

# Les îlots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal : causes, impacts et solutions

Philippe Anquez et Alicia Herlem

Avril 2011

---

## TABLE DES MATIÈRES

1. LES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS .....	1
1.1 Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur urbain?.....	3
1.2 Et à Montréal? .....	3
2. LES IMPACTS DES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS .....	6
2.1 Impact sur la santé .....	6
2.2 Impact sur l'environnement .....	7
2.3 Impact sur la consommation d'eau et d'énergie.....	7
3. LES CAUSES DES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS.....	1
3.1 L'occupation du sol : morphologie, densification et minéralisation .....	8
3.2 La perte du couvert naturel et du milieu forestier .....	9
3.3 Rejet de chaleur et gaz à effet de serre .....	10
4. LES MESURES DE LUTTE AUX ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS .....	11
4.1 Les mesures de verdissement et de gestion des eaux pluviales .....	11
4.2 Les mesures de contrôle des sources chaleurs anthropiques .....	12
4.3 Les mesures ciblant les infrastructures .....	12
BIBLIOGRAPHIE .....	16

## INTRODUCTION

À l'heure actuelle, au moins 50 % de la population mondiale habite en milieu urbain (Simon, 2007). Les villes exercent de nombreuses pressions sur l'environnement. Elles font face à des défis majeurs en matière de développement durable afin d'améliorer la qualité de vie des citoyens, garantir l'équilibre entre les écosystèmes tout en demeurant des moteurs de développement économique. Dans ce contexte, le maintien et la bonification des bilans sociaux et environnementaux des régions urbaines nécessitent la mise en œuvre d'actions concertées en matière de développement durable.

La ville de Montréal s'inscrit dans cette mouvance. Depuis 2004, le *Plan d'urbanisme de Montréal* adopte une vision de l'aménagement du territoire fondée sur une approche participative et axée sur les trois dimensions de la soutenabilité soit économique, sociale et environnementale (Montréal, 2004). C'est en 2005 que la région métropolitaine s'est dotée de son *Premier plan stratégique de développement durable de la collectivité montréalaise*. Aujourd'hui, la ville compte non seulement un *Plan de développement durable de la collectivité montréalaise* pour la période 2010-2015, accompagné d'un plan d'action, mais aussi un *Plan corporatif de Montréal en développement durable 2010-2015*, ciblant l'administration de la ville, tandis que les arrondissements sont aussi invités à élaborer leur propre *Plan local de développement durable*. Quatre principes directeurs guident l'action de la métropole :

- une collectivité au cœur du développement durable;
- une meilleure qualité de vie;
- une protection accrue de l'environnement et
- une croissance économique durable.

À l'instar d'une majorité de métropoles, les îlots de chaleur représentent un des enjeux importants auxquels est confrontée la ville de Montréal. Ce phénomène de réchauffement local du climat est étroitement lié à l'urbanisation et engendre de nombreux impacts négatifs sur l'environnement et la santé.

Diverses politiques municipales visent à lutter contre les îlots de chaleur. La ville de Montréal a par exemple adopté une *Politique de protection et de mise en valeur des milieux naturels* (2004) et une *Politique de l'arbre* (2005), tandis que le nouveau *Plan de développement durable de la collectivité montréalaise 2010-2015* accorde une action particulière à la « contribution au verdissage et à la réduction des îlots de chaleur » (Action 15). Plus récemment, l'arrondissement de Rosemont-La Petite Patrie a renforcé les mesures de prévention contre les îlots de chaleurs en modifiant son règlement d'urbanisme (01-229, 23/08/2010). Désormais, les nouvelles constructions ou rénovations majeures entreprises dans l'arrondissement devront se réaliser en conformité avec des critères éco-énergétiques ou écologiques, notamment par la mise en place de toit blanc ou vert.

L'objectif de la présente note est de définir en quoi consiste un îlot de chaleur, quels sont les causes de sa formation et ses impacts sur l'environnement et la santé et d'effectuer par la suite un survol des solutions accessibles aux autorités municipales pour les atténuer. Au vu de l'intérêt récent en faveur des toits blancs, un effort particulier a été mené afin d'effectuer une revue exhaustive des connaissances propres aux circonstances québécoises sur le sujet.

### Les îlots de chaleur à Montréal

**« Le 25 juin 2005, la température enregistrée dans le parc du Mont-Royal s'élevait à 21,8 degrés Celsius, mais non loin de là, à l'angle du boulevard Saint-Laurent et de l'avenue du Mont-Royal, il faisait plutôt 33,5 degrés. L'écart de 12 degrés dans un rayon de moins de 1,5 kilomètre illustre bien le phénomène des îlots de chaleur créés par la suprématie du béton en milieu urbain au profit de la verdure. »**

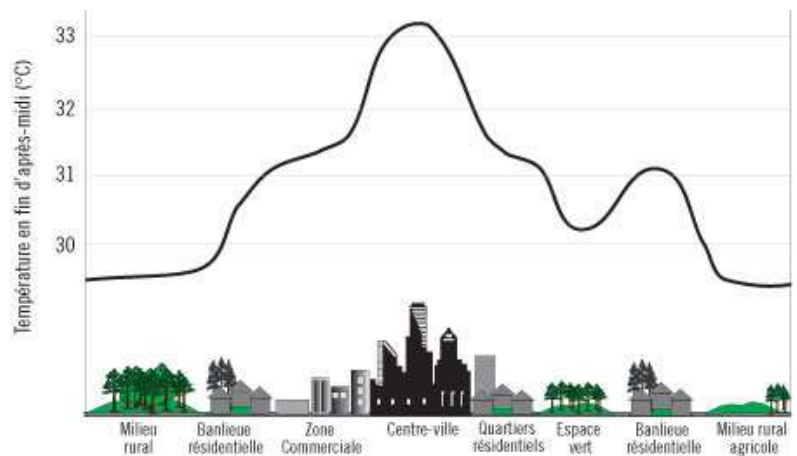
**Le Devoir, 20 février 2008**

## 1. LES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS

### 1.1 Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur urbain?

Un **îlot de chaleur urbain (ICU)**, aussi appelé « îlot thermique urbain », désigne une zone métropolitaine dont la température est significativement plus élevée que celle des zones rurales environnantes (Figure 1). Selon Environnement Canada, la différence de température peut varier de 5°C à 10°C de plus que la moyenne. La variation de température observée résulte de facteurs naturels et de facteurs anthropiques (causés par les humains) où prédominent les facteurs spécifiques aux milieux bâtis tels que l'absence d'arbres et de végétation, la présence de larges surfaces non réfléchissantes qui absorbent et stockent l'énergie solaire et l'émission de rejets énergétiques multiples (Colombert, 2008). Au sein d'une même ville et sur de très courtes distances (moins de 500 mètres), des variations importantes de températures peuvent être enregistrées.

Figure 1: Profil d'un îlot de chaleur urbain.



Source: Ressources naturelles Canada, 2007

L'intensité des îlots de chaleur urbains varie sur une base journalière et saisonnière (Colombert, 2008). Pendant la journée, les revêtements non réfléchissants comme l'asphalte stockent la chaleur du rayonnement solaire pour ensuite la libérer durant la nuit (Giguère, 2009). L'intensité de l'îlot de chaleur est donc à son maximum pendant la période nocturne. Elle sera également plus élevée suite à une journée ensoleillée avec une vitesse du vent relativement faible (Colombert, 2008). D'autres parts, les conditions de formation des îlots de chaleurs varient aussi selon les saisons (Giguère, 2009). Au Québec, notre climat nordique réduit fortement le phénomène d'îlots de chaleur en hiver. En été, les nombreuses heures d'ensoleillement font en sorte que le mois de juillet correspond très souvent à la période la plus propice pour la formation d'îlots de chaleur.

