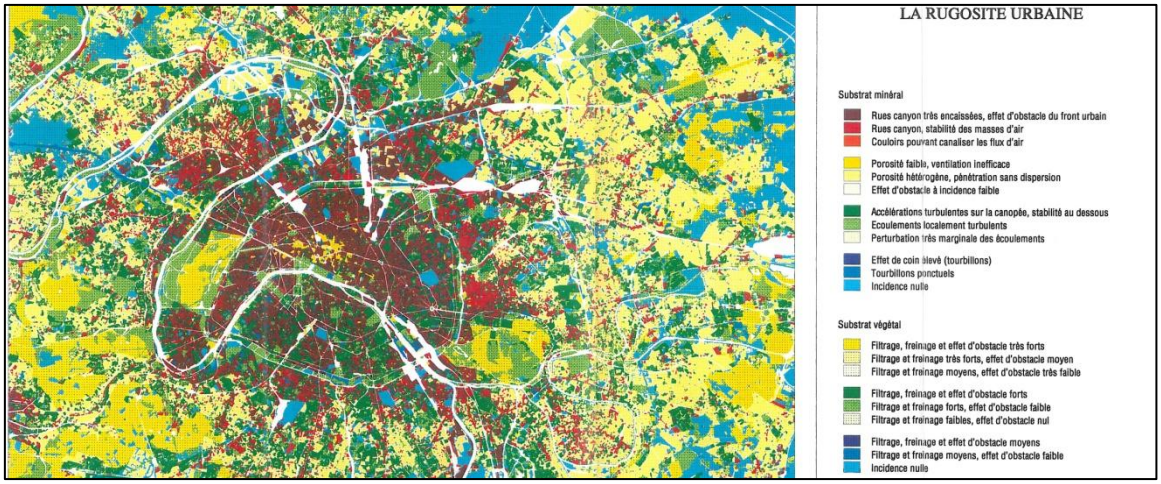
Giguere M., *Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains*, Institut national de santé publique du Québec, juillet 2009

Belaud, S., « Des vitres qui réfléchissent… », *Journal du CNRS*, février 2004

Apur, *Thermographie des immeubles parisiens*, mai 2010

CHALEUR ET AMENAGEMENT

3. Les solutions de l'aménagement : le diagnostic territorial

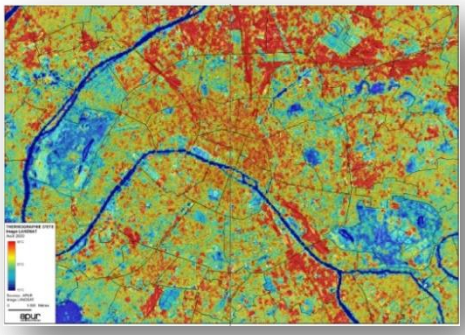


Source : Iau, 1997

La caractérisation géographique de l'îlot de chaleur urbain pose la question des échelles à adopter - spatiale et temporelle – et des objectifs poursuivis : quels enseignements à tirer et pourquoi ? Au-delà de la connaissance de l'élévation des températures en milieu urbain par rapport aux zones rurales voisines, par des relevés (réseau de mesures au sol, thermographie aérienne, télédétection) ou de la modélisation, la caractérisation des causes (faible évaporation et évapotranspiration, faible albédo des surfaces, inertie thermique des matériaux, forte rugosité urbaine, pertes de chaleur anthropiques) et des effets en particuliers sanitaires (densité de population et populations à risque) prend toute son importance pour l'action. Les exemples ci-dessous illustrent l'avancée des connaissances.

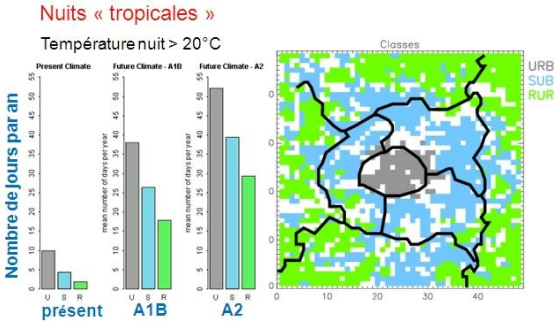
<u>Les caractéristiques de l'ICU, son extension spatio-temporelle</u>

La représentation du différentiel de températures en zone urbaine et en zone rurale via des images obtenues par télédétection satellitaire (thermicité : température de la surface au sol) ou modélisation (température éprouvée par le piéton / température à 2m en zone rurale) permet de caractériser l'îlot de chaleur métropolitain.



Thermographie d'été, image landsat, août 2000

Source : APUR, mai 2010



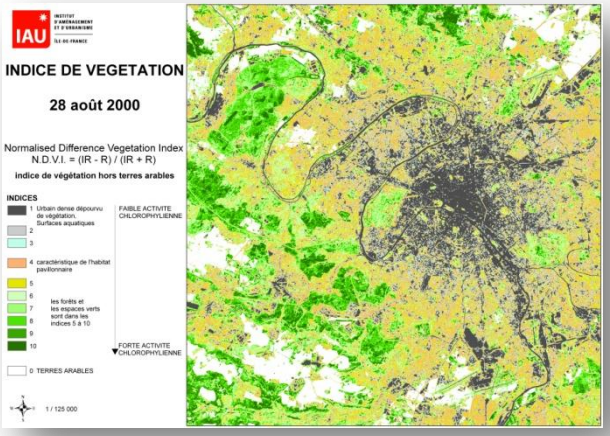
Différence de température milieux urbain / rural

Modèle de ville TEB/ARPEGE-Climat / Epicea, PRC 2010 Météo-France

La thermographie aérienne (caméra infrarouge, par avion ou hélicoptère), aux images de meilleure résolution, affine le diagnostic en révélant les contrastes thermiques au sein même des îlots urbains.

