

Effet de l'urbanisation sur le changement climatique

La végétalisation urbaine, un moyen d'en atténuer partiellement les effets

François Le Tacon

Introduction

L'augmentation de la température moyenne de l'air à la surface du globe a été d'environ 1° C en un siècle. On attribue l'essentiel de cette augmentation à l'effet de serre qui augmente avec les émissions massives de CO₂ ou de méthane produits par l'activité humaine. D'autres facteurs interviennent comme la déforestation ou encore l'urbanisation qui crée des points chauds appelés îlots thermiques urbains.

Les îlots thermiques urbains

Les zones urbaines sont caractérisées par une augmentation plus rapide de la température de l'air que les zones rurales. Nous prendrons comme exemple ceux d'Osaka et de Tokyo, Tokyo étant la plus grande agglomération du monde avec 43 millions d'habitants (Huang *et al.*, 2009 ; Fujibe, 2011). Le taux de réchauffement moyen de la température de l'air de surface à Osaka a été d'environ 2,0 ° C sur 100 ans entre 1883 et 2006, dont au moins la moitié peut être attribuée à l'effet d'îlot thermique urbain. En effet, à Tsurugisan, en milieu naturel au large d'Osaka, de 1946 à 2000, la température est restée à peu près constante. À Tokyo, l'augmentation de la température moyenne de l'air a été de 3° C en 100 ans alors qu'elle a moins augmenté dans l'ensemble du Japon et n'a guère augmenté dans l'île de Hachijo située au large de Tokyo.

Dans ces îlots thermiques urbains il existe un gradient de température qui augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche du centre. Un relevé de température systématique effectué à Tokyo le 6 mars 1939 à minuit montre un différentiel de 5°C entre le centre de Tokyo et la périphérie. Le phénomène est identique dans toutes les villes du monde. Il existe une corrélation étroite entre la densité de population et l'augmentation de la température moyenne sur un siècle. Quels sont les causes de ces augmentations de température dans les îlots urbains ? Elles ont multiples et complexes, mais deux facteurs jouent un rôle essentiel : l'apport d'énergie thermique extérieure d'origine anthropique et la rupture du cycle de l'eau.

L'apport d'énergie thermique d'origine anthropique dans les îlots urbains

Dans un site naturel, l'énergie thermique disponible provient de l'énergie solaire incidente, de l'énergie géothermique et de l'énergie d'échange avec les régions voisines par les courants aériens ou marins. Dans les agglomérations urbaines, il a en plus un apport extérieur d'énergie d'origine anthropique. Il se fait sous des formes diverses : électricité, gaz, charbon (Inde et Chine), combustible pour les véhicules, aliments pour les Hommes. En 2017, la production mondiale d'énergie commercialisée était de 13 511 Mtep (Millions de tonnes équivalent pétrole), en progression de 16,6 % par rapport à 2007. Il faut y ajouter environ

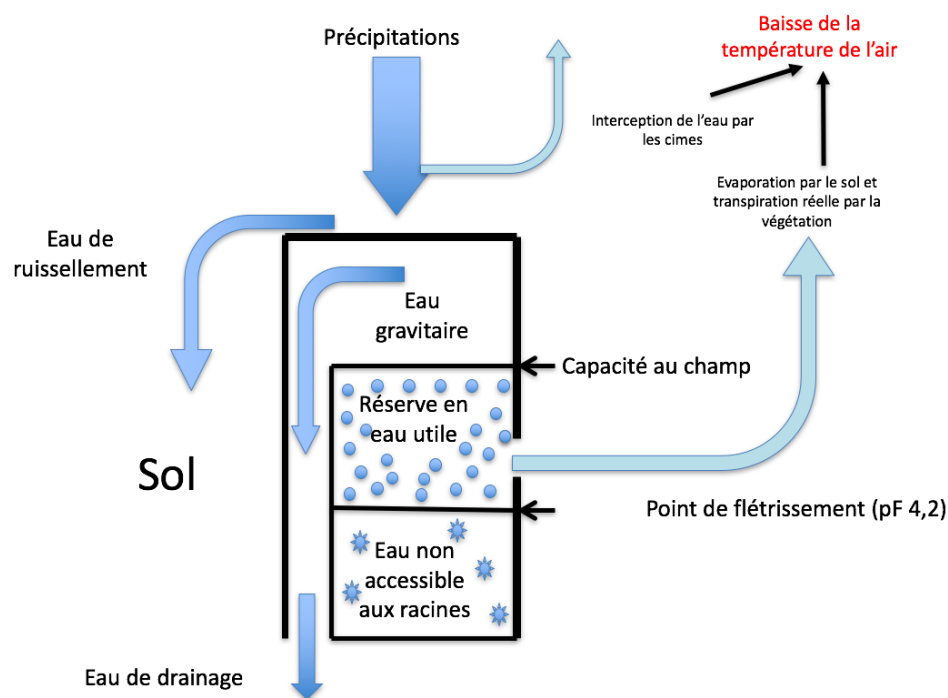
10% d'énergie autoconsommée soit un total de 14 860 Mtep, ce qui fait par habitant et par an une consommation de presque 2 tonnes d'équivalent pétrole. *In fine*, toute cette énergie se dissipe sous forme de chaleur dans l'atmosphère. Elle se dissipe essentiellement dans les agglomérations qui voient ainsi la température de l'air augmenter. C'est une évidence : moins les habitations sont isolées, plus l'air extérieur se réchauffe.

