

Solutions de Rafraîchissement Urbain

Journée technique
27 juin 2017

Rue Garibaldi, Lyon



PLAN
CLIMAT
ENERGIE
TERRITORIAL
GRAND LYON

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

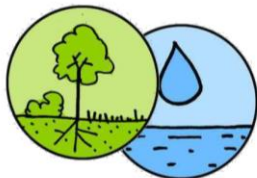
Ce document présente un panorama des solutions de rafraîchissement urbain, dans la cadre de l'étude :
Rafraîchissement urbain - Etat des lieux des connaissances et organisation d'une journée scientifique et technique
Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : IRSTV – Centrale Innovation, TRIBU et Anne Bonlarron
Coordonné par Céline PHILLIPS

Ce document est distribué dans la cadre des journées techniques sur le Rafraîchissement Urbain organisé par l'ADEME et Grand-Lyon Métropole.

Il existe une diversité de solutions pour rafraîchir les villes, voici un panorama non exhaustif des solutions, effectué sur la base d'un travail d'état de l'art.

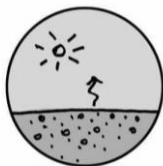
Les solutions de rafraîchissement urbain sont classées selon les 3 types :

Solutions vertes (et bleues)



Services écosystémiques,
nature en ville
(végétal, eau)

Solutions grises



Infrastructures urbaines :
revêtements, mobilier
urbain, bâtiment, bâti

Solutions douces



Gestion et usages de la
ville :
services, mobilités, modes
de vie...

Solutions vertes

On parle de solutions vertes pour les **services écosystémiques, liés à la nature en ville** :

- Végétal : strate basse, strate haute, végétal dans le bâti, arrosé ou non, parcs
- Plans d'eau, cours d'eau, fleuves, bassins, noues

Principales sources de variation des performances :

- le type de support de plantation : sol, façade, toit;
- le type de végétation : haute et basses;
- le type d'essence pour des arbres : platane, érable, liquidambar, etc.;
- le type de quartier : centre-ville assimilable à des rues canyons, grands ensembles, zones pavillonnaires, zones commerciales, etc.;
- la taille de l'espace vert considéré : square, parcs
- l'utilisation de systèmes d'arrosage;

Les espaces verts sont des dispositifs qui combinent entre autres végétation basse et végétation haute, permettant ainsi de créer des espaces de confort diurne et nocturne (Chang & Li, 2014; R. Spronken-Smith & Oke, 1999). Ceux-ci contribuent également au rafraîchissement des quartiers situés à proximité du parc, souvent dans un rayon estimé grossièrement comme équivalent à la largeur du parc (Ca, Asaeda, & Abu, 1998; Cao, Onishi, Chen, & Imura, 2010; Shashua-Bar & Hoffman, 2000).

Végétation strate haute au sol



Arbres d'alignement dans les rues



Arbres espaces publics



Arbres dans les parcs

La température nocturne diminue de 0.3°C lorsque la densité de végétation augmente de 10 % (Fenner, 2014 ; Pigeon, 2006). Pendant la période diurne, le rafraîchissement n'est pas toujours observé et dépend du type de végétation rencontré (Petralli., 2014 ; Pigeon, 2006).

Un arbre mature au sein d'une plantation d'arbres peut évaporer jusqu'à 450 litres d'eau par jour, ce qui rafraîchit autant que cinq climatiseurs fonctionnant 20 heures par jour.

L'écart de température à 1.2m du sol entre une rue sans arbres et une autre contenant des arbres est égal en moyenne à 0.7°C, et peut atteindre un maximum de 2°C (selon l'importance des zones ombragées). La nuit on ne note généralement aucune différence (GAO et al. 1995)

Végétation strate basse au sol



Pelouse



Végétal diversifié au sol

Selon une étude menée sur la ville de Barcelone (DE LA TORRE et al. 1998) l'écart entre la température de l'air et celle de la surface d'une pelouse ensoleillée peut atteindre 14°C, alors qu'il serait de plus de 25°C pour les surfaces minérales (sols et murs ensoleillés).