La régulation du climat par la végétation et l'eau

Si l'on s'intéresse à la nature – l'eau, le végétal - et son rôle régulateur des effets extrêmes du climat, notamment des effets des ICU en été, la télédétection, la thermographie, l'orthophotographie dans le proche infrarouge, les modèles numériques de terrain et d'élévation… constituent un arsenal performant d'outils techniques complémentaires pour évaluer les possibilités de rafraichissement (évapotranspiration, activité photo-synthétique, ombrage…).



Activité chlorophylienne par l'Indice de végétation

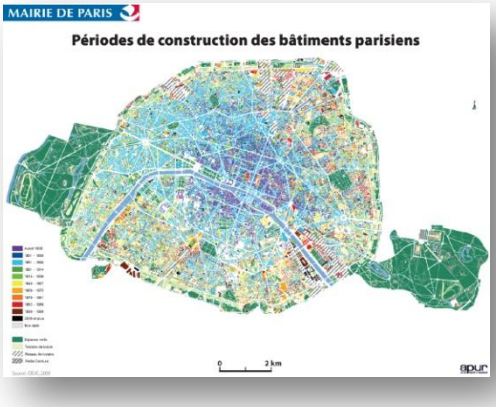
Source : IAU, 2000

Répartition des strates de la végétation

Source : Situation et perspectives de la place de la nature à Paris, APUR, mai 2010

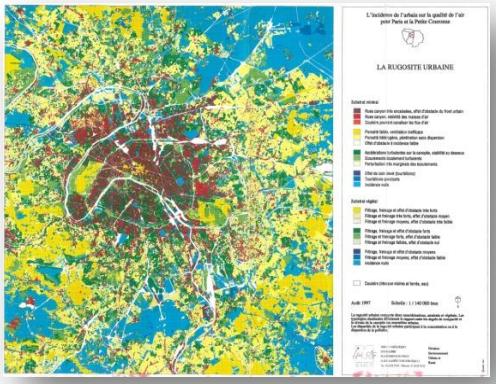
Le rayonnement et les albédos ; le vent et la rugosité urbaine

L'amélioration des connaissances via les systèmes d'information géographique décuple les possibilités d'analyses multicritères : les données de mode d'occupation du sol, de périodes de construction… s'affinent et peuvent aider à pousser plus loin l'analyse : matériaux (bâti, toitures, revêtement de chaussées…)... et albédo, rugosité urbaine (effets d'obstacle, de turbulence)…



Période de construction des bâtiments parisiens

Source : APUR, DEVE 2009



Rugosité urbaine

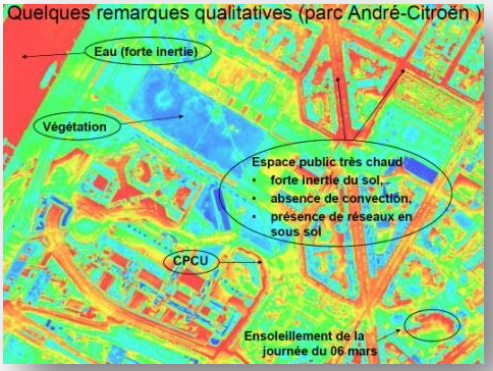
Source : IAURIF 1997

Les pertes de chaleur anthropique : le diagnostic énergétique de l'habitat

Différencier finement les contrastes thermiques au sein de la ville l'hiver par la thermographie aérienne – des toitures ou des façades - permet de réaliser un diagnostic énergétique de l'habitat en révélant principalement les pertes de chaleur des bâtiments mais aussi les fuites des réseaux de chaleur.

Thermographie aérienne à Paris (26 mars 2009)

Source : APUR, 2010



CHALEUR ET AMENAGEMENT

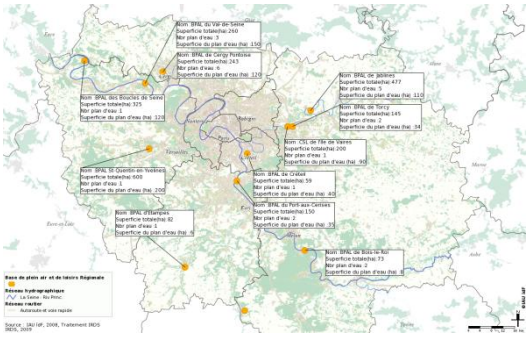
4. Les solutions de l'aménagement : l'eau en ville

Source : Castano (Sylvie), IAU ÎdF

L'eau est un élément essentiel dans les mécanismes de rafraîchissement de la ville, non seulement car elle est essentielle pour l'évapotranspiration des plantes mais aussi en tant que tel sous forme de fontaines, de cours ou de plan d'eau pour l'évaporation qu'elle génère (cf. « Chaleur et nature, fiches n°1 et 2).