La rupture du cycle de l'eau dans les ilots urbains

Lorsqu'il existe un sol et une végétation le couvrant, une partie des eaux de pluie est emmagasinée dans les sols puis évapotranspirée dans l'atmosphère pendant la photosynthèse par les stomates des plantes sous forme de vapeur. La quantité d'eau évapotranspirée dépend de deux facteurs :

- De la quantité maximale d'eau potentiellement évaporable, qui est un paramètre physique exprimé en millimètres d'eau et dépendant des conditions météorologiques (rayonnement solaire, température, vent, humidité de l'air, etc.).
- De la quantité d'eau utile emmagasinée dans les sols.

Le passage de la forme liquide dans le végétal à la forme de vapeur dans l'air nécessite de l'énergie qui est prise à l'air dont la température chute.



Représentation schématique du cycle de l'eau dans le système atmosphère/sol/ végétal

L'urbanisation se traduit par la disparition des sols sous le béton ou le bitume et par la disparition de la végétation. L'eau n'est plus emmagasinée dans les sols et doit être évacuée par les égouts directement dans les cours d'eau avec risques d'inondation ou indirectement après rétention dans des bassins. Cette eau n'est plus recyclée par la végétation, ce qui entraîne pendant l'été une élévation de la température de la surface de l'air dans les ilots urbains.

Arbres et microclimat en milieu urbain

Les arbres peuvent aller rechercher l'eau à très grande profondeur, ce que ne peut faire une végétation herbacée. Il peut donc y avoir des différences importantes en termes d'évapotranspiration réelle en période de sécheresse. Les arbres ont un autre avantage par rapport à la végétation herbacée. Par leur couronne, ils interceptent une bonne partie de l'énergie solaire et créent ainsi sous eux pendant la période estivale un microclimat particulier que tout le monde connaît bien et apprécie en période de forte chaleur. Sous un couvert d'arbres, la réduction de température peut être considérable. Elle atteint souvent 10 degrés Celsius et parfois plus (Robitu *et al.*, 2006). Si l'effet de l'ombrage des arbres est facile à mesurer ou à ressentir, l'effet sur les bâtiments environnants est plus difficile à mettre en évidence. Il résulte de processus très complexes et d'interactions énergétiques multiples qui peuvent cependant être modélisées (Robitu *et al.*, 2006).

Autres effets des arbres en milieu urbain

Les arbres en milieu urbain ne jouent pas uniquement sur la température. Nous prendrons comme exemple une étude réalisée en 2015 à Londres : *Valuing LONDON'S URBAN FOREST Results of the London i-Tree Eco Project*. Les arbres captent des polluants par leur feuillage. Ils évitent le ruissellement d'énormes quantités d'eau pendant les orages, ils fixent annuellement du gaz carbonique et le conservent pendant plusieurs années, ils améliorent le bilan thermique des habitations et jouent divers autres rôles dont un effet de bien-être. Pour l'ensemble de l'agglomération de Londres le bénéfice annuel est évalué à 132,7 millions de livres sterling.