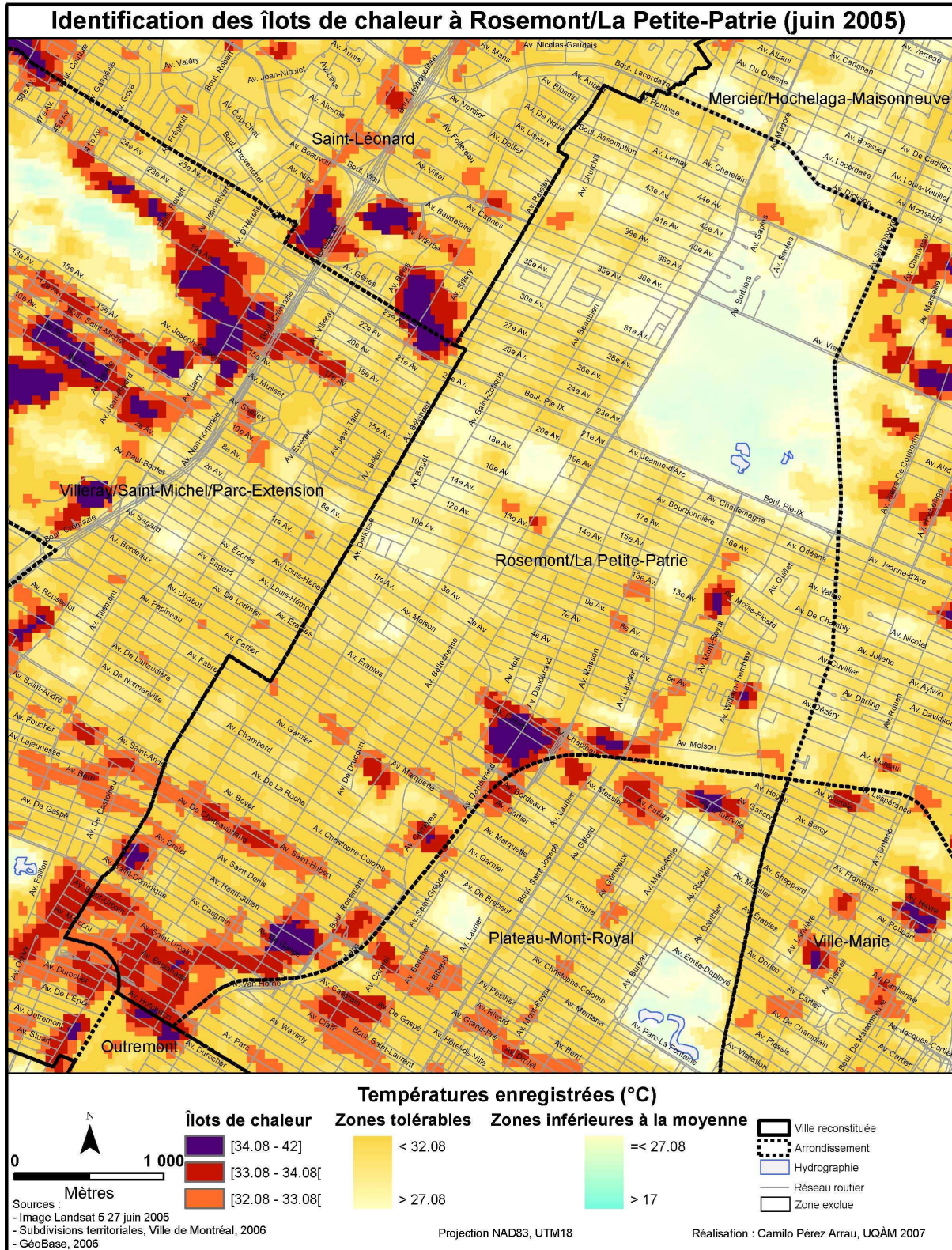
### 1.2 Et à Montréal?

Dans la région métropolitaine de Montréal, les îlots de chaleur sont de plus en plus marqués (Cavayas, Baudouin, 2008, volets 1 & 2). On observe en effet depuis quelques années une forte progression des îlots de chaleur dans certains quartiers suite à la minéralisation importante de secteurs de la région (Cavayas et Baudouin, 2008 : 76). Le centre-ville, les zones industrielles et commerciales, les grands stationnements et les voies majeures de circulation sont les zones les plus sensibles à leur formation (CRE de Montréal, 2010). La figure 2 met en évidence ce constat. Les îlots de chaleur se retrouvent dans les zones de couleurs foncées d'orange à mauve. Ces zones indiquent des variations de température pouvant aller jusqu'à 5°C de plus que la moyenne enregistrée cette journée (25 juin 2005) et qui était de 27,08°C.





Figure 2 : Îlots de chaleur, Montréal, juin 2005.



Source: Baudouin et al., 2008.

## 2. LES IMPACTS DES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS

Les îlots de chaleur sont sources de préoccupations, car ils génèrent des impacts négatifs sur l'environnement et la santé des populations.

### 2.1 Impact sur la santé

Le phénomène d'îlot de chaleur accentue la fréquence, la durée et l'intensité des **vagues de chaleur accablante** (Trottier, 2008 : 23)<sup>1</sup>. Celles-ci comportent d'importants risques de santé publique, puisqu'elles affectent le taux de morbidité et de mortalité de la population exposée (GIEC, 2001) en créant un **stress thermique** chez les individus. Le stress thermique est provoqué par l'accumulation de chaleur par le corps humain et peut s'avérer fatal. En effet, la chaleur accablante peut provoquer divers inconforts et malaises ou encore exacerber un état chronique jusqu'au point de causer la mort (Giguère, 2009 :9). Les personnes les plus vulnérables à la chaleur sont les personnes atteintes de maladies chroniques, les populations socialement isolées, les très jeunes enfants, les travailleurs, les travailleurs extérieurs, les personnes de faible niveau socio-économique, les sportifs extérieurs de haut niveau, les personnes souffrant de troubles mentaux et les personnes âgées (idem).

**En 2003, durant la période estivale, la France est frappée de plein fouet par une vague de chaleur accablante. On recense 15 000 décès, les groupes les plus vulnérables étant les personnes âgées, et plus particulièrement les femmes.**

- Besancenot, 2005

Par ailleurs, l'augmentation des températures aggrave la **pollution atmosphérique**, et accroît les effets néfastes du smog sur la santé humaine (Environnement Canada, 2007). Par définition, le smog est « un mélange toxique de gaz et de particules que l'on peut souvent observer dans l'air sous forme de brume sèche » (Environnement Canada, 2011) et se compose principalement de deux polluants : l'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>) (l'ozone mesuré au sol)<sup>2</sup> et les particules fines<sup>3</sup> (idem). L'ozone, pour se former, nécessite la présence de chaleur. Les températures au-delà de 30 °C sont particulièrement favorables à la formation d'ozone au sol, expliquant que l'été soit caractérisé par des niveaux d'ozone plus élevés. En accentuant la chaleur et en accroissant les risques de vagues de chaleur, les îlots de chaleur urbains aggravent donc le phénomène du smog. La pollution atmosphérique serait à l'origine de 1 540 décès prématurés par année à Montréal (CRE de Montréal, 2007). Qui plus est, la recrudescence des problèmes respiratoires aigus, de l'affluence aux services des urgences et des cas de bronchites est aussi liée à l'augmentation des concentrations des polluants dans l'air (Bouchard et Smargiassi, 2007 : 4).

<sup>1</sup> La caractérisation de ces vagues de chaleur varie d'un endroit à l'autre. Dans la province du Québec, Environnement Canada émet un avertissement de chaleur accablante quand « le facteur humidex est de 40 °C ou plus et lorsque la température est de 30 °C ou plus, et que les deux conditions persistent pendant au moins 1 heure » (Environnement Canada, 2010).

<sup>2</sup> « L'ozone troposphérique est un gaz incolore et extrêmement irritant qui se forme juste au-dessus de la surface de la Terre. On l'appelle polluant "secondaire" parce qu'il se crée lorsque deux polluants primaires réagissent au soleil et à l'air stagnant. Ces deux polluants primaires sont les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et les composés organiques volatils (COV) » (Idem).

<sup>3</sup> « Les particules sont des fragments en suspension dans l'air sous forme solide ou liquide. Selon les composés et les processus à l'origine de leur formation, on les classe parmi les particules primaires ou les particules secondaires. Les premières sont émises à la source même des émissions sous forme de particules, par exemple dans la cheminée d'une centrale électrique ou un champ labouré récemment qui est soumis à l'érosion éolienne. Les secondes sont le résultat d'une série de réactions chimiques et physiques où interviennent différents gaz précurseurs, telles que les oxydes de soufre, les oxydes d'azotes et l'ammoniac qui réagissent pour former des particules de sulfate, nitrate, et ammoniac. » (Idem).



Concrètement, on enregistre annuellement 6 000 cas de bronchite aiguë infantile et 114 000 personnes par journée présentant des symptômes d'asthme à Montréal (ASSSM, 2009 : 13)<sup>4</sup>.

