



## Mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains : mise à jour 2021

**CHANGEMENTS CLIMATIQUES**



# Mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains : mise à jour 2021

## SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Novembre 2021



## **AUTEURES**

Laurie-Maude Drapeau, M. Sc.  
Mélanie Beaudoin, M. Env., LL. B.  
Léa Vandycke, stagiaire  
Manon Brunstein, stagiaire  
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Ce document est une mise à jour de la publication suivante : Giguère, M. (2009). Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/988>

## **AVEC LA COLLABORATION DE**

Mahée Lacourse, M. Sc.  
Direction de la valorisation scientifique et qualité

## **RÉVISION ET MISE EN PAGE**

Véronique Paquet  
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

## **FINANCEMENT**

La présente étude est financée dans le cadre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques et du Plan pour une économie verte 2030 du gouvernement du Québec.

*Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.*

*Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue en formulant une demande au guichet central du Service de la gestion des droits d'auteur des Publications du Québec à l'aide d'un formulaire en ligne accessible à l'adresse suivante : <http://www.droitauteur.gouv.qc.ca/autorisation.php>, ou en écrivant un courriel à : [droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca](mailto:droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca).*

*Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.*

Dépôt légal – 1<sup>er</sup> trimestre 2022  
Bibliothèque et Archives nationales du Québec  
ISBN : 978-2-550-90997-2 (PDF)

© Gouvernement du Québec (2021)



## Remerciements

### Réviseurs

---

L'INSPQ désire remercier sincèrement les personnes suivantes qui ont accepté de donner temps, expertise et commentaires sur la présente revue de la littérature :

**Pour l'ensemble de la revue :**

Nathalie Bleau, coordonnatrice scientifique, adaptation des milieux de vie  
Ouranos

Éline Bonnemains, conseillère en aménagement du territoire et urbanisme  
Vivre en Ville

Katerine Girard, conseillère scientifique  
Institut national de santé publique du Québec

Pierre Gosselin, médecin-conseil  
Institut national de santé publique du Québec

Véronique Parent-Lacharité, conseillère en adaptation aux changements climatiques  
Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

**Pour les sections 2.2.2 et 5.2 :**

Elyssa Cameron, professionnelle de recherche  
Université du Québec à Montréal

Hugo Ouellet, étudiant gradué  
Université du Québec à Montréal

Alain Paquette, professeur et titulaire de la Chaire de recherche-innovation sur la forêt urbaine  
Université du Québec à Montréal

**Pour les sections 3.2.1, 5.3.1, 5.3.2, 5.5.6, 5.5.7, 5.5.8 et 5.5.9 :**

Jean-Marc Leclerc, conseiller scientifique  
Institut national de santé publique du Québec

Patrick Poulin, conseiller scientifique spécialisé  
Institut national de santé publique du Québec

**Pour les sections 5.2, 5.4.1, 5.5.3, 5.5.4 et 5.5.5 :**

Nilson Zepeda, chargé de projet en environnement  
Conseil régional de l'environnement de Montréal

Les réviseurs ont été conviés à apporter des commentaires sur la version préfinale de cette production scientifique et, en conséquence, n'en ont pas révisé ni endossé le contenu final.

### Personnes-ressources

---

Les auteures souhaitent remercier les personnes qui ont pris part aux entrevues de documentation des études de cas pour leur importante contribution : Marie Aubé, pour le projet de l'Hôpital de Saint-Eustache; Mélanie Glorieux, pour le projet de l'aréna Rodrigue-Gilbert à Montréal; Jean-François Laberge, pour le projet des Habitations Sainte-Germaine-Cousin à Montréal; Roxanne Miller, pour le projet du Collège de Rosemont à Montréal, Alison Munson et Gaëtan Pépin, pour le projet de l'IRDPQ à Québec; et Anne-Marie Tremblay, pour le projet de l'École Saint-Pierre à Alma.



## Avant-propos

Le ministère de la Santé et des Services sociaux a confié à l'Institut national de santé publique du Québec, en novembre 2007, le mandat de gestion du volet santé de l'Action 21 du Plan d'action sur les changements climatiques. Dans le cadre de ses travaux, l'INSPQ a publié en 2009 une [revue de la littérature](#) portant sur les mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains. Elle a été réalisée principalement à l'intention des municipalités et des organismes à but non lucratif qui interviennent sur le terrain afin d'appuyer la lutte contre les îlots de chaleur urbains et de favoriser l'adaptation préventive des programmes et des infrastructures aux changements climatiques. Cette revue de la littérature constitue depuis une référence pour la mise en œuvre de projets locaux de démonstration de lutte préventive contre ce phénomène.

Étant donné que la littérature scientifique foisonne de nouvelles études portant sur les mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains depuis les dix dernières années, il s'avérerait non seulement opportun de mettre à jour les informations et les références présentées dans cette revue, mais également de revoir les données globales, notamment celles disponibles pour les années les plus chaudes enregistrées au Québec, les projections climatiques, les impacts des îlots de chaleur urbains en termes de morbidité et de mortalité, etc. De plus, de nombreux projets porteurs de lutte contre les îlots de chaleur urbains ont été mis en place depuis 2009, notamment dans le cadre des plans d'action sur les changements climatiques du gouvernement du Québec.

Cette revue de la littérature ne saurait remplacer les recommandations des experts des domaines concernés par la lutte contre les îlots de chaleur urbains, dont l'architecture, l'urbanisme, les transports et l'ingénierie. Elle permet d'obtenir une vue d'ensemble des différentes mesures de lutte existantes et fait état de certaines études ayant testé leur efficacité en termes de gain de fraîcheur. La revue de la littérature a été soumise à onze réviseurs, dont sept externes, spécialistes des divers champs d'expertise dans lesquels s'inscrivent les mesures de lutte répertoriées. Les corrections nécessaires ont été effectuées à la suite de leurs commentaires. Toute erreur ou toute omission dans le texte demeure cependant la seule responsabilité des auteures.