Les plans d'eau et les fontaines

Les plans d'eau sont d'importantes sources de rafraîchissement grâce aux possibilités d'évaporation qu'ils procurent.



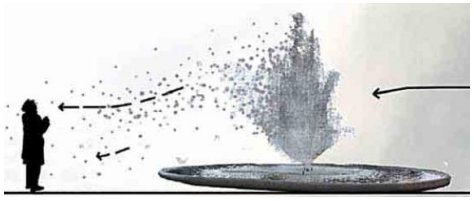
Les bases de loisirs en Île-de-France

Source : IAU ÎdF

En Île-de-France, les plus grands d'entre eux sont le plus souvent au sein de bases de plein air et de loisirs (BPAL) aux franges de l'agglomération et sont donc considérés comme des aménités, sociales plutôt que comme des éléments écologiquement importants. Or, l'important pour lutter contre les ICU est de ramener l'eau au plus près des points chauds de manière disséminée dans la ville dense.

Si les plans d'eau permettent de rafraîchir l'air grâce à la consommation d'énergie de l'évaporation, les fontaines peuvent apporter un effet supplémentaire lorsqu'elles sont en fonctionnement.

Les gouttelettes des jets d'eau sont alors transportées sous l'action du vent provoquant ainsi un effet « brumisateur ».

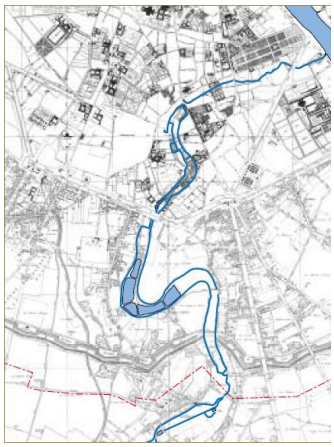


« Le brumisateur naturel »

Source : Lo Giudice, Marquet, 2008

Résurgences ou réouvertures de rus et de rivières : l'exemple de la Bièvre à Paris

Pendant longtemps, l'eau à été synonyme d'insalubrité en ville, si bien qu'elle a été complètement rejetée et recouverte, à l'exception des fontaines publiques, à l'époque nécessaires, ou des fontaines d'agrément dans les parcs. Aujourd'hui, on commence tout juste à tenter de la réintroduire sous une forme moins artificielle.



Le projet de réouverture de la Bièvre à Paris est un exemple de cette volonté de réintroduction de l'eau en ville. Lancé en 2002, le projet envisage de redécouvrir le seul affluent parisien de la Seine qui, après avoir été très pollué et transformé en égout, est aujourd'hui mieux contrôlé. Longue de 36 km, la Bièvre se jetait naturellement dans la Seine près du pont d'Austerlitz. Aujourd'hui, seulement 20 km non pas été recouverts et la rivière est maintenant déviée dans des collecteurs pour rejoindre la station d'épuration d'Achères.

La Bièvre dans Paris (plan Verniquet 1791 – et plan Lefèvre – 1854)

Depuis environ 1600, la Bièvre comportait dans Paris sur l'essentiel de son tracé deux bras : le bras vif (à l'est) et le bras mort (à l'ouest), parfois reliés par des biefs ou des étangs.

Source : Apur, 2001

Le projet se justifie principalement selon un objectif « urbanistique, paysager et culturel » : il s'agit de retrouver une Bièvre « authentique », évoquant l'histoire et l'identité de la rivière et des quartiers alentours, soit en réouvrant le lit de la rivière, soit en évoquant son parcours souterrain, car il est souvent impossible, à cause des transformations topographiques du site, de restituer le cours d'eau à l'air libre.

Trois sites ont été identifiés par la Mairie de Paris pour rouvrir le lit de la Bièvre : le parc Kellermann à l'entrée de Paris, le square René Le Gall et la rue Berbier du Mets dans le 13e arrondissement, ainsi que les terrains de l'annexe du Muséum d'Histoire Naturelle dans le 5e arrondissement. La Bièvre apparaîtrait donc à ciel ouvert dans un grand parc parisien, ce qui autoriserait un traitement « naturel », c'est-à-dire au niveau du sol dans un environnement végétal propice à l'écoulement d'une rivière.

Lorsque la réouverture est prévue au niveau de rues qui suivent le tracé historique, on peut envisager de créer un quai bas le long de l'eau au niveau du lit d'origine (IAU ÎdF) ou bien de créer un nouveau lit, plus haut, au niveau de la rue (Apur).