## 2.2 Impact sur l'environnement

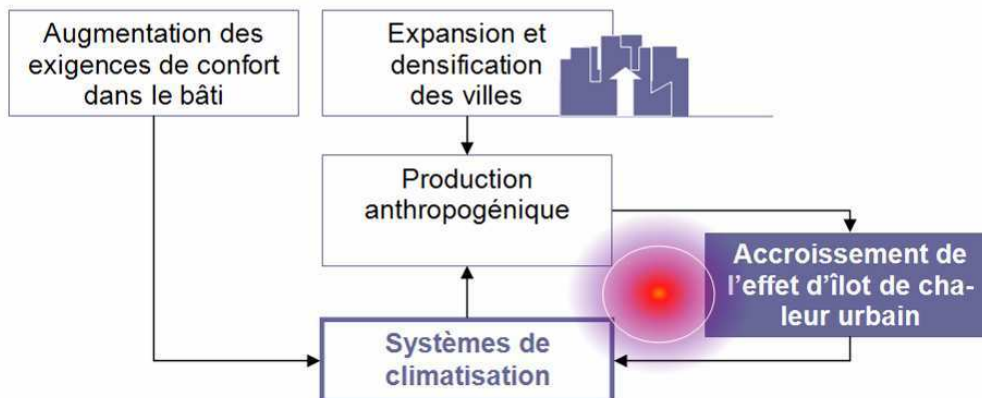
Les îlots de chaleur urbains ont des conséquences immédiates sur la **qualité de l'air extérieur**, car ils contribuent à la diffusion des polluants et à la formation du smog. En effet, le smog se forme sous l'effet combiné des rayons du soleil, de la chaleur et de divers polluants (Akbari *et al.*, 2001 tiré de Giguère, 2009 : 8). Ils participent également à la dégradation de la **qualité de l'air intérieur**, puisque les hausses de température favorisent la multiplication des acariens, des moisissures et des bactéries. De plus, les fortes chaleurs peuvent mener à l'émanation de substances toxiques, telles que les formaldéhydes, qui sont contenues dans les colles utilisées dans la fabrication des meubles et les matériaux de construction (Salomon et Aubert, 2003 tiré Giguère, 2009 : 8). Les îlots de chaleur urbains peuvent également affecter les **écosystèmes aquatiques** environnants (Labrecque et Vergriete, 2008, volet 3 : 3) en élevant la température des eaux de pluie qui entrent en contact avec ses surfaces. Les eaux échauffées contribuent alors à l'élévation des températures des ruisseaux, rivières, étangs et lacs avoisinants dans lesquels elles ruissellent. Une hausse de la température du milieu aquatique peut ensuite affecter négativement le métabolisme et la reproduction de nombreuses espèces (EPA, 2011 : 15).

## 2.3 Impact sur la consommation d'eau et d'énergie

Les îlots de chaleur urbains occasionnent aussi une **augmentation de la consommation en eau** potable (Giguère, 2009 : 9). En effet, les aires de rafraîchissements telles que les piscines et les jeux d'eaux ou l'arrosage des zones végétalisées en milieu urbain nécessaire pour contrer les effets de la hausse de la température donnent lieu à une augmentation de la consommation en eau potable (*idem*).

Enfin, les îlots de chaleur urbains contribuent à une **augmentation de la consommation d'énergie**. En période hivernale, l'îlot de chaleur peut-être bénéfique, mais en période estivale, il agit sur notre confort. Il en résulte une hausse de la demande énergétique induite par la climatisation (Giguère, 2009 :10). Dans le cas d'une élévation de la température de 2 °C induite par les îlots de chaleur, la consommation d'énergie peut grimper de 5 % (*idem* : 31). La figure 5 met en perspective le cercle vicieux du réchauffement en ville, et donc de l'amplification du phénomène de l'îlot de chaleur urbain, sous l'effet de la densification urbaine et l'accroissement de la demande énergétique (Bozonnet, 2006 :2).

Figure 5 : Boucle d'amplification des îlots de chaleur urbains



Source : Bozonnet, 2006.

### 3. LES CAUSES DES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS

La formation des îlots de chaleur urbains ainsi que leur intensité et leur variabilité spatio-temporelle sont déterminées à la fois par des causes naturelles et des causes anthropiques (Tableau 1). Malgré l'impact important de l'emplacement géographique, du climat local et de facteurs météorologiques variables tels que la température, l'humidité et le vent, les sources anthropiques demeurent toutefois les principales causes de l'apparition du phénomène.

<b>Tableau 1 : Causes de la formation d'îlots de chaleur.</b>	
<b>Causes naturelles</b> <b>climatiques (ou météorologique) :</b> saisons, couverture nuageuse, vitesse du vent; <b>géographiques :</b> emplacement de la ville, relief, exposition (versant sud/nord);	<b>Causes anthropiques</b> <b>morphologiques :</b> densité des bâtiments, matériaux de construction utilisés, concentration et taux de croissance des végétaux; <b>politiques :</b> pratiques d'aménagement du territoire; <b>structurelles :</b> taille de la ville, rapport de surface minéralisée/végétalisée, occupation du sol <b>énergétiques :</b> rejet de chaleur provenant de la consommation énergétique; émission de gaz à effet de serre

Source : Adapté de Lachance et al. 2006.

Afin de mieux cerner l'influence des sources anthropiques sur la variation du climat urbain, nous aborderons de façon plus explicite : (1) l'occupation du sol (2) la perte du couvert naturel et du milieu forestier ainsi que (3) les causes énergétiques et les rejets thermiques.

#### **3.1 L'occupation du sol : morphologie, densification et minéralisation**

La morphologie urbaine se « rapporte aux formes tridimensionnelles, à l'orientation et à l'espacement des bâtiments dans une ville » (EPA, 2008, tiré de Giguère, 2009 :7). Elle peut participer à la formation des îlots de chaleur puisque des facteurs comme la densité et le volume des bâtiments, la distance qui les sépare ainsi que les dimensions et l'orientation des rues influencent le réchauffement urbain (Colombert, 2008 :112-114). D'une part, la multiplication des édifices peut modifier fortement la circulation et la vitesse du vent, pouvant ainsi influencer sur la température de l'air (Colombert, 2008 : 408). Notamment, les espaces densément bâtis comme les centres urbains sont souvent insuffisamment aérés (ou ventilés), créant « des canyons où s'accumule et reste captive la chaleur occasionnée par le rayonnement solaire et les activités humaines » (Giguère, 2009 : 7). D'autre part, la morphologie urbaine détermine en grande partie la circulation automobile et influence ainsi les apports de chaleur et de pollution de l'air qu'elle cause (Oke, 1988 tiré de Giguère, 2009 : 7).

En outre, l'espace urbain se caractérise par une forte densification du cadre bâti qui s'accompagne d'une importante minéralisation. À Montréal, on évalue que près de 80 % de la surface est construite ou asphaltée (Labrecque, Vergriette, volet 3, 2008 : 4). Les impacts sur le climat local des différentes occupations du sol varient en fonction de plusieurs facteurs, notamment selon les propriétés thermiques des matériaux utilisés dans la construction des bâtiments et pour les revêtements des sols. Deux propriétés peuvent en particulier favoriser la rétention de la chaleur par le tissu urbain et ainsi mener à la formation d'îlot de chaleur : une faible réflectivité (faible albédo) et une forte émissivité (Giguère, 2009; Colombert, 2008 :114-123). L'albédo est une unité de mesure allant de 0 à 1 qui permet de mesurer le taux de rayons solaires réfléchis par un matériau, tandis que l'émissivité, marquée également sur une échelle de 0 à 1, mesure la chaleur qui est réémise par le matériau après avoir été emmagasinée. En bref, un matériau possédant un faible albédo et une forte émissivité réfléchit peu les rayonnements du