## Table des matières

Liste des tableaux.....	VII
Liste des figures.....	IX
Glossaire.....	XI
Liste des sigles et acronymes.....	XIII
Faits saillants.....	1
Sommaire.....	3
<b>1 Introduction.....</b>	<b>7</b>
<b>2 Îlots de chaleur urbains : définition et causes.....</b>	<b>9</b>
2.1 Définition.....	9
2.2 Causes.....	10
2.2.1 Émissions de gaz à effet de serre.....	10
2.2.2 Couvert forestier dans les milieux urbains.....	11
2.2.3 Imperméabilité des sols.....	11
2.2.4 Propriétés thermiques des revêtements.....	12
2.2.5 Morphologie et taille des villes.....	12
2.2.6 Chaleur générée par les activités humaines.....	13
<b>3 Impacts des îlots de chaleur urbains.....</b>	<b>15</b>
3.1 Impacts sur l'environnement.....	15
3.1.1 Détérioration de la qualité de l'air extérieur.....	15
3.1.2 Détérioration de la qualité de l'air intérieur.....	15
3.1.3 Hausse de la demande en énergie.....	15
3.1.4 Hausse de la demande en eau potable.....	15
3.2 Impacts sur la santé.....	16
3.2.1 Confort thermique.....	17
3.2.2 Au-delà de la climatisation.....	19
<b>4 Îlots de chaleur urbains au Québec.....</b>	<b>21</b>
4.1 Zones sujettes aux îlots de chaleur urbains.....	21
<b>5 Mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains.....</b>	<b>23</b>
5.1 Généralités.....	23
5.2 Mesures de verdissement.....	23
5.2.1 Aménagement d'espaces verts urbains.....	27
5.2.2 Plantation ponctuelle d'arbres et de végétation.....	29
5.2.3 Végétalisation des stationnements.....	31
5.2.4 Végétalisation du pourtour des bâtiments.....	32
5.2.5 Installation de murs végétaux.....	33
5.2.6 Conception de toits verts.....	36
5.3 Mesures liées aux infrastructures urbaines durables.....	42
5.3.1 Bâtiments.....	42
5.3.2 Architecture bioclimatique.....	45
5.3.3 Infrastructures routières.....	49

5.3.4	Aménagement urbain .....	50
5.4	Mesures de gestion durable des eaux pluviales.....	56
5.4.1	Plantation d'arbres et installation de toits verts.....	57
5.4.2	Choix de revêtements perméables .....	58
5.4.3	Aménagement de jardins pluviaux.....	60
5.4.4	Conception de bassins de rétention .....	61
5.4.5	Installation de tranchées de rétention.....	61
5.4.6	Installation de puits d'infiltration .....	62
5.5	Mesures de réduction de la chaleur anthropique.....	62
5.5.1	Bâtiments .....	62
5.5.2	Réduction du parc automobile en milieu urbain.....	64
5.5.3	Climatisation passive .....	67
5.6	Synthèse .....	71
<b>6</b>	<b>Études de cas et expériences du Plan d'action sur les changements climatiques .....</b>	<b>77</b>
6.1	Études de cas .....	77
6.1.1	Le stationnement de l'aréna Rodrigue-Gilbert, à Montréal .....	77
6.1.2	Le toit vert du Collège de Rosemont, à Montréal.....	79
6.1.3	La cour de l'École Saint-Pierre, à Alma .....	81
6.1.4	La construction des Habitations Sainte-Germaine-Cousin, à Montréal.....	83
6.1.5	Le stationnement de l'Hôpital de Saint-Eustache .....	85
6.1.6	Le verdissement de l'Institut de réadaptation en déficience physique de Québec, à Québec .....	87
6.2	Expériences du Plan d'action sur les changements climatiques .....	89
6.2.1	Plan d'action sur les changements climatiques 2006-2012.....	89
6.2.2	Plan d'action sur les changements climatiques 2013-2020.....	89
<b>7</b>	<b>Limites .....</b>	<b>91</b>
<b>8</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>93</b>
<b>9</b>	<b>Références .....</b>	<b>97</b>
	<b>Annexe 1 Stratégie de recherche documentaire .....</b>	<b>119</b>
	<b>Annexe 2 Évaluation des revues de la littérature .....</b>	<b>131</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1	Valeurs seuils de chaleur extrême et stations météorologiques de référence par région sociosanitaire .....	18
Tableau 2	Températures annuelles moyennes et nombre de jours de plus de 30 °C par an, pour trois périodes différentes, selon deux scénarios climatiques .....	21
Tableau 3	Grille d'interprétation des groupes fonctionnels.....	26
Tableau 4	Classification des types de toits verts .....	39
Tableau 5	Albédo de différents matériaux.....	43
Tableau 6	Différents types de protections solaires extérieures.....	48
Tableau 7	Systèmes de ventilation mécanique utilisés en territoire canadien.....	69
Tableau 8	Tableau synthèse des différentes mesures de lutte contre les ICU .....	72
Tableau 9	Statistiques des projets de lutte contre les îlots de chaleur urbains réalisés dans le cadre du PACC 2006-2012 .....	89
Tableau 10	Projets de lutte contre les îlots et les archipels de chaleur urbains en cours dans le cadre du PACC 2013-2020.....	90



## Liste des figures

Figure 1	Profil d'un îlot de chaleur urbain .....	9
Figure 2	Facteurs nuisant à la thermorégulation humaine et contribuant aux maladies.....	17
Figure 3	Îlots végétalisés - Projet « Place fraîcheur à l'école Calixa-Lavallée » à Montréal .....	31
Figure 4	Dalles permettant la croissance des végétaux .....	32
Figure 5	Végétalisation du pourtour du bâtiment – Projet « Effet de terre aux habitations Jeanne-Mance » à Montréal.....	33
Figure 6	Types de murs végétaux.....	35
Figure 7	Murs végétaux de façade – Projet « Des vignes mûres pour les murs » à Montréal.....	35
Figure 8	Composants d'un toit vert standard .....	38
Figure 9	Toits végétaux extensifs – Maison du développement durable à Montréal et projet « Relocalisation du siège social de l'Office municipal d'habitation de Trois-Rivières » .....	39
Figure 10	Jeux d'eau et piscine .....	53
Figure 11	Dalles imperméables avec joints perméables – Projets « Le Vieux Beloeil prend le frais » et « Place St-Martin » et espaces piétonniers permettant la percolation de l'eau.....	59
Figure 12	Bassin de rétention du parc de la Montagne-des-Roches.....	61



## Glossaire

Afin de faciliter la compréhension du lecteur, différents termes techniques spécialisés utilisés dans cette revue de la littérature ont été définis. Ainsi, les termes composés en caractère gras lors de leur première apparition dans le texte sont définis dans le présent glossaire.