Etat de la Bièvre en 1823, état actuel 2001et projets d'aménagement de l'IAU ÎdF et de l'Apur au niveau de la rue Berbier du Mets (13e arrondissement)

Source : Apur, 2001, Tricaud, 2003

Références :

Atelier parisien d'urbanisme (Apur), *La bièvre*, décembre 2001

Lo Giudice G., Marquet E., *Balade thermique ? Sensations garanties !*, mémoire du séminaire de Master 1 « Chaleurs urbaines », ENSAG, mai 2008

P.-M., Tricaud, *Restauration et aménagement de la Bièvre dans Paris*, IAURIF, juin 2003

CHALEUR ET AMENAGEMENT

5. Les solutions de l'aménagement : le végétal en ville

Garrido (Marion), IAU ÎdF

Une solution d'aménagement des plus intéressantes pour lutter contre les îlots de chaleur urbains est la réintroduction d'espaces naturels et plus largement de végétal en ville. Cela permet tout d'abord d'augmenter le taux d'humidité de l'air et de le rafraîchir grâce à la transpiration des plantes, mais aussi de gérer les eaux de ruissellement, qui plutôt que de ruisseler sur des surfaces imperméabilisées pour aller directement dans les réseaux d'égouts restent dans le sol, nourrissent les plantes et s'évaporent rafraîchissant d'autant plus l'atmosphère. Cela permet également un assainissement de l'air car certaines espèces végétales se comportent comme de réels filtres à pollution. Les espaces verts sont enfin des lieux à valeur sociale, recherchés des citadins, qui apportent des espaces de loisirs à l'intérieur des villes. L'introduction de végétal en ville est possible de plusieurs manières, les espaces verts et les arbres d'alignement et les toitures et murs végétalisés, chacune présentant des intérêts différents et complémentaires.

Les arbres d'alignements et les espaces verts

Ces éléments végétaux de la ville sont ceux le plus couramment utilisés. Cependant, le centre de l'agglomération parisienne a une carence d'espaces verts par habitants par rapport aux objectifs du SDRIF (10m² d'espaces verts publics par habitants). Ainsi Paris ne compte que 2,4m²/hab. hors Bois, avec cependant de grandes variations selon les arrondissements. Sont comptés ici les espaces verts ouverts au public, les « espaces verts protégés », les espaces plantés des équipements publics (terrains de sports, établissements scolaires…), les cimetières, les talus plantés (le long du périphérique notamment), les espaces plantés de la Petite Ceinture et les espaces plantés des ensembles de villas et de hameaux. Il n'y a qu'en ajoutant les Bois de Boulogne et Vincennes (762,5 ha et 889,2 ha) que l'on arrive au-dessus des préconisations du SDRIF avec 13,2 m²/habitant.

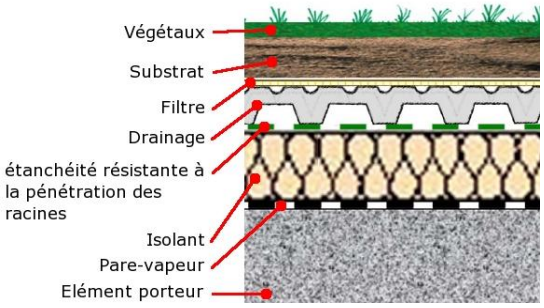
Leur principal avantage est, en dehors d'embellir la ville et de créer des espaces de détente, de créer des zones d'ombre dans l'espace urbain. Ainsi, les arbres d'alignement

feuillus, ombragent les rues, mais aussi les façades d'immeubles, permettant ainsi aux logements de ne pas surchauffer. De même, les espaces verts, que se soient de petits squares de quartiers ou de grands parcs urbains, fournissent aux citadins des lieux où l'on peut se rafraîchir lorsque la température de la ville est trop forte.

Les toitures et murs végétalisés

Les toitures végétalisées sont encore très peu répandues en France contrairement à d'autres pays comme l'Allemagne qui comptait déjà, au milieu des années 1990, 15 % de toitures végétalisées contre seulement 1 % en France en 2005. Le potentiel de « toitures plates » est pourtant estimé à 314 hectares à Paris selon l'APUR.

Il existe plusieurs types de toitures végétalisées : intensif – qui offre beaucoup de possibilités mais nécessite un entretien important et à un coût élevé – semi-intensif et extensif, bien moins cher (de 50 à 200 €/m² contre près de 300 €/m² en intensif) et nécessitant très peu d'entretien, mais avec un choix d'espèces végétales réduit.



Complexe de végétalisation
Source : cstb.fr

La technique aujourd'hui la plus utilisée est celle de la toiture terrasse extensive où l'on emploie principalement des plantes succulentes de types sédum, plantes de rocaille, non considérées comme allergisantes. L'installation peut nécessiter un renforcement de structure, ce qui occasionne un surcoût. De plus, la pente du toit doit généralement être comprise entre 0 et 20 degrés.

Les murs végétalisés sont plus nombreux. Il n'est pas extrêmement rare de voir des murs couverts de plantes grimpantes comme le lierre. Cependant, se développent aujourd'hui des « jardins verticaux » comme celui que l'on peut voir su les façades de Musée du Quai Branly à Paris, réalisé par le paysagiste Patrick Blanc. Comme les toitures végétalisées, ces murs nécessitent l'installation d'une structure porteuse pour les végétaux.