Nombre d'arbres	Centre	1 587 000	
	Banlieue	6 834 000	
	Total	8 421 000	
Couverture au sol	Centre	18%	
	Banlieue	21%	
Polluants captés	Centre	561 tonnes	48 millions £
	Banlieue	1680 tonnes	68,1 millions £
	Total	2251 tonnes	116,1 millions £
Eau de ruissellement évitée pendant les orages	Centre	705 000 m3	0,6 millions £
	Banlieue	2 709 000 m3	2,2 millions £
	Total	3 414 000 m3	2,8 millions £
Quantité totale de CO2 fixé	Centre	499 000 tonnes	30,9 millions £
	Banlieue	1 866 000 tonnes	116 millions £
	Total	2 365 000 tonnes	146,9 millions £
Quantité de CO2 fixée par année	Centre	15 900 tonnes	987 000
	Banlieue	61 300 tonnes	3,8 millions
	Total	77 200 tonnes	4,79 millions £
Energie économisée dans les bâtiments			260, 600 £
Emissions de <u>carbone évitées</u> par les bâtiments			54, 600 £
Valeur d'agrément			43,3 millions £
Coût total de remplacement des arbres			6,12 milliards £
Bénéfice annuel total			132,7 millions £

Estimation des bénéfices procurés par les arbres à Londres et dans sa banlieue

Lutte contre les îlots de chaleur urbains. L'exemple de Bordeaux Métropole

Diverses agglomérations urbaines ont tenté ou tentent de réduire les effets de ces îlots de chaleur. En 2014, Bordeaux Métropole a réalisé une étude pour identifier les îlots de chaleur et de fraîcheur urbains et pour préconiser en conséquence des aménagements. Les îlots de chaleur urbains se manifestent par une augmentation relative des températures, par rapport à la périphérie urbaine, mais aussi par des teneurs en polluants plus élevées. Ils sont constitués par des lieux sans végétation, incapables d'évapotranspirer l'eau. Les principales sources des îlots de chaleurs sont :

- les toitures de couleur foncée ;
- les parkings et places minérales ;
- les routes et rues non arborées ;
- la gare avec les voies ferrées, les quais ;
- les zones industrielles ou d'activité commerciale ;
- Les friches.

Huit sites pilotes ont été sélectionnés afin d'approfondir la démarche au travers de cas concrets :

- le Taillan-Médoc : Place Charles-de-Gaulle ;
- Pessac : Centre-ville + pôle intermodal ;
- Le Bouscat : Îlot Renault ;
- Mérignac : Place Charles-de-Gaulle ;
- Talence : Place Alcalade-Henares ;
- Saint-Médard-en-Jalles : École primaire Montaigne ;
- Bègles : Centre commercial Rives-d'Arcins.

Des préconisations ont été proposées au travers de 34 fiches actions. Ces mesures, curatives et préventives, portent sur la place de la végétation et de l'eau en ville, ainsi que sur l'aménagement et l'architecture, etc. Actuellement, les fiches actions sont en cours de mise en application. À terme, les préconisations devront être prises en compte dans tous les projets d'aménagement.

Bordeaux Métropole a décidé de prolonger cette étude en expérimentant, en 2015 et 2016, la mise en œuvre d'îlots de fraîcheur urbains au sein d'une Zone d'Aménagement Concertée (Zac) en cours de création (Zac du Tasta). Un outil a été créé pour suivre l'impact prévisible des aménagements urbains. Deux scores compris entre 0 et 1 sont calculés (un pour l'état initial et un après réalisation des aménagements), montrant l'impact des aménagements sur le confort climatique et permettant d'orienter le choix des aménagements définitifs.

Les recommandations générales de bon sens sont ainsi résumées :

- renforcer la présence des arbres et de la végétation en ville ;
- renforcer la présence de l'eau ;
- créer des zones ombragées ;
- utiliser des matériaux de teinte claire pour les aménagements d'espaces publics ;
- créer des formes urbaines qui favorisent la circulation de l'air ;
- limiter l'installation des climatiseurs.

Caractérisation des ilots de chaleur urbains par zonage climatique et mesures mobiles : cas de Nancy¹.

Cette thèse avait pour objectif de mettre à disposition des aménageurs un outil permettant la prise en compte du climat urbain dans le processus de planification urbaine. Il s'agit d'un modèle simple tant dans sa conception que dans son utilisation, se focalisant sur l'îlot de chaleur urbain et permettant d'évaluer des *scenarii* d'aménagement. Cet outil est multi-échelle et, s'il était mis en application, permettrait des évaluations du niveau de la rue à celui de l'agglomération dans sa totalité.

Il existe maintenant à Nancy un projet COTEN ou Conseil D'Orientation de la Transition Ecologique de Nancy en partenariat avec l'Université de Lorraine. Dans ce projet existe un volet îlot de fraîcheur traité par l'Agence SCALEN qui accompagne la Métropole du Grand Nancy dans l'élaboration d'un Projet Métropolitain.