### Adaptation

Démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences. Pour les systèmes humains, il s'agit d'atténuer les effets préjudiciables et d'exploiter les effets bénéfiques. Pour les systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat attendu ainsi qu'à ses conséquences<sup>1</sup>.

### Albédo

Fraction du rayonnement solaire incident réfléchi par une surface ou un corps<sup>2</sup>.

### Aménagement axé sur le transport en commun (transit-oriented development ou TOD)

Approche visant à favoriser l'articulation de l'urbanisation et du transport collectif. Elle propose « l'établissement de collectivités dans lesquelles les habitants peuvent facilement accéder à pied (c'est-à-dire dans un rayon approximatif de 600 mètres) à un noyau de services et de commerces, ainsi qu'à une station de transport collectif »<sup>3</sup>.

### Capacité thermique

Quantité de chaleur nécessaire pour produire un changement unitaire de température dans une unité de masse d'un matériau<sup>4</sup>.

### Convection

Processus de transfert de chaleur par lequel la chaleur est transférée entre un fluide en mouvement et une surface solide en contact avec le fluide<sup>5</sup>.

### Éblouissement

Mesure de l'inconfort physique d'un occupant causé par une lumière ou un contraste excessif dans un champ de vision<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2014). *Changements climatiques 2014 : rapport de synthèse* (p. 131-145). [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf)

<sup>2</sup> Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., et Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands : A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 749-758. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>

<sup>3</sup> Vivre en Ville. (2014). *Retisser la ville, [ré] articuler urbanisation, densification et transport en commun*.

<sup>4</sup> Li, Y., et Ren, S. (dir.). (2011). 2-Basic properties of building decorative materials. Dans *Building Decorative Materials* (p. 10-24). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857092588.10>

<sup>5</sup> Bobes-Jesus, V., Pascual-Muñoz, P., Castro-Fresno, D., et Rodriguez-Hernandez, J. (2013). Asphalt solar collectors : A literature review. *Applied Energy*, 102, 962-970. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.08.050>

<sup>6</sup> Jakubiec, J., et Reinhart, C. (2012). The 'adaptive zone' – A concept for assessing discomfort glare throughout daylight spaces. *Lighting Research et Technology*, 44(2), 149-170. <https://doi.org/10.1177/1477153511420097>

### **Effet de cheminée**

Mouvement ascensionnel de l'air intérieur dans un bâtiment ou un conduit, parce que cet air est chaud et donc plus léger que l'air extérieur. Ce mouvement induit une aménée d'air frais dans le bas du bâtiment ou du conduit et une sortie de l'air chaud par le haut, vers l'extérieur<sup>7</sup>.

### **Facteur de vue du ciel**

Mesure de l'ouverture vers le ciel d'un tissu urbain qui a une influence sur divers phénomènes climatologiques tels que l'îlot de chaleur urbain, l'éclairage naturel et l'absorption de chaleur<sup>8</sup>.

### **Infrastructure verte**

Ensemble des systèmes naturels et semi-naturels, de l'arbre à la trame verte, qui rendent des services essentiels au bien-être des individus et des communautés, de la lutte contre les îlots de chaleur urbains en passant par le contrôle des eaux de ruissellement et l'amélioration de la qualité de l'air et de l'eau<sup>9</sup>.

### **Morphologie urbaine**

Formes urbaines des cités, des villes et des villages au fil du temps. Leurs modèles spatiaux à différentes échelles et leurs caractéristiques physiques permettent d'éclairer les interventions urbaines appropriées afin de promouvoir un développement urbain durable<sup>10</sup>.

### **Rayonnement solaire**

Ensemble des rayonnements émis par le soleil. La lumière est la partie visible du rayonnement et correspond à la plage des longueurs d'onde comprises entre 380 et 780 nanomètres, qui s'étendent du bleu au rouge en passant par le vert et le jaune. Le rayonnement solaire de plus petite longueur d'onde est l'ultraviolet, partiellement intercepté par la couche d'ozone dans la haute atmosphère. Au-delà du spectre visible, le rayonnement solaire de plus grande longueur d'onde est appelé « infrarouge » (chaleur), absorbé en partie par la vapeur d'eau de l'atmosphère<sup>11</sup>.

---

<sup>7</sup> Guide bâtiment durable. (2016). *Mouvement d'air à l'origine des débits d'air de ventilation*. <https://www.guidibatimentdurable.brussels/fr/mouvement-d-air-a-l-origine-des-debits-d-air-de-ventilation.html?IDC=7848>

<sup>8</sup> Nikolopoulou, M. (2004). *Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain : une approche bioclimatique*. Center for Renewable Energy Sources.

<sup>9</sup> Rayfield, B., Dupras, J., Francoeur, X., Dumitru, M., Dagenais, D., Vachon, J., Paquette, A., Lechowicz, M., Messier, C., Gonzalez, A. (2016). *Les infrastructures vertes : un outil d'adaptation aux changements climatiques pour le Grand Montréal*. Fondation David Suzuki. <https://www.deslibris.ca/ID/248812>

<sup>10</sup> Chen, F. (2014). Urban Morphology and Citizens' Life. Dans A. C. Michalos (dir.), *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research* (p. 6850-6855). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0753-5\\_4080](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0753-5_4080)

<sup>11</sup> Salomon, T., et Aubert, C. (2003) *Fraîcheur sans clim'*. Terre Vivante.