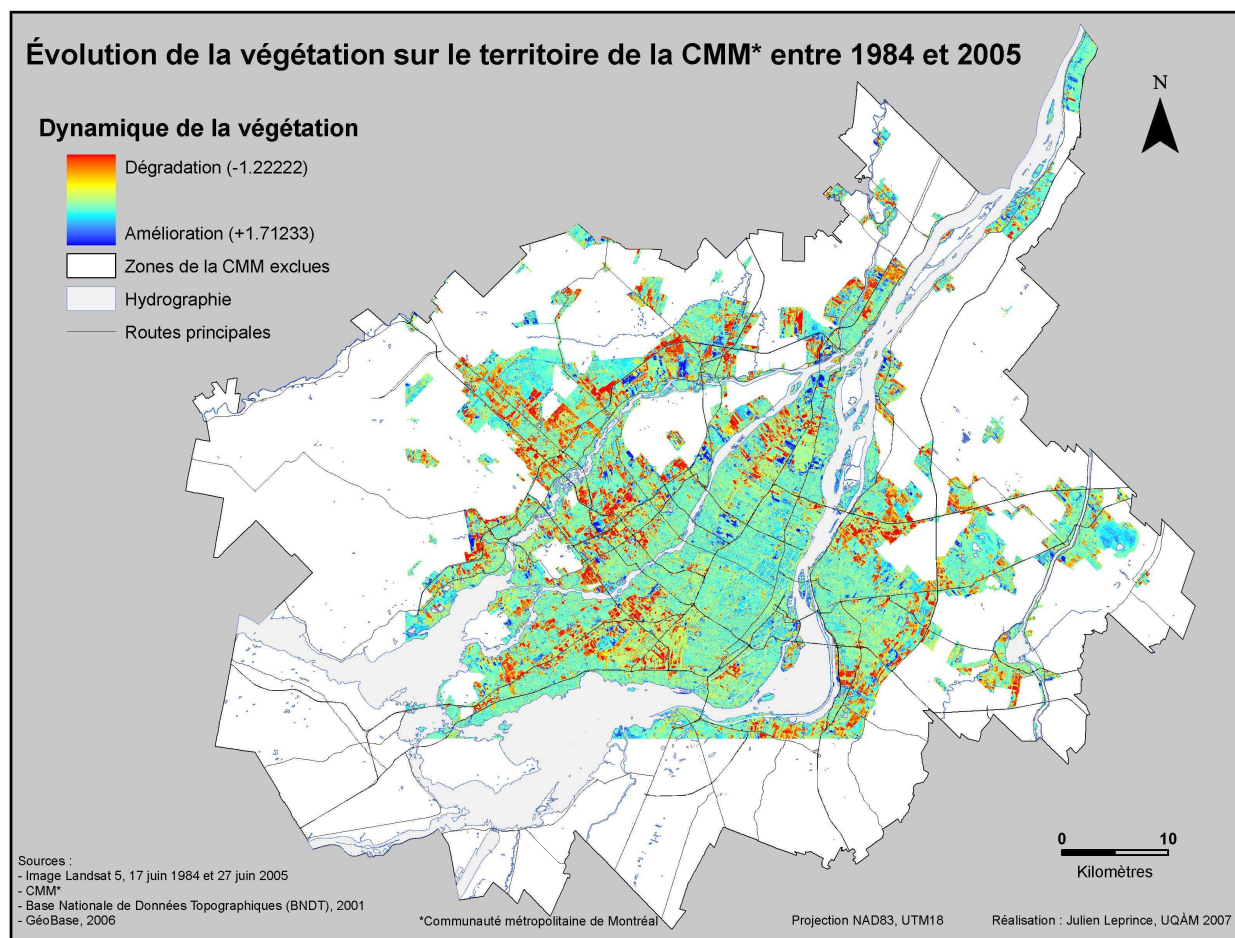


soleil, emmagasine plutôt d'importantes quantités de chaleur pendant la journée qu'il restitue dans l'atmosphère la nuit tombée, contribuant par ce fait même à la formation des îlots de chaleur (Giguère, 2009 :7)<sup>5</sup>.

### 3.2 La perte du couvert naturel et du milieu forestier

D'autre part, la densification et la minéralisation de la ville réduisent l'espace dédié aux milieux naturels (Giguère, 2009 : 6). En retour, la diminution de la végétation en zone urbaine a comme résultats de diminuer le nombre de « processus naturels rafraîchissants, comme l'évaporation de l'eau contenue dans les sols et l'évapotranspiration de la végétation » ou encore l'ombrage au sol, tous des moyens efficaces pour atténuer le réchauffement urbain (Giguère, 2009 : 6-7). De plus, à la différence des couverts végétaux, les zones minéralisées sont souvent recouvertes de matériaux imperméables qui perturbent l'écoulement naturel des eaux de pluie et ne remplissent pas les fonctions de filtration et d'absorption de

**Figure 3 : Évolution de la végétation et de la minéralisation sur le territoire de la CMM.**



Source : *Beaudouin et al., 2008.*

<sup>5</sup> Ces deux propriétés peuvent s'influencer l'une l'autre, par exemple l'effet d'un faible albédo peut être compensé par une faible émissivité, d'où l'importance de considérer simultanément ces deux paramètres (Carter, 2008). Il y est également précisé qu'avec le temps les propriétés thermiques des matériaux peuvent s'altérer en fonction de l'âge, du taux de désagrégation et de la décoloration du matériau (Natural Stone Council, 2009). On notera finalement que ces facteurs, quoique les plus importants ne sont bien entendu pas les seuls responsables des différences climatiques entre deux surfaces et il n'est d'ailleurs pas évident de dissocier ces facteurs ainsi que leurs influences respectives (van Durme et Erpicum, 2005).

l'eau tels que les sols naturels (Giguère, 2009 : 6).

**Figure 4 : Températures enregistrées le 25 juin 2005 à Montréal (Landsat 5)**

Un changement de l'occupation du sol d'une zone végétalisée à une zone construite génère donc une « dégradation thermique ». Celle-ci peut être mesurée. Une étude comparative portant sur la période 1984-2005 illustre bien la progression de la minéralisation au détriment des espaces naturels qu'a connue la région métropolitaine de Montréal, particulièrement dans l'ouest de l'île de Montréal, sur la Rive-Nord et la Rive-Sud (Cavayas et Baudouin, 2008 : 76). Cette étude révèle notamment une corrélation entre l'élévation des températures dans les zones fortement minéralisées et le faible indice de couvert végétal de certains arrondissements ou municipalités (idem : 77). Les deux figures suivantes illustrent clairement cette corrélation.

Les zones fortement minéralisées sont beaucoup plus chaudes que les zones ayant gardé une importante végétation. Par exemple, le 25 juin 2005, on a enregistré une température s'élevant à 33,96 °C sur le Plateau alors même qu'au sommet du Mont-Royal, la température était de 21,86 °C (Figure 4). Contrairement à d'autres endroits de la ville, la végétation y est abondante. Malgré ce constat, on constate que les parcs urbains de Montréal sont pour la plupart gazonnés, que la flore est peu diversifiée, que certains comportent des terrains synthétiques et par conséquent moins efficaces contre la pollution de l'air et les îlots de chaleurs urbains (UQAM, 2008 : 7). Par ailleurs, au rythme du développement urbain actuel, le couvert forestier dans la communauté métropolitaine de Montréal risque de disparaître d'ici 20 ans (Cavayas et Baudouin, 2008).



Source : Baudouin et al., 2007.

### **3.3 Rejet de chaleur et gaz à effet de serre**

Pour terminer, les rejets de chaleurs en milieu urbain sont un autre facteur important contribuant à la formation des îlots de chaleur. Les apports de chaleur anthropique les plus importants sont émis par les véhicules, les climatiseurs et l'activité industrielle (Giguère, 2008 : 7). Plusieurs de ces sources de chaleur émettent également des gaz à effet de serre. Parce que ces gaz « piègent l'énergie solaire dans l'atmosphère et participent ainsi à son réchauffement », ils concourent aussi à la formation des îlots de chaleur (Giguère, 2008 : 6). Les principales sources d'émission de ces gaz sont le transport, l'activité industrielle ainsi que le chauffage à base de combustible fossile (idem).

Nous avons choisi ici de mettre en évidence trois facteurs importants qui agissent sur la formation et l'intensité des îlots de chaleur. La plupart de ces facteurs résultent de pratiques d'aménagement urbain inadéquates. Qu'il est possible de changer. Par exemple, la ville de Montréal préconise dans son plan d'urbanisme de soutenir « un aménagement urbain plus sain » en encourageant notamment une diminution de la minéralisation des sols. D'autres pratiques d'aménagement comme « la conservation d'arbres matures et la plantation de feuillus, dès la fin des projets domiciliaires, contribuent considérablement à la baisse [du] contexte thermique » (Cavayas et Baudouin, 2008 : 4).

## 4. LES MESURES DE LUTTE AUX ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS

Afin d'atténuer le phénomène des îlots de chaleur urbain, plusieurs mesures d'aménagement urbain s'avèrent efficaces. Il est possible de répertorier ces solutions selon trois types de mesures : les mesures de verdissement et de gestion des eaux pluviales; les mesures de contrôle des sources de chaleur anthropiques et les mesures ciblant les infrastructures. Ces trois types de mesures sont présentés séparément. La combinaison de ces mesures permet d'obtenir d'optimiser leurs résultats, néanmoins chacune d'entre elles a un rôle à jouer dans la lutte aux îlots de chaleur urbains.