La quantité d'eau présente dans les sols augmente le potentiel de rafraîchissement (par évaporation) en période diurne mais peut entraîner un rafraîchissement moindre en période nocturne (inertie thermique plus importante) (Spronken-Smith et Oke, 1999). Au contraire, un assèchement des sols lié aux plus fréquentes et plus intenses périodes de sécheresse à venir dans les prochaines décennies, pourra entraîner une augmentation de la température au dessus de surfaces « naturelles » non arrosées (EPICEA, 2011).

Végétation en toiture



Toiture extensive (substrat 6cm)



Toiture intensive (substrat 12 cm)



Toiture intensive (substrat 50 cm)

Par une journée ensoleillée de 26 °C (à l'ombre), un toit exposé au soleil peut atteindre une température de 80 °C si sa couleur est foncée, 45 °C si sa couleur est blanche et seulement 29 °C s'il est recouvert de végétaux (Fischetti M., 2005)

Des simulations appliquées à la ville de Nantes ont montré qu'augmenter de 8 % les surfaces de toitures couvertes de végétation (substrat de 15 cm) permet de diminuer de 0.25°C la température à 2 m, et de réduire le ruissellement des eaux de pluie de 4 % (VEGDUD, 2014).

Des simulations appliquées à la ville de Paris pour 10 années ont permis de mettre en évidence l'économie d'énergie liée à la végétalisation des toitures : 23 % d'énergie en été (28 % si elles sont arrosées), contre 4.5 % en hiver.

Végétation en façade



Façade lierre grimpeur



Façade résille avec grimpeur



Façade avec substrat et herbacées

Effet ombrageant de la vigne vierge sur un mur : la température diminue de 20 °C par rapport à un mur nu. La végétalisation des façades d'une rue canyon (haute et large de 21 m, orientée nord sud et située à la latitude de Nantes) permet en période estivale de réduire l'UTCI de près de 3°C à 16h (VEGDUD, 2014).

Bassins, plan d'eau, rivières



Selon leur taille, les étendues d'eau stagnantes peuvent avoir un impact positif ou négatif sur l'ICU. Si l'effet est globalement positif pour des surfaces d'eau importantes, certaines surfaces d'eau immobiles de faible taille stockent de la chaleur et deviennent suffisamment chaudes pour réchauffer l'air pendant la nuit plutôt que contribuer à son rafraîchissement (Revaud et al., 2015; Robitu, Musy, Groleau, & Inard, 2003; Steeneveld, Koopmans, Heusinkveld, Van Hove, & Holtslag, 2011).

Certains aménagements urbains telles que les noues facilitent l'infiltration des pluies dans le sol et le maintiennent donc humide, ce qui favorise l'évaporation et donc le rafraîchissement, cependant, dans le projet vegDUD, il a bien été montré une meilleure capacité de ces noues à infiltrer les eaux de pluie, et donc une moindre capacité à évaporer au regard d'autres systèmes comme les toitures végétales (Musy et al., 2014).

Solutions grises

On parle de solutions grises pour **les infrastructures urbaines** :

- Revêtements urbains : matériaux de chaussée à albédo élevé, matériaux à rétention d'eau, matériaux à changement de phase
- Mobilier urbain : structures d'ombrages, fontainerie, humidification de chaussée
- Bâtiment : conception bioclimatique d'été, protections solaires, ventilation naturelle, revêtements de façade de toitures
- Forme urbaine : porosité aux vents, ouverture au ciel

Exemples :



Structures d'ombrage



Humidification des chaussées



Rue de la Buire, Lyon (Projet Véolia)