## Liste des sigles et acronymes

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
ICU	Îlot de chaleur urbain
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
MAMROT	Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire
MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
Mt éq. CO <sub>2</sub>	Millions de tonnes en équivalent en dioxyde de carbone
OMS	Organisation mondiale de la Santé
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency
UV	Ultraviolet



## Faits saillants

- Cette revue de la littérature rapporte les différentes mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains pouvant être mises en œuvre au Québec par les décideurs et gestionnaires immobiliers publics et privés, les acteurs municipaux, les organismes à but non lucratif et autres concepteurs de projets afin d'assurer des milieux de vie sains et confortables aux citoyens.
- L'étalement urbain, la perte de couvert forestier, l'imperméabilisation des sols, l'utilisation de matériaux emmagasinant la chaleur, l'émission de chaleur et de gaz à effet de serre causée par les activités humaines, de même qu'une morphologie urbaine avec des quartiers denses et des rues étroites, sont des facteurs causaux des îlots de chaleur urbains. La hausse des températures et l'augmentation des vagues de chaleur dans un contexte de changements climatiques sont susceptibles d'exacerber leur effet.
- Les îlots de chaleur urbains peuvent avoir des impacts néfastes sur l'environnement (p. ex., détérioration de la qualité de l'air), de même que sur la santé humaine et le bien-être. Certains facteurs de vulnérabilité accrue à la chaleur (p. ex., âge et maladies chroniques) justifient l'attention particulière devant être accordée à certaines populations dans l'implantation de mesures d'adaptation. Les îlots de chaleur urbains, souvent situés en quartiers défavorisés, contribuent également aux inégalités sociales de santé.
- Les matériaux perméables permettent un rafraîchissement urbain en favorisant l'infiltration de l'eau dans le sol et l'évaporation, alors que les matériaux à albédo élevé favorisent le rafraîchissement des villes en prévenant l'absorption du rayonnement solaire.
- Les mesures de verdissement amènent des gains de fraîcheur élevés en milieu urbain. La végétation, lorsqu'utilisée sur les toitures ou les murs des bâtiments, améliore leur isolation, en les gardant frais en été et en limitant les pertes de chaleur l'hiver. Toutefois, les changements climatiques affectent les végétaux (chaleur, insectes); il importe donc de planter plus d'arbres, mais également de bien les choisir afin de limiter les effets délétères sur la santé et les risques de perte de canopée reliée aux différents aléas.
- Les bâtiments existants et les nouvelles constructions doivent être adaptés aux changements climatiques. Le recours à la climatisation ne doit pas être considéré comme l'unique moyen pour rafraîchir le domicile; des solutions complémentaires doivent être explorées. Les enjeux liés à la chaleur urbaine sont à considérer dans l'architecture des bâtiments (p. ex., architecture bioclimatique) et dans l'urbanisme (p. ex., morphologie urbaine).
- Les espaces bleus (p. ex., lacs, étangs) peuvent agir alternativement comme une source de chaleur ou de fraîcheur en milieu urbain. Ceux ayant une grande surface se révèlent en général plus efficaces en termes de fraîcheur, tout comme lorsque l'eau circule (p. ex., rivière) ou lorsque des technologies basées sur l'évaporation de l'eau sont utilisées (p. ex., fontaine). L'utilisation d'infrastructures vertes dans la gestion des eaux pluviales amène de nombreux bénéfices : atténuation des îlots de chaleur urbains, résilience aux inondations, amélioration de la qualité des eaux, etc.
- La mise en place de mesures pour contrer les ICU, en plus d'améliorer les conditions de confort thermique, amène de nombreux bienfaits sur la santé humaine, tant mentale que physique, et prévient les morbidités et mortalités liées à la chaleur.
- La combinaison de plusieurs mesures déployées à grande échelle est nécessaire et permet de réduire la chaleur des villes. L'implication de la communauté dans les projets de lutte contre les îlots de chaleur urbains est un gage de succès rapporté tant dans la littérature que dans les études de cas.



## Sommaire

Cette revue de la littérature est un survol des différentes méthodes permettant de lutter contre les îlots de chaleur urbains. Les changements climatiques occasionnent déjà une hausse du nombre de journées de forte chaleur et cette tendance se poursuivra dans les prochaines années. Il importe ainsi de travailler à améliorer la résilience à la chaleur des villes et des bâtiments au bénéfice de la santé de la population.

### Contexte

En 2009, une première revue de la littérature de l'Institut national de santé publique du Québec portant sur les mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains a été publiée. Elle s'adressait principalement aux intervenants de terrain des organismes à but non lucratif et aux municipalités afin de soutenir la lutte contre les îlots de chaleur urbains et l'adaptation préventive aux changements climatiques des programmes et infrastructures. Vu le foisonnement de la littérature scientifique concernant l'efficacité des mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains dans les dix dernières années, une mise à jour des informations s'est avérée souhaitable. De plus, des études de cas sont documentées afin d'illustrer les différentes possibilités de lutte contre ce phénomène.

Bien que cette revue ne remplace aucunement les avis d'experts des différents domaines de l'aménagement du territoire, de l'architecture et de l'ingénierie, elle permet d'obtenir une vue d'ensemble des différentes mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains existantes et fait état de certaines études ayant testé leur efficacité en termes de gain de fraîcheur.

Elles y sont répertoriées selon quatre grandes catégories, soit les mesures de végétalisation, les mesures liées aux infrastructures urbaines durables, les mesures de gestion des eaux pluviales et de perméabilité du sol, de même que les mesures de réduction de la chaleur dite « anthropique », c'est-à-dire causée par l'homme.

### DÉFINITION D'ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS



L'expression « îlots de chaleur urbains » signifie la différence de température observée entre les milieux urbains et les zones rurales environnantes ou encore entre des zones d'un périmètre intra-urbain. Les températures de l'air des centres urbains peuvent atteindre jusqu'à 12 °C de plus que les régions limitrophes.