Cependant, il faut tenir compte de plusieurs points pour que ces installations soient efficaces contre les ICU :

- Les espèces végétales : certaines sont plus sensibles que d'autres au stress hydrique et ont des capacités de transpiration différentes. Les sédums utilisés pour les toitures extensives, s'ils ont une bonne résistance à la sécheresse, ont une transpiration réduite. On peut alors douter du pouvoir rafraîchissant de telles installations. Seuls les types intensif et semi-intensif, avec la possibilité de planter tout type de végétaux peuvent avoir un effet réellement bénéfique. Cependant, les végétaux qui correspondraient à ces critères sont ceux des zones humides et nécessitent donc un entretien important et une irrigation régulière.
- Les toitures et murs végétalisés ne peuvent à eux-seuls influencer suffisamment le climat urbain. Ils ne peuvent pas remplacer les espaces verts « traditionnels » qui doivent être préservés et développés non seulement pour lutter contre les ICU mais aussi pour des raisons environnementales et sociales.

Références :

APUR, *Réaliser de nouveaux jardins, comment végétaliser Paris ?*, Novembre 2005
Association des toitures végétales Adivet : *adivet.fr*
Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) : *cstb.fr*

CHALEUR ET AMENAGEMENT

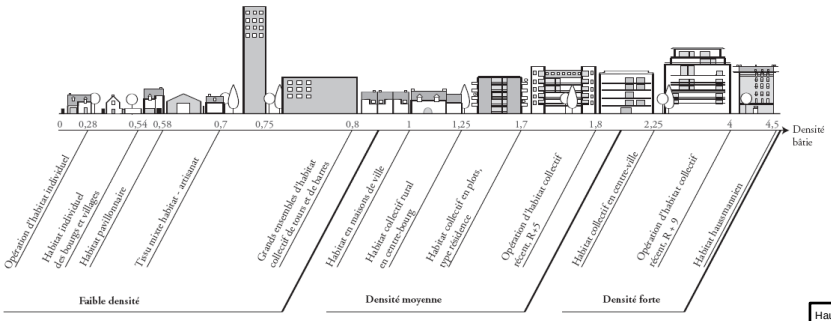
6. Les solutions de l'aménagement : les formes urbaines et l'urbanisme

Source : Doutre (Caroline), BaSoH ; IAU îdF

Le modèle d'urbanisation, les formes urbaines, influencent grandement l'effet d'îlot de chaleur urbain à cause de la multiplication des surfaces de réflexion et de la perturbation des écoulements d'air (cf. « Chaleur et phénomènes physiques » – fiches n°1 et 3 et « Chaleur et nature » – fiche n°3).

La densité et le problème des « rues canyon »

Il existe de nombreuses et différentes morphologies urbaines en Île-de-France, dont les densités bâties sont très variables et reflètent les différentes évolutions et développements de l'agglomération parisienne depuis le XIXe siècle.

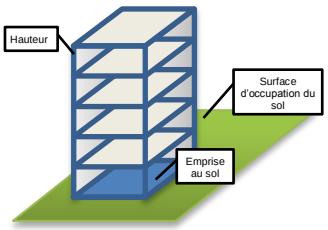


Densités des différents types d'habitats présents en Île-de-France

Source : IAURIF, 2005(b)

La densité bâtie se définit par le rapport entre l'emprise au sol multiplié par la hauteur moyenne et la surface d'occupation du sol.

$$\text{Densité bâtie} = \frac{\text{Emprise au sol x hauteur moyenne}}{\text{Surface d'occupation du sol}}$$



La densité bâtie

Source : IAURIF, 2005(a)

Dans le cadre de la lutte contre les ICU, d'une manière grossière, une trop forte densité bâtie n'est pas souhaitable car elle laisse *a priori* peu de place aux espaces verts, multiplie les sources de chaleur et créé des espaces confinés qui stockent la chaleur.

A l'échelle micro, la principale caractéristique urbaine qui influence l'effet d'îlot de chaleur est la configuration des rues en canyon, c'est-à-dire des rues relativement étroites bordées de bâtiments de plusieurs étages, que l'on définit par le rapport entre la largeur et la hauteur. Plus la rue est en forme de canyon, plus les circulations d'air et le bilan radiatif sont perturbés. En l'absence de vent, cela pose plusieurs problèmes : d'une part celui de la chaleur qui reste prisonnière de la rue, et d'autre part, celui de la dissipation des polluants. Or, cette forme urbaine est la plus répandue dans les centres-ville anciens européens et est de plus favorisée par le principe de densification.

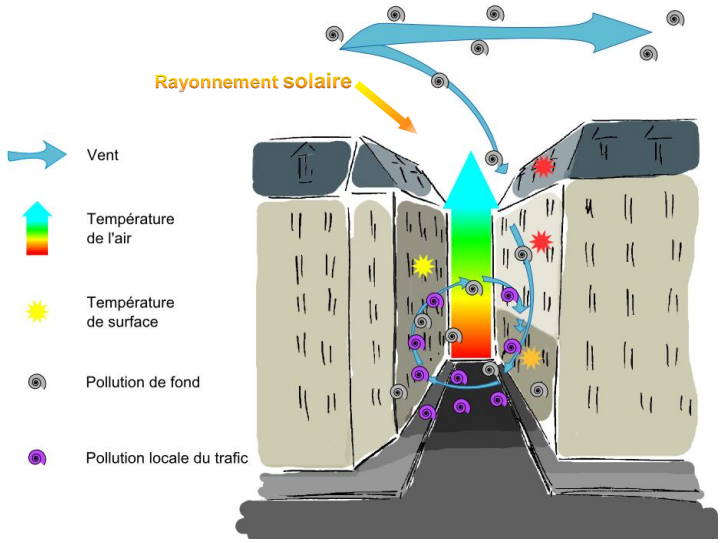


Schéma d'une rue canyon

Le vent dominant s'engouffre dans la rue et est dévié par les obstacles que constituent les bâtiments (ce qui explique pourquoi au niveau du sol, lorsque le vent est perpendiculaire à la rue, sa direction est inverse au vent dominant). Les masses d'air ont alors un mouvement en spirale, renforcé par la convection due à la chaleur : l'air chaud des rues monte et est remplacé par l'air froid qui circule au-dessus de la ville ce qui permet de chasser la chaleur et les polluants de la ville et de la rue.