### 4.1 Les mesures de verdissement et de gestion des eaux pluviales

Accroître la couverture végétale des villes par le verdissement et la protection des espaces naturels est déterminant dans la lutte aux îlots de chaleur. Les mesures de verdissement ont l'avantage de pouvoir être effectuées dans de nombreux espaces tels que le long des axes de routiers, sur les terrains publics (terrains municipaux, parcs, cours d'école, etc.) et sur les terrains privés (cours résidentielles, pourtours des bâtiments commerciaux, les stationnements, etc.) (Giguère, 2009 : 21; CRE de Montréal, 2010 : 6). De plus, le verdissement des toits ou des murs est un excellent moyen pour contrer les îlots de chaleur. En effet, les toits végétalisés, communément appelés toits verts, ce sont de bons isolants thermiques, ils permettent de réduire la chaleur intérieure des bâtiments et des habitations grâce à l'évapotranspiration et contribuent à apporter un gain de fraîcheur à l'air ambiant extérieur (Giguère, 2009 : 22 ; Labrecque et Vergriete, 2008, volet 3 : 11). D'autre part, ils contribuent aussi à la rétention des eaux de pluie, l'atténuation du bruit, l'augmentation de la longévité des membranes des toitures, la création de biodiversité et l'amélioration de la qualité de l'air par la diminution des contaminants (Desjarlais *et al.* 2010). Tout comme les toits verts, les murs végétalisés possèdent les mêmes bénéfices. Ainsi, l'utilisation de plantes adaptées au climat québécois comme la vigne vierge peut réduire la température d'un mur de 20 °C comparativement à un mur n'ayant pas de végétaux et non ombragé (Giguère, 2009 : 21).

**En plus d'un programme de ruelle verte, 450 arbres sont plantés et plus de 20 000 fleurs sont offertes gratuitement aux résidents chaque année dans l'arrondissement Rosemont-La Petite Patrie afin d'encourager le verdissement. (SODER, 2008; RPP, 2010).**

En plus de contribuer à la réduction des îlots de chaleur par le biais de l'évapotranspiration et de leur plus grande capacité d'absorption et de rétention de l'énergie solaire, le verdissement contribue :

- au maintien de la qualité de l'air (diminution du smog, absorption de nombreux polluants opérée par les feuilles),
- au maintien de la qualité de l'eau (diminution des eaux de ruissellement),
- à la réduction de la consommation d'énergie (ombre, évapotranspiration, réduction de l'usage et des coûts de climatisation),
- aux bienfaits sociaux (atténuation des risques pour la santé publique, la diminution du stress et de l'agressivité) (Cavayas et Baudouin, 2008 : 84; CRE de Montréal, 2010 ; Giguère, 2009 : 13).

Il n'est donc pas surprenant que plusieurs politiques adoptées par la Ville de Montréal et ses arrondissements confirment la volonté d'agir en ce sens.

Ensuite, la végétalisation permet une meilleure gestion des eaux pluviales. La gestion des eaux pluviales est un moyen de lutte important puisqu'un lien est constaté entre le taux d'humidité des sols et la formation des îlots de chaleur (Giguère, 2009 : 31). C'est pourquoi, le verdissement du milieu urbain par le biais de la plantation d'arbres, de toits ou de murs végétaux, en haussant la capacité de rétention d'eau de la ville et donc de l'évapotranspiration apporte une diminution de la température locale (Boucher,

2010 : 15). Ensuite, augmenter le taux de perméabilité du sol permet une infiltration de l'eau dans le sol et équivaut à réduire la quantité d'eau de ruissellement qui cause le réchauffement des eaux naturelles. En outre, si la création d'aire végétalisée n'est pas possible, l'utilisation de revêtement perméable est à privilégier, car une meilleure infiltration de l'eau au sol offre une capacité de rafraîchissement équivalente à celle de la végétation (Giguère, 2009 : 32).

#### **4.2 Les mesures de contrôle des sources chaleurs anthropiques**

À Montréal, on constate que les émissions de gaz à effet de serre sont causées principalement par trois activités de nature anthropique : l'activité industrielle, la consommation énergétique des bâtiments et des habitations et le secteur des transports.

D'une part, la consommation d'énergie des bâtiments et des habitations représente 35 % des émissions de gaz à effet de serre de la Ville de Montréal (Defejit, 2008 : 1). Cette consommation se traduit principalement par la production de chaleur émise à l'intérieur des bâtiments et des habitations, elle est causée par l'utilisation des appareils électroménagers, bureautiques, les lampes ainsi que les systèmes de climatisation (Giguère, 2009 : 36). Afin de réduire la demande énergétique de ces sources et de surcroît leur production de chaleur, il faut prioriser des appareils ayant une bonne efficacité énergétique et penser à les débrancher après leurs utilisations, car même en veille ils émettent de la chaleur et produisent des gaz à effet de serre. Aussi, il importe de maximiser l'utilisation de la lumière naturelle et de minimiser l'utilisation des lampes halogènes et à incandescence. Finalement, les systèmes de climatisation peuvent être remplacés par des systèmes moins énergivores tout en contrôlant la demande de climatisation (Giguère, 2009 : 37).

D'autre part, les transports sont responsables des émissions de gaz à effet de serre de la Ville de Montréal à hauteur de 30 % (Defejit, 2008). C'est pourquoi afin d'agir sur cette source anthropique il est important de viser la réduction du parc automobile. Ainsi, des pratiques comme la réduction de la circulation automobile par l'instauration de programmes incitatifs ou de règlements permettent de réduire les effets néfastes du parc automobile (Giguère, 2009 : 39). C'est dans cette optique qu'en décembre 2007 le programme *Coupez le moteur!* visant à contrer la marche au ralenti des moteurs des véhicules a vu le jour, par exemple. Ce programme incitatif contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la formation du smog (MDDEP, 2007). De plus, la priorisation du covoiturage, des transports en commun et des transports actifs (marche, vélo) limite l'émission de gaz à effet de serre et par conséquent réduit le phénomène d'îlot de chaleur urbain. Qui plus est, le plan de transport de la ville de Montréal favorise ces pratiques, comme l'utilisation des vélos en libre-service ou encore l'objectif de doubler le réseau cyclable de Montréal pour atteindre 800 km de pistes (Ville de Montréal, S.D). Il est à noter que l'aménagement des pistes cyclables peut être concilié avec des mesures de verdissement en bordure des pistes (Giguère, 2009 : 39).

#### **4.3 Les mesures ciblant les infrastructures**

Une autre mesure pour lutter contre les îlots de chaleur est d'agir directement sur les infrastructures, plus particulièrement sur la propriété thermique des matériaux utilisés dans la construction des bâtiments et les revêtements des surfaces puisque celle-ci a un impact important sur la formation d'îlots de chaleur. La figure suivante montre que le rayonnement solaire réfléchi par les surfaces varie selon le type de matériau utilisé. Autrement dit, chaque matériau possède une capacité réflexive, aussi appelée albédo<sup>6</sup>, différente.

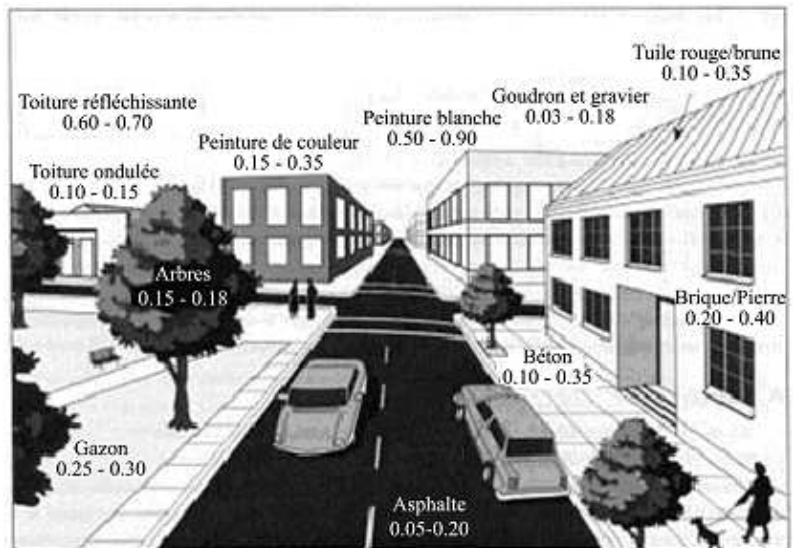
---

<sup>6</sup> « Albédo : capacité d'un matériau à réfléchir la lumière reçue. Plus l'indice albédo du matériau est élevé, plus la lumière sera réfléchie », Boisselle, 2010.