### Causes des îlots de chaleur urbains

En plus du climat local, influencé par différents paramètres météorologiques comme la température, l'humidité relative et le vent, plusieurs causes de source anthropique favorisent l'émergence et l'intensification des îlots de chaleur urbains. Ces causes sont les émissions de gaz à effet de serre, la perte progressive du couvert forestier dans les milieux urbains, l'imperméabilité, le bas albédo et les propriétés thermiques des matériaux, la morphologie urbaine et la taille des villes, ainsi que la chaleur anthropique.

### Impacts

Les îlots de chaleur urbains peuvent avoir des impacts néfastes tant sur l'environnement que sur la santé en période de fortes chaleurs. Ils contribuent à la détérioration de la qualité de l'air extérieur et intérieur ainsi qu'à la hausse de la demande en énergie et en eau potable.

Sur le plan de la santé, la chaleur peut provoquer des effets directs comme la déshydratation, l'hyperthermie, le syndrome d'épuisement par la chaleur ou, encore, le coup de chaleur. Elle peut également exacerber les symptômes d'une maladie chronique préexistante comme le diabète, les troubles de santé mentale, l'insuffisance respiratoire, les maladies cardiovasculaires, cérébrovasculaires, neurologiques et rénales, au point de parfois causer la mort.

Certaines personnes sont davantage vulnérables à la chaleur, comme les personnes atteintes de maladies chroniques, les personnes vivant seules ou en perte d'autonomie, les enfants de moins de quatre ans, les femmes enceintes et leur fœtus ou les personnes qui travaillent dans des milieux à température élevée ou qui font de l'exercice intense. Enfin, les personnes âgées, de même que les personnes souffrant de troubles de santé mentale et les personnes défavorisées économiquement, sont des groupes plus à risque lors d'épisodes de chaleur extrême.

### **Confort thermique et climatisation**

Afin de réduire la vulnérabilité individuelle et de favoriser le bien-être, les températures ambiantes ne doivent être ni trop basses ni trop élevées. Bien que le confort thermique soit propre à chacun, l'intervalle de température acceptable à l'intérieur des bâtiments pour la majorité des gens se situerait entre 20 et 24 °C l'hiver et entre 24 °C et 26,5 °C l'été.

Contrairement aux climatiseurs centraux, il a été observé que les unités de climatisation (p. ex., mobiles ou installées dans une fenêtre) étaient moins efficaces dans la réduction des risques pour la santé, excepté pour les petits volumes d'air (p. ex., logements d'une à trois pièces). La taille des logements aurait ainsi une influence sur l'efficacité de certains types de climatiseurs. À la lumière des conséquences de l'utilisation de la climatisation à grande échelle, notamment sur les îlots de chaleur urbains, il s'avère important d'envisager des solutions plus durables tant pour l'environnement que pour la santé des générations actuelles et futures. Ces solutions doivent tenir compte de considérations qui toucheront à la fois les causes du changement climatique et l'adaptation à ce changement.

### **Mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains**

L'augmentation de l'albédo des villes par l'utilisation de matériaux pâles dans les infrastructures et bâtiments favorise le rafraîchissement en réfléchissant une grande quantité de rayonnement solaire. Les surfaces réfléchissantes ont ainsi une température inférieure à celle des revêtements traditionnels (comme l'asphalte et le goudron) et relâchent moins de chaleur nocturne. L'effet d'un albédo élevé sur la réduction de la température de surface est plus important les jours ensoleillés que les jours nuageux.

Le verdissement urbain modère les températures de façon active via le processus d'évapotranspiration, et de façon passive avec l'ombrage des surfaces. La distance et l'intensité de l'effet de rafraîchissement les plus élevées concernent les grands parcs urbains. Pour que les arbres puissent fournir de la fraîcheur, leur bonne croissance est essentielle et peut dépendre de la qualité des sols, de la disponibilité en eau et d'un espace suffisant pour le déploiement optimal du système racinaire. La végétation a un effet de rafraîchissement moyen de 1 à 4,7 °C qui s'étend de 100 à 1 000 mètres en zone urbaine, mais dépend fortement de la quantité d'eau dont la plante ou l'arbre dispose. Une meilleure résilience de la forêt urbaine à divers aléas peut être assurée par l'approche de la diversité fonctionnelle qui consiste à sélectionner des espèces ayant des traits biologiques diversifiés afin de limiter les risques de perte de la canopée. La diversification et la complexification des espaces verts, notamment des surfaces gazonnées, peuvent être efficaces afin d'améliorer leur performance écologique en termes de régulation de la température. La végétalisation des stationnements, en amenant de l'ombrage sur les surfaces asphaltées, permet de protéger les revêtements des grandes variations thermiques et d'en prolonger la durée de vie.

Il est également possible d'amener une diminution de la température intérieure des bâtiments en raison de l'isolation que procurent les murs végétaux, les toits verts ou la végétation plantée au pourtour des bâtiments, qui permettent de garder la chaleur à l'extérieur en été et à l'intérieur en hiver. Dans un contexte d'urbanisation croissante, les murs végétaux, de même que les toits verts, sont considérés comme une approche prometteuse pour verdier les villes où les espaces verts sont rares et les espaces au sol limités. De même, ils permettent de protéger les bâtiments des rayons ultraviolets et des variations importantes de températures. Il existe des avantages complémentaires communs à toutes les mesures de verdissement urbain, soit l'amélioration de la qualité de l'air et de l'eau, l'augmentation de la biodiversité urbaine, la réduction de la consommation d'énergie, la séquestration du carbone, la réduction du bruit, une meilleure gestion des eaux pluviales, des bénéfices en termes de santé physique et mentale, de même que des fonctions esthétiques et, dans certains cas, récréatives.