Cependant, le principe de densité peut recouvrir de multiples formes urbaines, de hauteur et d'emprise au sol différentes. Une densification des villes prenant en compte les ICU est donc certainement possible si l'on prend garde de préserver des espaces ouverts végétalisés et des aérations naturelles qui considèrent, par exemple, la géographie des lieux, l'orientation ou les vents dominants.

Les modes de déplacements doux pour réduire les sources anthropiques de chaleur

De plus, le principe de densification, qui est aujourd'hui mis en avant notamment pour limiter l'étalement urbain et réduire l'utilisation de la voiture particulière, l'une des principales émettrices de gaz à effet de serre, est couplé à l'encouragement du développement des modes de déplacement dits doux (modes de transports non motorisés : vélo, marche à pied…). Dans le contexte qui nous intéresse ici, l'essor de ces moyens de transports pourrait permettre de diminuer les émissions de chaleur anthropiques qui participent à l'effet d'îlot de chaleur, notamment en été en ce qui concerne l'automobile (en hiver, les chaleurs anthropiques proviennent principalement du bâti) .

Références :

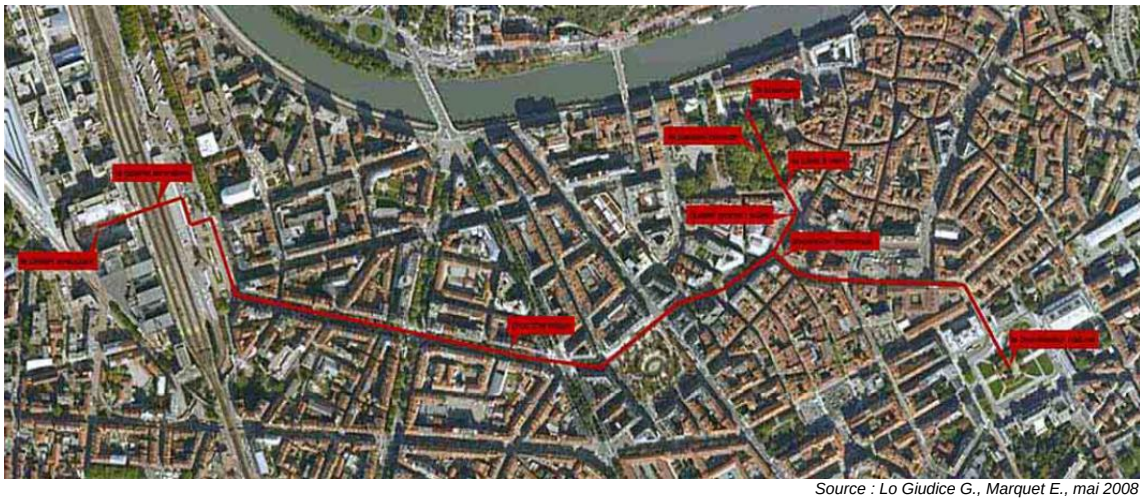
Colombert M., *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville*, Thèse de doctorat Génie urbain, Université Paris-Est, 2008

IAURIF, *Appréhender la densité 2. Les indicateurs de densité*, Note rapide sur l'occupation du sol n°383, juin 2005(a)

IAURIF, *Appréhender la densité 3. Formes urbaines et densités*, Note rapide sur l'occupation du sol n°384, juin 2005(b)

CHALEUR ET AMENAGEMENT

7. La sensibilisation : les « balades thermiques », l'exemple de Grenoble



Source : Lo Giudice G., Marquet E., mai 2008

Lorsque l'on envisage d'intervenir sur un espace ou un territoire en termes d'aménagement, la réalisation d'un diagnostic est primordiale (cf. « Chaleur et aménagement » fiche n°3). Cependant, en parallèle d'un diagnostic technique, notamment en ce qui concerne les ICU, un diagnostic *in situ*, du ressenti et des ambiances thermiques peut s'avérer être riche d'enseignements.

Méthodologie

Des élèves de l'école nationale supérieure d'architecture de Grenoble, par l'intermédiaire de Nicolas Tixier et Jean-Paul Thibaud, qui travaillent particulièrement sur les ambiances urbaines, ont réalisé un parcours thermique dans la ville de Grenoble pour identifier les différents phénomènes thermiques ressentis en ville. Les parcours ont été réalisés par sept groupes de deux à quatre personnes sur une durée allant d'une heure à une heure et demi. Neuf lieux ont ainsi été étudiés, chacun étant représentatif d'un phénomène, d'une ambiance thermique ou d'usages particuliers liés à la température. Ainsi, chaque lieu est décrit selon sa morphologie, sa place dans la ville, ses usages et le dispositif qu'il illustre. La perception microclimatique fait ensuite l'objet d'une description plus détaillée, notamment grâce aux témoignages de passants ou de personnes fréquentant régulièrement ou travaillant dans les lieux. Enfin, une dernière partie, « Le savoir », explique de façon technique les mécanismes à l'œuvre à l'origine des perceptions.