Ainsi, nous constatons qu'un matériau comme l'asphalte a une capacité réflexive peu élevée (0.05-0.20) ce qui signifie que ce matériau emmagasine durant la journée une quantité importante d'énergie solaire qu'il restituera la nuit dans l'atmosphère, ce qui contribue à la formation d'îlots de chaleur (Giguère, 2009 : 7). Alors qu'un matériau d'une grande réflectivité, comme la peinture blanche (0.50-0.90), a la capacité de réfléchir les rayonnements solaires sans pour autant les absorber, ainsi il n'emmagasine pas ou peu la chaleur. Ceci montre l'importance de prendre en compte non seulement la réflectivité des matériaux utilisés pour les infrastructures urbaines, mais aussi l'émissivité<sup>7</sup>.

**Figure 6 : Variation de l'albédo dans l'environnement urbain**



Source: Goodman, *Heat Island, Urban Climatology and Air Quality*, 1999.  
[http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/urban/urban\\_heat\\_island.html](http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/urban/urban_heat_island.html)

Une étude estime que les surfaces pavées de couleur foncée peuvent représenter jusqu'à 44 % de la superficie d'une ville (Akbari *et al*, 2008 : 3). À Montréal, on compte plus de 5 600 km de voies de circulation et plus de 40 000 places<sup>8</sup> de stationnement au centre-ville (IMTL, 2011), ces surfaces, généralement asphaltées, ont non seulement une capacité réflexive peu élevée ce qui contribue à l'élévation de la température, mais aussi une faible perméabilité ce qui favorise le réchauffement des eaux de ruissellement et la contamination des eaux naturelles (CRE de Montréal, 2008). Ainsi, dans la lutte aux îlots de chaleur urbains nous devons prioriser des matériaux ayant une capacité de réflectivité élevée permettant une température de surface et ambiante plus fraîche (Santamouris, 2005).

Le Conseil régional de l'environnement de Montréal (CRE) a répertorié les différents matériaux permettant d'accroître la capacité réflexive des surfaces et leur perméabilité dans un tableau résumant les différentes techniques, avantages, inconvénients et fournisseurs de ces matériaux. Des techniques simples peuvent augmenter la réflectivité des surfaces, par exemple l'asphalte peut être coloré par un pigment clair ou encore la composante du gravier habituellement de couleur foncée peut être remplacée par une composante blanche (CRE de Montréal, 2008). De plus, l'enveloppe des bâtiments (la surface verticale) peut être peinte avec un enduit réfléchissant permettant en été d'atteindre une différence de température de 16 °C en comparaison avec une enveloppe de couleur sombre (CRE de Montréal, 2008 : 9).

Les techniques alternatives sont destinées à tous les revêtements de surface. Ainsi, ils peuvent être utilisés non seulement pour les stationnements, les voies de circulation, les surfaces verticales, mais aussi pour les toitures. Les toits blancs ou toits réfléchissants existent depuis de nombreuses années. Les

<sup>7</sup> « L'émissivité est la propriété d'un matériau à diffuser l'énergie qu'il accumule. L'énergie qui n'est pas diffusée contribue au réchauffement des surfaces », Giguère. 2008 : 22.

<sup>8</sup> Ce chiffre inclut toutefois les places de stationnement intérieur.



caractéristiques à prendre en compte pour déterminer la « fraîcheur » d'un toit sont aussi l'albédo et l'émissivité des matériaux.

Afin d'augmenter la capacité réflexive des toitures, plusieurs matériaux sont disponibles, nous pouvons les classer en trois types :

- 1) Les **membranes réfléchissantes** sont catégorisées en deux types : la membrane de polyuréa et la membrane élastomère. Comparativement à une toiture conventionnelle faite de bitume et de gravier noir qui a une durée de vie d'une dizaine d'années, les membranes réfléchissantes peuvent doubler, voire tripler leurs durées de vie. La membrane de polyuréa ressemble à un enduit qui se solidifie à l'air ambiant, elle peut être colorée afin d'augmenter sa capacité de réflexivité. Elle résiste de manière significative aux intempéries et favorise la réduction de la demande énergétique. La membrane élastomère est autocollante ce qui permet une installation rapide et offre les mêmes avantages que la membrane de polyuréa. Même si le prix des membranes réfléchissantes peut être de 15 % plus élevé qu'une toiture à membrane conventionnelle, il n'en demeure pas moins que de par sa longévité elles sont rentables à long terme (CRE de Montréal, 2008 : 6).
- 2) Les **enduits réfléchissants** ont l'avantage de pouvoir s'appliquer sur tous les types de surfaces, que cela soit sur les toits conventionnels de bitume, de gravier noir, les toits en bardeaux ou encore sur les membranes métalliques ou d'élastomère. Ils permettent donc une transformation facile d'un toit non-réfléchissant à un toit blanc. De plus, ils s'appliquent aussi aisément que la peinture et ont l'avantage d'être peu coûteux (Trottier, 2008, p.34 ; CRE de Montréal, 2008 : 7).
- 3) De par sa couleur, le **gravier blanc** est lui aussi un matériau réfléchissant. Il peut être appliqué sur les toits conventionnels. De plus, il est offert à un prix accessible tout en permettant de favoriser l'économie locale telle que les carrières (CRE de Montréal, 2008 : 8). Au-delà de la capacité réflexive du gravier blanc, il permet aux eaux de pluie de s'infiltrer dans le sol favorisant ainsi le rafraîchissement du milieu environnant tout en contribuant à une meilleure gestion des eaux pluviales (Boisselle, 2010 : 28). L'Association des Maîtres Couvreur du Québec affirme que le gravier de marbre blanc 5/8" est un matériau réfléchissant durable et peu coûteux permettant de contrer le phénomène d'îlots de chaleur (Ingétec, 2008).

Le tableau 2 ci-dessous répertorie la capacité de réflexivité et d'émissivité des matériaux de couverture les plus répandus. La colonne « Élévation de la température » représente l'augmentation de degré de la température de surface vis-à-vis de la température de l'air ambiant qu'engendre le matériau utilisé (Liu, 2005 : 6).

**Tableau 2 : Caractéristiques de surface (la réflectance solaire et l'émission infrarouge) des matériaux de surface de couverture les plus communes**

Surface de la toiture	Réflectance Solaire	Émission infrarouge <sup>9</sup>	Élévation de température (°C)
EPDM - noir	0,06	0,86	46
EPDM - blanc	0,69	0,87	14
TPO - blanc	0,83	0,92	6
Bitume - surface lisse	0,06	0,86	46
Bitume - granulés blancs	0,26	0,92	35
Multi - gravier sombre	0,12	0,90	42
Multi - gravier clair	0,34	0,90	32

<sup>9</sup> Il arrive que certains auteurs considèrent l'émission énergétique (*thermal emittance*) comme synonyme à l'émissivité.

Bardeaux - granulés noirs génériques	0,05	0,91	46
Bardeaux-granulés blancs génériques	0,25	0,91	36
Bardeaux - revêtement élastomère blanc	0,71	0,91	12
Bardeaux - revêtement en aluminium	0,54	0,42	28
Acier - neuf, nu, galvanisé	0,61	0,04	31
Aluminium	0,61	0,25	27
Aluminium - revêtement blanc	0,59	0,85	21

Source : Cool Roof Materials Database. Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, 2005. <http://eetd.lbl.gov/CoolRoofs/> tiré de Liu, 2005 : 6

Ainsi, ce tableau montre que les matériaux des toits réfléchissants, comme le TPO-blanc (membrane en polyoléfine thermoplastique), permettent d'éviter une trop importante élévation de la température par rapport à la température de l'air ambiant alors que les matériaux des toitures conventionnelles comme le bitume à surface lisse ou le multigravier sombre peuvent causer une hausse de la température de 46 °C pour le premier, et de 42 °C pour le deuxième par rapport à la température ambiante.

Une part importante de la littérature sur les toits blancs s'appuie sur un contexte climatique fort différent de celui du Québec. En effet, beaucoup d'études<sup>10</sup> exposant les bénéfices de l'utilisation de ces toitures ont été réalisées dans des villes exposées à un climat relativement chaud (Californie, Floride, etc.). Comme la demande en climatisation y est importante, les bénéfices liés à la mise en place d'un toit blanc y sont notables. Or, le climat québécois n'a pas les mêmes caractéristiques, laissant supposer que les bénéfices des toits blancs y soient moindres. Certains vont même jusqu'à dire que « l'installation de tels revêtements réfléchissants pourrait engendrer des pertes de chaleur pendant les mois froids de l'année » (Giguère, 2009 : 30). Toutefois, un survol des quelques études ayant été faites en territoire québécois nous permet d'arriver à des conclusions différentes.