Les espaces bleus font référence aux surfaces urbaines extérieures qui sont principalement dominées par l'eau, par exemple les lacs, rivières, étangs, fontaines, etc. Les espaces bleus urbains peuvent agir à la fois comme une source de rafraîchissement, par l'évaporation, ou encore comme une source de chaleur en raison de l'inertie thermique et produire alors de la vapeur d'eau, amenant un inconfort thermique dans certaines circonstances. L'effet rafraîchissant des espaces bleus varie en fonction de l'heure de la journée et de la saison. Les espaces bleus urbains n'agissent ainsi pas nécessairement comme un agent de rafraîchissement pendant toute la journée, car leur surface peut atteindre des températures plus élevées que leur environnement urbain la nuit ou tôt le matin, produisant un effet de réchauffement. L'influence de la géométrie et de la diversité des espaces bleus urbains nécessite plus de recherche. Des vents relativement forts au-dessus de la surface de l'eau augmente l'évaporation et accentue l'effet de rafraîchissement. Alors que l'eau qui circule (p. ex., rivière) a un effet de rafraîchissement plus important que l'eau stagnante, les technologies basées sur l'évaporation de l'eau, comme celles d'une fontaine, offrent le plus grand effet de rafraîchissement. Les espaces bleus urbains peuvent générer un effet de rafraîchissement de 1 à 3 °C dans un périmètre d'environ 30 mètres.

Le fait de limiter l'imperméabilisation des sols améliore la gestion des eaux pluviales tant sur le plan qualitatif que quantitatif. La gestion durable des eaux pluviales est une approche ayant des avantages multiples qui vont bien au-delà de la simple atténuation des problèmes d'inondations et de qualité de l'eau. Elle doit être considérée comme un moyen de lutter contre les changements climatiques et les phénomènes exacerbés par ces derniers, comme les îlots de chaleur urbains. En diminuant le ruissellement, l'eau infiltrée dans les sols peut rafraîchir l'air ambiant par évaporation. Il est également essentiel de tenir compte des enjeux liés à la chaleur urbaine dans l'architecture et l'urbanisme à une échelle qui va des bâtiments individuels aux villes entières, notamment en amorçant une réflexion visant à transformer les agglomérations pour les rendre plus denses et à permettre aux citoyens de privilégier les transports collectif et actif.

Les mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains sont plus efficaces en combinaison les unes avec les autres. Ces mesures sont nombreuses et concernent divers domaines d'expertise, dont l'urbanisme, l'ingénierie, l'architecture, l'architecture de paysage, la gestion des ressources naturelles et les transports. Elles ont une incidence positive tant sur le climat local que global. En plus de favoriser la fraîcheur dans les milieux urbains, ces mesures engendrent de nombreux cobénéfices, notamment la réduction de la demande en énergie, la diminution à la source de la pollution de l'eau et de l'air (incluant la réduction des émissions de gaz à effet de serre), de même qu'une meilleure gestion des eaux pluviales et l'augmentation de la biodiversité urbaine.

La présente revue de la littérature est un survol des différentes mesures permettant de lutter contre les îlots de chaleur urbains. Les changements climatiques occasionnent déjà une hausse du nombre de journées de chaleur élevée et extrême, et cette tendance se poursuivra dans les prochaines années. Il importe ainsi de travailler à améliorer la résilience à la chaleur des villes et des bâtiments au bénéfice de la santé et du confort de la population. Bien que la présente revue ne remplace aucunement les avis d'experts des différents domaines de l'aménagement du territoire, de l'architecture et de l'ingénierie, elle permet de retracer les principaux outils en gestion thermique. Les différentes mesures y sont décrites, et leur efficacité en termes de gain de fraîcheur y est discutée. Des études de cas ont également été développées pour illustrer les différentes possibilités (voir section [6](#)).

# 1 Introduction

## Contexte

Selon l'Organisation météorologique mondiale, les années 2015 à 2019 ont été les plus chaudes jamais enregistrées à l'échelle mondiale (World Meteorological Organization, 2020). De 1948 à 2016, la température moyenne annuelle a augmenté de 1,7 °C pour l'ensemble du Canada, soit 2 fois plus que le reste du globe (Environnement et changement climatique Canada, 2019). Au Québec, 9 des 10 années les plus chaudes recensées ont été observées depuis 1998 (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MELCC], 2021a), phénomène qui s'explique par l'augmentation des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère.

En milieu urbain, la hausse des températures peut être influencée par deux facteurs : le changement du climat et les conditions locales spécifiques à la ville (Dong *et al.*, 2017). D'après les projections du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), il est très probable que de nombreuses villes du monde subiront une hausse de la fréquence et de la durée des vagues de chaleur (GIEC, 2015). Selon le scénario d'émissions élevées (RCP 8.5), il est prévu que le nombre annuel de jours où la température maximale est supérieure à 30 °C triple à l'horizon 2041-2070 dans la plupart des villes du Québec comparativement à la période de référence de 1981 à 2010. Dans la métropole, ce nombre passerait de 12,3 jours à 42,8 jours, soit une augmentation de plus de 30 jours (Ouranos, 2020).

Cette hausse constante de la température observée et projetée accentue un problème déjà connu : l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU). Ce phénomène se caractérise par des températures estivales plus élevées en milieux urbains que dans les zones rurales environnantes, et également entre des zones d'un périmètre intra-urbain, par exemple entre un stationnement et un parc lui étant adjacent. Cette différence de température est principalement attribuable au cadre bâti urbain. Les ICU peuvent faire référence aux différences de température de l'air ou encore à la surface du sol, où il est possible d'établir les zones urbaines ayant les surfaces les plus chaudes (voir section 2.1). Selon les observations, la température moyenne de l'air des villes de taille moyenne à grande d'Amérique du Nord est généralement de 1 °C à 3 °C plus chaude que celle des zones rurales environnantes, et peut s'élever jusqu'à 12 °C de plus à certains endroits, s'avérant ainsi particulièrement menaçante pour les populations urbaines (Oke, 1997, cité dans Oke *et al.*, 2017). Ces différences peuvent être encore plus grandes en comparant les températures de surface d'un ICU intra-urbain; une différence de 17 °C a été répertoriée entre un parc et un stationnement situé à proximité dans l'arrondissement Saint-Laurent (Cavayas et Baudouin, 2008).