Conclusions

Il est possible de réduire partiellement les émissions de chaleur des ilots urbains en optimisant les transferts d'eau entre sol, végétation et atmosphère. Les sols devront être conservés autant que possible ou éventuellement reconstitués. Rappelons que le premier rôle des sols est d'emmagasiner l'eau de pluie ce qui lui évitera de ruisseler. Cette eau sera ensuite utilisée par les végétaux au cours de la photosynthèse. Le passage de l'eau de l'état liquide à l'état vapeur au niveau des stomates des végétaux entraîne une chute très significative de la température de l'air. Toutes les modalités de végétalisation en milieu urbain ont un effet positif sur le recyclage de l'eau. Les arbres qui peuvent aller chercher l'eau en profondeur sont à privilégier. Ils créent en outre un microclimat particulier par leur ombrage. Coupler une végétation arborescente avec des cours d'eau ou des bassins à berge naturelle permet encore d'améliorer l'efficacité de la gestion de l'eau. Ceci suppose la réhabilitation des cours d'eau qui ont été recouverts et la création de nouveaux bassins aussi naturels que possibles en évitant une artificialisation excessive comme le recyclage de l'eau des bassins de rétention après javellisation.

La végétalisation extensive des terrasses permet d'améliorer l'isolation des bâtiments, mais n'a que peu d'effet sur le cycle de l'eau en raison de la faible efficacité photosynthétique des sédums ou des plantes analogues adaptés aux faibles réserves en eau utile des substrats mis en œuvre (gravillons sur une épaisseur réduite). Quant aux murs végétaux extérieurs sans réserve d'eau et alimentés uniquement par irrigation, ce sont des non-sens biologiques coûteux à installer, coûteux à entretenir et donc à proscrire. Rien ne vaut des solutions simples peu coûteuses à installer et à entretenir : des arbres, un sol, une alimentation par les eaux de pluie, autrement dit un cycle naturel fonctionnant à l'énergie solaire.

Les espaces végétalisés et arborés couplés à de l'eau courante ou stagnante, en dehors de leur effet d'atténuation du réchauffement global et de celui des ilots thermiques urbains, contribue à l'amélioration du bien-être des habitants des villes par d'autres aspects (amélioration de la qualité de l'air, atténuation des bruits et du vent, fixation de CO₂, sensation de bien-être, etc.).

Pour terminer, nous présentons deux photographies d'une réalisation exemplaire : l'éco-quartier Vauban à Fribourg-en-Brisgau (Allemagne). Cet éco-quartier de 5 500 habitants a été construit sur une ancienne base militaire. La végétation est partout présente : dans les rues, devant les maisons ou les petits immeubles, sur les balcons ou les terrasses. Des panneaux photovoltaïques couvrent les toits. La plupart des façades sont en bois avec des couleurs

¹ François LECONTE, thèse de Climatologie. Université de Lorraine, 2014, LERMAB.

différentes. Plus aucune voiture ne circule dans les rues. Seuls des piétons ou des vélos les parcourent. Les enfants jouent dans les rues en toute sécurité ou dans des jardins publics partout présents avec des bassins, des mares ou des ruisseaux. Un tram à débit rapide et à grande capacité traverse l'éco quartier et assure la liaison avec le centre-ville.



Aspects de l'éco-quartier Vauban à Fribourg-en-Brisgau
(Cliché : Sophie Wakeford)

Références

Anonymes (2018). Ilots de chaleur et de fraîcheur urbains. Bordeaux Métropole.

Anonymes (2015). Valuing London's Urban Forest Results of the London i-Tree Eco Project. Published by Treeconomics London.

Benmarhnia T. et Beaudeau P. (2018), « Les villes et la canicule : se préparer au futur et prévenir les effets sanitaires des îlots de chaleur urbains », *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, 16-17, 354-357. http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2018/16-17/2018_16-17_6.html.

Fujibe F. (2011). « Urban warming in Japanese cities and its relation to climate change monitoring », *International Journal of Climatology*, 31, 162-173.

Fukui et Wada, (1941). *Copyright 2010, Royal Meteorological Society*. Repris de Fujibe F. *International Journal of Climatology*, 3 : 162–173.

Huang S., Taniguchi M., Yamano M., Wang C-h. (2009) Detecting urbanization effects on surface and subsurface thermal environment — A case study of Osaka. *Science of the total environment*, 407, 3142-3152.

Leconte F. (2014). *Caractérisation des îlots de chaleur urbains par zonage climatique et mesures mobiles : Cas de Nancy*. LERMAB. Thèse Université de Lorraine

Robitu M., Musy M., Inard C. et Groleau D. (2006). « Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate », *Solar Energy*, 80, 435-447 (2006).