D'abord, selon le *Conseil national de recherches Canada* et l'*Institut de recherche en construction*, l'utilisation de toitures réfléchissantes dans les climats froids ne présente pas de grand désavantage et la perte de chaleur en hiver est faible puisque l'effet de chaleur dû au rayonnement est presque nul étant donné la présence de neige qui recouvre les toits et de la faible inclinaison du soleil (Paroli et Elmahdy, 2009 : 31). Ensuite, malgré une plus faible utilisation de la climatisation, les toitures réfléchissantes permettent de contrer l'effet des îlots de chaleur urbains et d'améliorer l'efficacité énergétique durant la saison estivale (Trottier, 2008 : 3 ; CRRC, S.D).

En plus de réduire la formation des îlots de chaleur urbains et d'apporter des bénéfices quant à la qualité de l'air, l'utilisation de matériaux réfléchissants permet d'atténuer les effets du changement climatique et de baisser la consommation énergétique utilisée pour la climatisation (de 10 à 30 %) (Liu, 2005 : 6 ; CRRC, S.D). À Montréal, le Collège Rosemont possède un toit blanc de plus de 3 000 m<sup>2</sup>, il permet de rafraîchir l'air extérieur et celle des classes de cours (CRE de Montréal, 2008 : 46 ; Potvin, 2008). Même si le coût du toit blanc s'est élevé à 20 % plus cher qu'une toiture conventionnelle, en combinant plusieurs mesures d'aménagement (toit blanc, toit vert couvrant une superficie de 930 mètres carrés) le Collège Rosemont a réduit ses coûts liés à la demande énergétique de 40 % (Trottier, 2008 ; ACCC, 2010).

De plus, la mise en place de toits blancs possède également un avantage économique. En effet, il en résulte une diminution du coût d'entretien du toit puisque sa durée de vie est de deux à trois fois plus longue qu'une toiture conventionnelle (CRRC, S.D). Sans compter que dans la lutte aux îlots de chaleur, la Ville de Montréal offre également un soutien financier dans le cadre de son programme *Rénovation à la*

<sup>10</sup> Les études menées par les chercheurs de *Heat Island Group* de l'Institut Lawrence Berkeley de Californie.

carte. Celui-ci offre par exemple aux propriétaires éligibles<sup>11</sup> une aide financière de 60 \$ le m<sup>2</sup> pour installer une membrane élastomère réfléchissante. D'un autre côté, on peut noter la possibilité d'une perte de la capacité réfléchissante de la toiture à long terme, car ce type de matériau accumule la poussière, les salissures et d'autres types de particules qui entravent les capacités de réflexivité et d'émissivité. Cependant, en nettoyant régulièrement ces surfaces il est possible de restaurer le niveau de réflectance et de garder de manière optimale les bénéfices de ce type de toits (Liu, 2005 : 7).

## CONCLUSION

Le présent rapport dresse un portrait des impacts, des causes et des solutions à apporter aux îlots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal. Notre ambition était de favoriser une meilleure compréhension sur le sujet par le biais d'un effort de vulgarisation et d'aborder les mesures envisageables pour lutter contre les îlots de chaleurs en milieu urbain.

Plusieurs mesures sont à la disposition des citoyens et des municipalités pour enrayer un phénomène dont les impacts sur la santé sont importants. La multiplication des espaces verts, la rétention des eaux de pluie, la réduction des sources de chaleur et de GES et l'utilisation de matériaux réfléchissants sont les moyens les plus importants que nous avons détaillés ici. La mise en place de toits blancs est notamment un moyen efficace pour réduire de manière notable la hausse de la température de l'air ambiant et par le fait même lutter contre les îlots de chaleur et ses impacts. Économiques de par leur durée de vie et les économies d'énergies qu'ils procurent, les toitures réfléchissantes sont un premier pas essentiel dans la lutte aux îlots de chaleur urbains.

## BIBLIOGRAPHIE

- Akbari H., Pomerantz M. et Taha H., 2001, *Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas*. Solar energy, Vol. 70, p. 95-310.
- Association des collèges communautaires du Canada (ACCC), 2010, *La viabilité dans les collèges et les instituts canadiens : Réduire notre empreinte écologique*. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.accc.ca/francais/publications/viabilite-env/empreinte.htm>
- Baudouin Y., Leprince J. et Perez C., 2007, *Représentations cartographiques de la Communauté urbaine de Montréal*, Conseil régional de l'environnement de Laval, 200 p.
- Boiselle L., 2010, *Guide de bonnes pratiques. Gestion écoresponsable des terrains*. Gouvernement du Québec. Disponible à l'adresse suivante : <http://publications.msss.gouv.qc.ca/acrobat/f/documentation/2010/10-733-03.pdf>
- Bouchard M. et Smargiassi A., 2007, *Estimation des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique au Québec : essai d'utilisation du air quality benefits assessment tool (AQBAT)*, Institut National de Santé publique du Québec, 59 p. Disponible à cette adresse : [http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/817\\_ImpactsSanitairesPollutionAtmos.pdf](http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/817_ImpactsSanitairesPollutionAtmos.pdf)
- Boucher I., 2010, *La gestion durable des eaux de pluie, Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable*, ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, coll. « Planification territoriale et développement durable », 118 p. Disponible à l'adresse suivante : [http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/amenagement\\_territoire/urbanisme/guide\\_gestion\\_eau\\_x\\_pluie\\_complet.pdf](http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/amenagement_territoire/urbanisme/guide_gestion_eau_x_pluie_complet.pdf)
- Boucher I. et Fontaine N., 2010, *La biodiversité et l'urbanisation, Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable*, ministère des Affaires municipales, des

---

<sup>11</sup> Toutes les conditions d'admissibilité sont répertoriées dans le feuillet de la ville de Montréal *Rénovation à la carte*.

- Régions et de l'Occupation du territoire*, coll. «Planification territoriale et développement durable», 178 p. Disponible à l'adresse suivante : [http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/grands\\_dossiers/developpement\\_durable/biodiversite\\_urbanisation\\_chap\\_3.pdf](http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/grands_dossiers/developpement_durable/biodiversite_urbanisation_chap_3.pdf)
- Bozonnet E., 2006, *Les microclimats urbains et la demande énergétique du bâti*. XXIVème Rencontres Universitaires de Génie Civil 2006. CIB. 2001. *Towards Sustainable Roofing*. CIN publication no.27 Disponible à cette adresse : <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/Publi271.pdf>
- Carter J., 2008, *Urban Heat Island Mitigation Can Improve New York City's Environment: Research on the Impacts of Mitigation Strategies*, Columbia University's Cool City Project et Center for Sustainable Urban Development, 47 p.
- Cavayas F. et Baudouin Y., 2008, *Étude des biotopes urbains et périurbains de la CMM, Volets 1 et 2 : Évolution des occupations du sol, du couvert végétal et des îlots de chaleur sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal (1984-2005)*. Conseil Régional de l'Environnement de Laval 123p.
- Colombert M., 2008, *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville*, Université Paris-Est, Thèse de Doctorat, 538 p.
- Conseil régional de l'environnement de Montréal (CRE de Montréal), 2008, *Les matériaux réfléchissants et perméables pour contrer les îlots de chaleur urbains*, 20 p. Disponible à l'adresse suivante <http://www.cremtl.qc.ca/fichiers-cre/files/pdf991.pdf>
- Conseil régional de l'environnement de Montréal (CRE de Montréal), 2010, *Guide sur le verdissement pour les propriétaires institutionnels, commerciaux et industriels*, 42 p. Disponible à l'adresse suivante : [http://www.cremtl.qc.ca/fichiers-cre/files/SBM2010/Guide\\_Verdissement\\_Entreprises.pdf](http://www.cremtl.qc.ca/fichiers-cre/files/SBM2010/Guide_Verdissement_Entreprises.pdf)
- Cool roof rating council (CRRC), S.D, *Why Cool Roofs Are Way Cool*. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.coolroofs.org/documents/IndirectBenefitsofCoolRoofs-WhyCRareWayCool.pdf>
- CUM (Communauté Urbaine de Montréal), 1989, *Évaluation de la qualité des biotopes urbains par télédétection satellitaire*, Communauté urbaine de Montréal, Service de la planification du territoire, 61 p.
- Defeijt V., 2008, *Inventaire corporatif des émissions de gaz à effet de serre 2005 - Synthèse*. Ville de Montréal, Service des infrastructures, transport et environnement, Direction de l'environnement et du développement durable, Planification et suivi environnemental, 4 p. Disponible à l'adresse suivante : [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/GES\\_2005\\_VF.pdf](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/GES_2005_VF.pdf)
- Desjarlais A., Zaltash A. Atchley J.A. et Ennis M., 2010, *Thermal Performance of Vegetative Roofing Systems*. Proceedings of 25<sup>th</sup> RCI International Convention. Disponible à l'adresse suivante : [http://www.ornl.gov/sci/ees/etsd/btrc/pdfs/ThermalPerfofVegetatedRoofSystems\\_Mar2010.pdf](http://www.ornl.gov/sci/ees/etsd/btrc/pdfs/ThermalPerfofVegetatedRoofSystems_Mar2010.pdf)
- Environnement Canada., 2007, *À propos de la CAS*. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.ec.gc.ca/cas-aqhi/default.asp?lang=Fr&xml=BD834AFE-250E-4D6A-B0CE-DCF4D4F8B4C6>
- Environnement Canada., 2011, *Le SMOG*. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=Fr&n=13D0EDAA-1>
- Environmental Protection Agency (EPA)., 2003, *Cooling Summertime Temperatures, Strategies to reduce Urban Heat Islands*, 6 p. Disponible à l'adresse suivante: <http://www.epa.gov/heatisld/resources/pdf/HIRIbrochure.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA), 2011, *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Urban Heat Island Basics*, 19 p. Disponible à cette adresse : <http://www.epa.gov/heatisld/resources/pdf/BasicsCompendium.pdf>
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)., 2007, *Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse*, 103 p.