Au Québec, les vagues de chaleur de l'été 2010 ont été particulièrement intenses, menant à 3 400 admissions à l'urgence et 280 décès supplémentaires<sup>12</sup> (Bustanza *et al.*, 2013). La saison estivale 2018 a été la plus chaude répertoriée en 146 ans d'observations météorologiques au sud du Québec. Bien que l'excès de mortalité ait été plus faible qu'en 2010, 86 décès supplémentaires<sup>13</sup> sont survenus. Des mesures d'**adaptation** plus ciblées et efficaces pourraient notamment expliquer ces différences. Il n'en demeure pas moins que les répercussions pour le système de santé (hospitalisations, transports ambulanciers et admissions à l'urgence) restent importantes (Lebel *et al.*, 2019).

De nombreuses villes ont mis de l'avant des mesures pour lutter contre les ICU. De telles initiatives protègent la population en augmentant la capacité d'adaptation à de tels phénomènes.

<sup>12</sup> Excès significatif de décès possiblement liés à la chaleur en 2010, comparativement à 2008 et 2009.

<sup>13</sup> Excès significatif de décès possiblement liés à la chaleur en 2018, en comparaison avec la période de 2013 à 2017.

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) souligne qu'en l'absence d'un niveau élevé d'adaptation, la charge de morbidité liée à la chaleur sera accrue dans un contexte de changements climatiques et met en évidence la nécessité d'augmenter les efforts déployés en lien avec les plans d'action sanitaire contre la chaleur (OMS, 2021). L'OMS recommande que l'ensemble des paliers de gouvernement adopte des mesures pour protéger les populations contre la chaleur accablante (McGregor *et al.*, 2015).

## Objectifs

La présente publication est la mise à jour d'une [revue de la littérature](#) portant sur les mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains réalisée en 2009. Son objectif général est d'actualiser la revue de la littérature sur les mesures de lutte contre les ICU afin de partager des informations actuelles et présenter des études de cas illustrant ces différentes mesures. Plus spécifiquement, cette mise à jour vise à :

- Recenser les principaux moyens de lutte contre les ICU dans la littérature scientifique et la littérature grise au cours de la période de 2009 à 2020;
- Répertorier les mesures de lutte contre les ICU selon les 4 grandes catégories de la revue de Giguère (2009), soit : les mesures de végétalisation, les mesures liées aux infrastructures urbaines durables, les mesures de gestion des eaux pluviales et de perméabilité du sol, les mesures de réduction de la chaleur **anthropique**, c'est-à-dire engendrée par les activités humaines, et autres catégories au besoin selon l'évolution des connaissances scientifiques;
- Dresser un portrait des mesures de lutte contre les ICU potentiellement applicables dans un contexte québécois;
- Documenter, à l'aide d'études de cas, des exemples de réalisations de lutte contre les ICU pouvant être prometteuses dans le réseau de la santé et des services sociaux et autres organisations québécoises.

Cette revue s'adresse principalement aux professionnels des directions de santé publique, aux gestionnaires immobiliers du réseau de la santé et des services sociaux et du gouvernement, de même qu'aux intervenants de terrain des organismes à but non lucratif et du secteur municipal. Elle vise à les informer des plus récentes mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains potentiellement applicables au Québec et sur les mesures favorisant le rafraîchissement en milieu urbain, ainsi qu'à les outiller pour prendre des décisions et intervenir auprès des populations les plus vulnérables à la chaleur.

Cette revue des écrits définit d'abord ce qu'est un îlot de chaleur urbain et présente ses principales causes (section 2) ainsi que ses différents impacts (section 3). Les zones sujettes aux ICU au Québec sont également abordées (section 4). Par la suite, la revue répertorie les différentes mesures de lutte contre les ICU adaptées aux villes du Québec selon quatre catégories (section 5) : 1) mesures de verdissement, 2) mesures liées aux infrastructures urbaines durables, 3) mesures de gestion durable des eaux pluviales et 4) mesures de réduction de la chaleur anthropique. La section 5.6 présente un tableau synthèse des différentes mesures de lutte contre les ICU. Enfin, quelques applications de ces mesures réalisées dans différentes villes du Québec sont proposées à titre d'études de cas (section 6).

La méthodologie utilisée afin de repérer les articles scientifiques et les publications provenant de la littérature grise est décrite à l'annexe 1. De même, le processus d'évaluation des différentes revues de la littérature conservées dans le cadre de la présente revue est détaillé à l'annexe 2.

## 2 Îlots de chaleur urbains : définition et causes

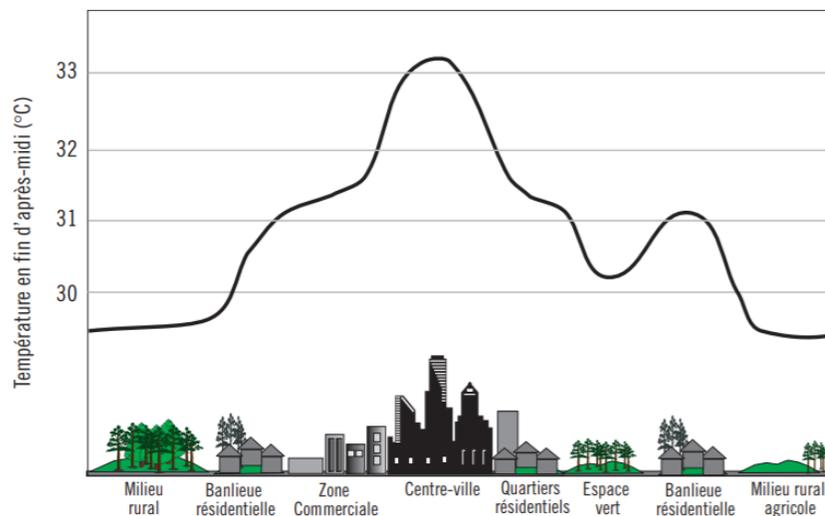
Dans les dernières années, plusieurs études ont montré que l'accroissement de la température au sein des villes, accentué par le phénomène d'ICU, amène d'importantes répercussions négatives sur les dimensions sociales, environnementales et économiques des villes (Akbari *et al.*, 2015). Par conséquent, il s'avère essentiel d'explorer les causes et les impacts des ICU, de même que les stratégies durables visant leur atténuation et à s'y adapter (voir section 2.2).