Cette méthode consiste à asperger les chaussées d'eau en périodes de forte chaleur (Hendel, 2015; Morille & Musy, 2016; Musy et al., 2016). Selon (Couatts, Beringer, & Tapper, 2007; CSTB et al., 2013; Hendel, 2015; Tanaka, Okazaki, & Horikoshi, 2004), l'utilisation de 2,2 à 3 mm d'eau / jour pour arroser 2 550 ha de surfaces (soit 25 à 35 L/jour/personnes) permettrait de réduire la température nocturne jusqu'à 1°C contre quelques dixièmes de degrés pour la température moyenne. Cependant, l'intensité du refroidissement est fortement dépendante de la morphologie du quartier et des types de sols du quartier et de la quantité de surfaces d'arrosage disponibles.

Brumisateur, fontaines



Quais de Seine, Paris Plage



Jardin d'acclimatation, Paris

Bien que l'utilisation de fontaines soit courante dans l'architecture urbaine, la performance de refroidissement de ces types de dispositifs est peu étudiée dans la littérature. Le refroidissement moyen journalier (entre 2 et 7°C) engendré par ce type de dispositif semble cependant être supérieur à celui propre à l'humidification des chaussées. Certains paramètres d'ajustement peuvent influencer grandement sur les performances du dispositif. C'est par exemple le cas de la taille des gouttes générées par les brumisateurs : certaines tailles n'engendrent aucun rafraîchissement tandis que d'autres diminuent la température de plusieurs degrés Celsius (Yamada, Yoon, Okumiya, & Okuyama, 2008).

Matériaux à albédo élevé



Projet « Cool Roof » New-York



Cool Water, Hot Island' sur Time Square



De nombreuses études montrent l'effet de rafraîchissement diurne et nocturne généré par l'augmentation de l'albédo des matériaux en ville (Aida, 1982; Alexandri & Jones, 2006; Bretz & Akbari, 1997; Doya, Bozonnet, & Allard, s. d.; Groleau & Mestayer, 2013; Kondo, Ueno, Kaga, & Yamaguchi, 2001; Prado & Ferreira, 2005; Taha, Akbari, Rosenfeld, & Huang, 1988; Touchaëi, Akbari, & Tessum, 2016). L'intensité du rafraîchissement (souvent de l'ordre du degré Celsius) est très fortement dépendante du type de surface modifiée (sol, façade, toit), de l'orientation des rues et de leur morphologie. (Fahmy & Sharples, 2009) ont par exemple montré que pour une rue dont le rapport d'aspect serait supérieur à 1,5, l'effet d'augmentation de l'albédo est négligeable. Ils ont également montré que le même rapport d'aspect modifiait la quantité d'énergie solaire absorbée par un quartier selon l'orientation des rues. Dans des régions où l'ensoleillement est important, la modification de l'albédo des toitures est plus intéressante que leur végétalisation (Santamouris, 2014). La plupart de ces résultats sont issus de simulations. D'autres sont issus d'observations réalisées sur des surfaces de petite taille mais très peu d'observations sont réalisées dans le cadre de l'évaluation d'un projet réel (Santamouris, 2014). D'autres matériaux ont une valeur d'albédo qui est dépendante de la température et de l'intensité du rayonnement solaire. Ils sont actuellement en phase de test mais ont montré des performances encourageantes (Santamouris, Synnefa, & Karlessi, 2011).

Matériaux à rétention d'eau



Structures gravillonnées Pavés poreux

Certaines expériences ont montré des résultats encourageants avec des diminutions de température d'air à 1,5 m de l'ordre du degré Celsius à certaines périodes de la journée. Cependant, selon (Santamouris, 2013), les matériaux à rétention d'eau sont des dispositifs de rafraîchissement qui, s'ils s'avèrent performants, devront être mis en œuvre dans des régions pluvieuses et humides afin d'éviter des conflits d'usage de l'eau.