Exemple d'étude d'un lieu : l'Hôtel de l'Europe

Source : Lo Giudice G., Marquet E., mai 2008

L'importance du ressenti

« Quand nous parlons du temps qu'il fait, ce n'est pas de météo que nous parlons, mais de ce qu'il nous fait, donc de nous-même, nous le ressentons, nous nous en protégeons » (Martin de La Soudière, Au bonheur des saisons in. Lo Giudice, Marquet, 2008).

Cette citation reflète bien l'importance du ressenti et de sa prise en compte en aménagement. En effet, l'expérience montre facilement que le corps humain est beaucoup plus sensible aux changements de température qu'à la température absolue. Ainsi, si l'on se trouve dans un lieu frais et que l'on passe dans un endroit chaud on le trouvera d'autant plus chaud. Par exemple, le parcours de Grenoble montre comment le corps ressentait une plus forte humidité dans un jardin par rapport à d'autres endroits, alors que l'hygromètre ne décelait aucun changement.

C'est également ce que notent Sinda Haouès-Jouve et Aude Lemonsu lors de leur intervention au séminaire *Les villes et l'adaptation au changement climatique* (2010) : Le temps qu'il fait est « une expérience sensorielle et cognitive, singulière et relative, quotidienne et discontinue ; une perception des variabilités, à la fois spatiales et temporelles ; une expérience globale de l'environnement : la sensibilité aux ambiances ».

L'étude de ce ressenti, qui est propre à chaque personne mais d'où l'on peut tout de même tirer une règle générale comme pour le confort thermique (cf. « Chaleur et populations » fiche n°1), serait alors un atout non négligeable dans un projet d'aménagement.

La nécessité d'avoir différentes ambiances thermiques

Les ambiances thermiques sont donc très différentes d'un lieu à l'autre de la ville. Tout en luttant contre les effets d'îlot de chaleur urbain, la préservation d'une certaine diversité de température dans la ville, selon des niveaux acceptables, afin de permettre une multiplicité d'usages de la part de personnes différentes, à différents moments de la journée ou de l'année est tout de même à considérer.

Il est par exemple important de conserver des endroits qui captent un peu de chaleur et où les gens pourront se réchauffer en hiver et, inversement, d'autres où ils pourront se rafraîchir à l'ombre en été.

Exemple d'une place aux usages différents selon les saisons

En hiver, les gens s'installent au soleil ; en été, ils se mettent à l'ombre

Source : Lo Giudice G., Marquet E., mai 2008

Références :

Lo Giudice G., Marquet E., *Balade thermique ? Sensations garanties !*, mémoire du séminaire de Master 1 « Chaleurs urbaines », ENSAG, mai 2008

Haouès-Jouve S., Lemonsu A., « Formes urbaines, modes d'habiter et climat urbain dans le périurbain toulousain », Séminaire *Les villes et l'adaptation au changement climatique*, Paris, 27-28 avril 2010

CHALEUR ET AMENAGEMENT

8. La sensibilisation : des réalisations franciliennes exemplaires

Source : Stephan Lucas, Ekopolis, 2009

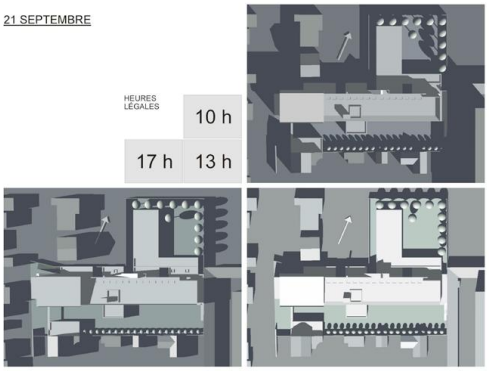
Si les politiques d'adaptation de la ville aux changements climatiques et aux îlots de chaleur urbains sont encore assez timides en France et en Île-de-France, certaines initiatives semblent aller dans le bon sens que ce soit au niveau des bâtiments ou à plus large échelle.

Le groupe scolaire Jean-Louis Marquèze à Limeil-Brévannes (94)

En matière d'aménagement, on peut agir sur les ICU, à l'échelle du bâtiment, en diminuant les besoins de chauffage et de climatisation et en limitant les pertes de chaleur. Le groupe scolaire Jean-Louis Marquèze à Limeil-Brévannes dans le Val-de-Marne est la première école « zéro énergie » : avec de bons usages, elle ne devrait pas consommer d'énergies fossiles non renouvelables et pourvoira à ses propres besoins en chauffage et électricité.