- Giguère M., 2009, *Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains*, Institut National de Santé publique du Québec. 77 p. Disponible à l'adresse suivante : [http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/988\\_MesuresIlotsChaleur.pdf](http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/988_MesuresIlotsChaleur.pdf)
- Goodman S.J., 1999, *Heat Island*, Urban Climatology and Air Quality. Disponible à l'adresse suivante : [http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/urban/urban\\_heat\\_island.html](http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/urban/urban_heat_island.html)
- Images Montréal., 2011, *Montréal en chiffre*. Disponible à l'adresse suivante [http://www.imtl.org/montreal\\_en\\_chiffres.php](http://www.imtl.org/montreal_en_chiffres.php)
- Ingétec., Juillet 2008, *Ingétec fait approuver un concept... brillant!* Disponible à l'adresse suivante : [http://www.firme-ingetec.com/Vf/texte\\_nouvelles1.html](http://www.firme-ingetec.com/Vf/texte_nouvelles1.html)
- Isoz V., 2010, *Électromagnétisme 39. Optique Géométrique*. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.sciences.ch/htmlfr/electrodynamique/electrodynoptiquegeo01.php>
- Labrecque M. et Vergriete Y., 2008, *Études des Biotopes urbains et périurbains de la CMM , Volet 3 : synthèse des indicateurs de rétention des eaux par les végétaux et possibilité d'application, en milieu urbain et périurbain, sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal*, 21 p.
- Lachance G., Baudouin Y. et Guay F., 2006, *Étude des îlots de chaleur montréalais dans une perspective de santé publique*. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.inspq.qc.ca/bise/post/2006/06/15/Etude-des-ilots-de-chaleur-montrealais-dans-une-perspective-de-sante-publique.aspx>
- Le journal de L'UQAM (UQAM), 2008, *Les îlots de chaleur se multiplient*. Volume XXXIV, numéro 15, 14 avril 2008. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.journal.uqam.ca/archives/2007-2008/3415.pdf>
- Liu K., 2005, *Vers des systèmes de couverture durables*. CNRS. NRCC-48173f, 10 p.
- Mileti D.S., 2004, *Disasters by Design, A Reassessment of Natural Hazards in the United States*, John Henry Press, Washington, 351 p.
- Natural Stone Council, 2009, *CASE STUDY: Natural Stone Solar Reflectance Index and the Urban Heat Island Effet*, University of Tennessee Center for Clean Products, July 17, 7 p.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP)., 2007, *Coupez le moteur! Programme sur la marche au ralenti des moteurs des véhicules*. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.mddep.gouv.qc.ca/programmes/coupez-le-moteur/programme.pdf>
- Paroli R.M. et Elmahdy. H., 2009, *Les toitures et la conservation de l'énergie*. Conseil national de recherches (CNRS) Institut de recherche en construction (NRC). Disponible à l'adresse suivante : [http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/bsi/2009/roofing\\_f.pdf](http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/bsi/2009/roofing_f.pdf)
- Potvin L., 2008, *Entre le vert et le blanc*. Journal de Rosemont-La Petite-Patrie, 17 Juillet 2008. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.journalderosemont.com/Construction-et-immobilier/2008-07-17/article-929944/Entre-le-vert-et-le-blanc/1>
- Rainham D.G.C. et Smooyer-Tomic K.E., 2003, The role of air pollution in the relationship between a a heat stress index and human mortality in Toronto, *Environmental Research*, Vol. 93, p. 9-19.
- Ressources naturelles Canada, 2007, *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques*, Disponible à l'adresse suivante : [http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/health\\_3\\_f.php](http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/health_3_f.php)
- Rosemont La Petite-Patrie., 2010, *01-279 Règlement d'urbanisme de l'arrondissement Rosemont La Petite-Patrie (codification administrative)*, Disponible à l'adresse suivante [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND\\_RPP\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/REGLEMENT%20D'URBANISME.PDF](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND_RPP_FR/MEDIA/DOCUMENTS/REGLEMENT%20D'URBANISME.PDF)
- Salomon T. et Aubert C., 2003, *La fraîcheur sans clim*. Terre Vivante, Paris, 160 p.
- Santamouris, M., 2005, *Passive cooling of buildings*. Advances of Solar Energy, ISES. James and James Science Publishers, 57 p. Disponible à l'adresse suivante : [http://www.esu.com.sg/pdf/Passive\\_Cooling\\_of\\_Building.pdf](http://www.esu.com.sg/pdf/Passive_Cooling_of_Building.pdf)
- Simon D., 2007, Cities and global environmental change: exploring the links, *The Geographical Journal*, Vol. 173, No. 1, March 2007, p. 75-79.



- Smoyer K.E., Rainham D.G.C. et Hewko J.N., 2000, Heat-stress-related mortality in five cities in Southern Ontario: 1980-1996, *Int. J. Biometeorol*, Vol. 44, p. 190-197.
- Trottier A., 2008, *Toitures végétales : implantation de toits verts en milieu institutionnel. Étude de cas : UQAM*, 80 p.
- Van Durme G. et Epicum M., 2005, Variabilité spatio-temporelle de l'albédo. Analyse menée à la résolution métrique, *Bulletin de la Société géographique de Liège*, vol. 46, p. 27-35.
- Ville de Montréal, 2005, *Politique de l'arbre de Montréal*. La Ville, Montréal. 29 p. Disponible à l'adresse suivante :  
[http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/portail\\_fr/media/documents/politique\\_arbre.pdf](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/portail_fr/media/documents/politique_arbre.pdf)
- Ville de Montréal, 2005, *Plan de développement durable de la collectivité montréalaise 2010-2015*. La Ville, Montréal. Disponible à l'adresse suivante :  
[http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/PES\\_PUBLICATIONS\\_FR/PUBLICATIONS/PLAN\\_2010\\_2015.PDF](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/PES_PUBLICATIONS_FR/PUBLICATIONS/PLAN_2010_2015.PDF)
- Ville de Montréal., S.D, *Le Plan de transport à l'échelle des citoyens « 21 chantiers pour réinventer Montréal en dix ans! »*. Disponible à l'adresse suivante :  
[http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/TRANSPORT\\_V2\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/depliant\\_plan.pdf](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/TRANSPORT_V2_FR/MEDIA/DOCUMENTS/depliant_plan.pdf)
- Ville de Montréal., 2011, *Rénovation à la carte*. Disponible à l'adresse suivante :  
[http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/HABITER\\_V2\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/FEUILLET\\_RENOVATION\\_A\\_LA\\_CARTE.PDF](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/HABITER_V2_FR/MEDIA/DOCUMENTS/FEUILLET_RENOVATION_A_LA_CARTE.PDF)
- Ville de Montréal., 2004, *Plan d'urbanisme de Montréal*. Disponible à l'adresse suivante :  
[http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=2761,3096665&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=2761,3096665&_dad=portal&_schema=PORTAL)
- WHO (World Health Organization), 2004, *Heat-Waves: Risks and Responses*, Health and Global Environmental Change Series, No. 2, 124 p.