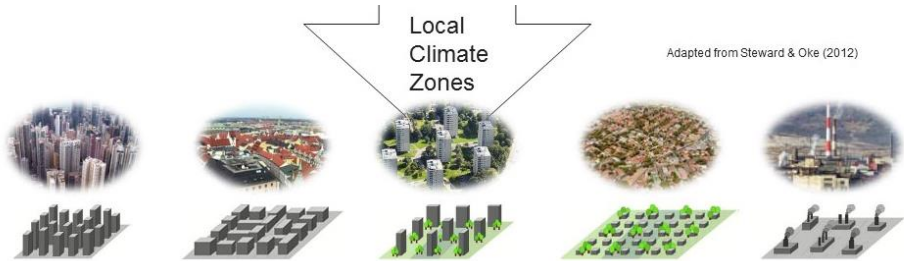
Autres matériaux

Les matériaux à changement de phase ont surtout été testés pour amortir les besoins de chaleur et de froid dans les bâtiments (Santamouris, 2013). Quelques études ont cependant montré que l'utilisation de tels matériaux permettaient de réduire notablement la température des surfaces à certaines périodes de la journée (Karlessi et al., 2011).

L'utilisation de **chaussées solaires** a été récemment testée à Athènes et a montré de bonnes performances de refroidissement (Efthymiou, Santamouris, Kolokotsa, & Koras, 2016; Santamouris, 2013). Il semble cependant plus raisonnable d'utiliser cette technologie en toiture, où les contraintes sont moindres que dans la canopée urbaine. (Golden, Carlson, Kaloush, & Phelan, 2007) ont par exemple proposé de les positionner en toitures d'abris placés au-dessus de parkings.

La technique **d'isolation des bâtiments** (par l'intérieur ou par l'extérieur) est une source potentielle de modification du confort extérieur mais a été peu investiguée jusqu'à maintenant (Gros, 2013). Elle peut en effet modifier la dynamique de la température d'air extérieure et également modifier la température radiante des façades.

Optimisation de la forme urbaine



Méthode : Local Climate Zones (LCZ)

En zones climatiques arides, les bâtiments hauts permettent de limiter la durée pendant laquelle le corps est soumis aux plus fortes sollicitations de stress thermique (Erell, Pearlmutter, Boneh, & Kutiel, 2014). Ces durées sont également plus faibles lorsque l'orientation des rues est majoritairement nord-sud. (Fahmy & Sharples, 2009) montrent que sous ce type de climat, structurer la ville en blocs constitués de cours intérieures est préférable à des structures type « rue canyon » ou à des « grands ensembles ». Les indicateurs permettant de tirer ces conclusions sont cependant calculés à un endroit et un instant spécifiques.

Diminution des consommations d'énergie des bâtiments

Des résultats intéressants ont été obtenus par simulation par les chercheurs (Hirano & Yoshida, 2016; Kikegawa, Genchi, Kondo, & Hanaki, 2006) montrant l'intérêt de diminuer les consommations de climatisation en mettant en place des réseaux de froid ou en augmentant les températures de consigne. En effet, les charges anthropiques liées à ces systèmes, rejetées dans l'atmosphère urbaine ont un impact non négligeable sur les températures d'air (Bozonnet, 2005; Cécile de Munck et al., 2012).

Solutions douces

On parle de solutions douces pour solutions liés aux **usages et pratiques** de la ville , liées à :

- **Habillement**
- **Mobilité** (réduction du trafic)
- **Horaires** (ouvertures des parcs la nuit)
- **Les écogestes et plans canicule**

Exemples :



Communication du plan canicule



Protestation de conducteurs de bus en jupe

Actions sur la planification urbaine

Très peu de travaux de recherche traitent de méthodes de diagnostic propres à l'élaboration de stratégies urbaines dans l'optique de mieux ventiler la ville. (Kazmierczak & Carter, 2010) présentent une méthode de quantification de l'apport de fraîcheur transportée par « ventilation naturelle » à travers plusieurs vallées dans la ville de Göteborg mais ne décrivent pas l'influence des formes urbaines comme obstacle à la ventilation.