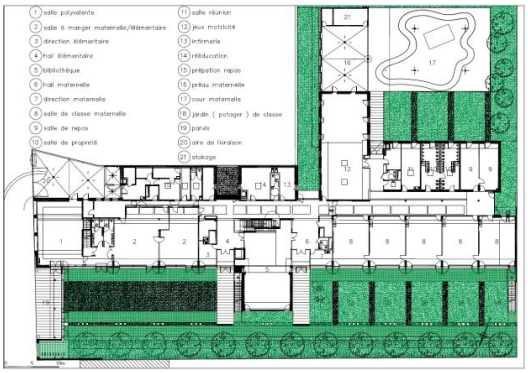
La réalisation de cette école peut être citée en exemple tout d'abord car elle a fait l'objet, en amont, d'études sur l'exposition, les vents, et les possibilités de récupérations des eaux pluviales qui ont permis ensuite de déterminer les caractéristiques architecturales du projet.

Ainsi, les salles de classes bénéficient de la meilleure exposition (sud/sud-est) pour avoir le plus de lumière et de chauffage naturels en hiver et sont équipées de volets et de stores vénitiens qui permettent d'ajuster l'apport solaire en été.



Etude des ombres portées du bâtiment sur les espaces extérieurs

Source : Cabinet H. Pénicaud in. Ekopolis, 2009



Le PLU de la ville exige que 40 % de la parcelle reste en pleine terre, ce qui, bien que cela oblige à situer la cours de l'école primaire en R+1, permet de conserver une large part de nature au sein du projet avec des noues filtrantes pour les eaux de pluie, des jardins pédagogiques et des plantations d'arbres. Enfin, la ventilation naturelle est pensée dès la conception du projet puisque toutes les pièces disposent d'ouvrants en double exposition ce qui permet de créer des courants d'air.

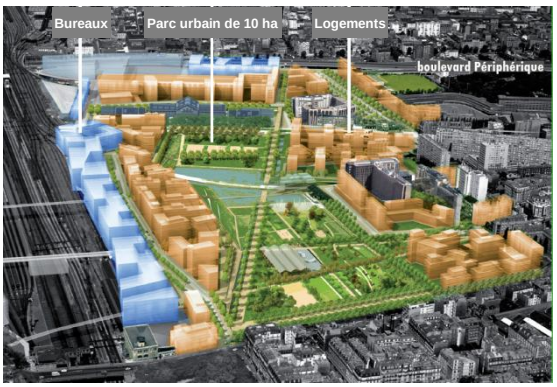
Plan du rez-de-chaussée

Source : L+S Goldstein in Ekopolis 2009

Cependant, notons tout de même que l'approche par l'énergie a occulté l'aspect matériaux de la problématique îlot de chaleur : hormis des éléments de toiture végétalisés, les matériaux des bâtiments, et particulièrement leurs albédos, n'ont pas fait l'objet d'études approfondies. D'ailleurs, une grande partie des toitures et de la façade sud sont couverts de panneaux photovoltaïques afin d'atteindre l'objectif « zéro énergie », alors même que ces panneaux font largement augmenter la température de surface des bâtiments en été et diminuent de fait le gain en énergie obtenu sur la réduction des pertes de chaleur grâce à une bonne isolation.

Le Nouveau Quartier Urbain Clichy-Batignolles dans le 17e arrondissement

A l'échelle d'un quartier, l'enjeu de la lutte contre les ICU est la combinaison entre densification urbaine et aération du quartier, implantation de végétal en pleine terre mais aussi qualité environnementale et paysagère, notamment en ce qui concerne les matériaux urbains. Le projet Clichy-Batignolles dans le 17e arrondissement de Paris, lancé en 2009, répond à l'appel à projet de la Région pour la réalisation de Nouveaux Quartiers Urbains visant une haute qualité urbaine.



Le projet NQU Clichy-Batignolles

Source : Mairie de Paris, 2009

Le projet Batignolles inclut pour ses bâtiments des principes bioclimatiques (orientation, ensoleillement, aération…) et des objectifs énergétiques ambitieux (bâtiments passifs). De plus, il affiche des volontés de densité de population à l'îlot allant jusqu'à plus de 1 000 hab./ha – la densité bâtie n'étant pas précisée. Cependant, le projet ne néglige pas la nécessité d'espaces verts puisque est créé un grand parc urbain de 10 ha au cœur de la ZAC, sur un cinquième de sa surface (50 ha), autour duquel gravitent les constructions qui profitent ainsi de ses apports de fraîcheur.

L'ICU est d'ailleurs particulièrement pris en compte puisque les revêtements de sols sont clairs et réfléchiront ainsi l'énergie solaire. De plus, chaque concepteur doit atteindre un coefficient de régulation thermique qui prend en compte l'ensemble des surfaces horizontales et verticales et inclus une analyse aéraulique des masses bâties pour avoir une bonne circulation de l'air et une température extérieure supportable.

Références :

Ekopolis, *Groupe scolaire Jean-Louis Marquèze, Limeil-Brévannes (94), Retour d'expérience*, 12 mai 2009

Mairie de Paris, *Projet Clichy-Batignolles*, août 2009

INSTITUT
D'AMÉNAGEMENT
ET D'URBANISME
ÎLE-DE-FRANCE

8 10 007
ISBN 978.2.7371.1762.6

15, rue Falguière - 75740 Paris cedex 15 - 33 1 77 49 77 49 - www.iau-idf.fr