### 2.1 Définition

La ville dans son ensemble modifie les conditions météorologiques et environnementales, ce qui entraîne des différences entre la ville et sa zone environnante (rurale), notamment en termes de couverture nuageuse, de précipitations, de température de l'air, de vitesse du vent, etc. La géométrie, l'espacement et l'orientation des bâtiments et des espaces extérieurs influencent les conditions météorologiques et environnementales de la ville, qui peuvent varier considérablement sur une distance de quelques mètres. L'un des effets les plus connus de l'influence de l'environnement urbain sur ces conditions est l'effet d'ICU (Kleerekoper *et al.*, 2012).

L'expression « îlot de chaleur urbain » signifie la différence de température observée entre les milieux urbains et les zones rurales environnantes. Les observations ont démontré que la température de l'air des centres urbains peut atteindre jusqu'à 12 °C de plus que les régions limitrophes (voir figure 1) (Oke, 1997, cité dans Oke *et al.*, 2017).

**Figure 1** Profil d'un îlot de chaleur urbain



Source : Ressources naturelles Canada (2004).

Trois types d'ICU sont distingués dans la littérature, soit :

- les îlots de chaleur à la surface du sol : grâce à des lectures de rayons infrarouges émis et réfléchis par les surfaces, il est possible de déceler où sont situées les surfaces les plus chaudes d'une ville;
- les îlots de chaleur de la canopée urbaine, qui est la couche d'air comprise entre le sol et la cime des arbres, ou des toitures des bâtiments, où l'essentiel de l'activité humaine se déroule;
- les îlots de chaleur de la couche limite urbaine, située au-dessus de la couche de la canopée.

Les îlots de chaleur de la canopée urbaine et de la couche limite urbaine font référence à la température de l'air (Oke, 1982; Voogt, 2002).

L'intensité des ICU change sur une base quotidienne et saisonnière en fonction des différents paramètres météorologiques et anthropiques présentés à la section 2.2. En général, l'intensité des îlots de chaleur de la canopée urbaine est plus forte la nuit que le jour (Pigeon *et al.*, 2008; Oke, 2009; Oke *et al.*, 2017; Filho *et al.*, 2017).

## 2.2 Causes

---

En plus du climat local, influencé par différents paramètres météorologiques comme la température, l'humidité relative et le vent, plusieurs causes de source anthropique favorisent l'émergence et l'intensification des ICU. Ces causes sont les émissions de GES, la perte progressive du couvert forestier et végétal dans les milieux urbains, l'imperméabilité et les bas **albédos** des matériaux, les propriétés thermiques des matériaux, la **morphologie urbaine** et la taille des villes, ainsi que la chaleur anthropique.

### 2.2.1 ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Les GES retiennent l'énergie solaire dans l'atmosphère et participent ainsi à son réchauffement. Selon le GIEC, « si elles se poursuivent, les émissions de GES provoqueront un réchauffement supplémentaire et une modification durable de toutes les composantes du système climatique, ce qui augmentera la probabilité de conséquences graves, généralisées et irréversibles pour les populations et les écosystèmes ». Il ajoute qu'il « est très probable que la fréquence et la durée des vagues de chaleur augmenteront et que les précipitations extrêmes vont devenir plus intenses et plus fréquentes dans de nombreuses régions » (GIEC, 2015). Selon les projections climatiques d'Ouranos, le Québec fait partie de ces régions (Ouranos, 2020). En 2018, au Québec, les émissions totales de GES produits par l'activité humaine correspondaient à 80,6 millions de tonnes en équivalent en dioxyde de carbone (Mt éq. CO<sub>2</sub>), soit 11,1 % des émissions canadiennes qui s'élevaient à 729,3 Mt éq. CO<sub>2</sub>. Pour cette même année, le Québec avait le plus faible taux d'émission de GES par habitant des provinces et territoires canadiens, et 93,3 % de la production totale d'électricité provenait de l'hydroélectricité. Au Québec, en milieux urbains, les sources d'émission de GES sont principalement les véhicules, les procédés industriels et la combustion industrielle, ainsi que le chauffage des immeubles à l'aide de combustibles fossiles (Delisle *et al.*, 2020). Les GES contribuant au réchauffement planétaire, un taux d'émission de GES plus faible pour la province n'implique pas que les ICU sont moins importants sur le territoire québécois.

### 2.2.2 COUVERT FORESTIER DANS LES MILIEUX URBAINS

Devant la perte progressive de la forêt urbaine, les villes se sont mises à adopter des plans de reboisement : les politiques de l'arbre se sont multipliées dans les municipalités du Québec et les engagements locaux de plantation foisonnent. Toutefois, ces initiatives ne portent pas fruit instantanément et l'étalement urbain se poursuit à un rythme croissant en parallèle. Notamment, l'étalement urbain dans les régions métropolitaines de recensement de Montréal et de Québec a augmenté rapidement et de façon plus drastique au cours des 25 dernières années (Nazarnia *et al.*, 2016). Ainsi, un léger fléchissement de l'indice de canopée métropolitain de Montréal a été observé de 2017 à 2019 (Communauté métropolitaine de Montréal, 2020). Pour le grand Montréal, l'indice de canopée est ainsi passé de 26,2 % à 26 % sur cette période, soit une diminution de 764 hectares (Communauté métropolitaine de Montréal, 2021).

La perte de couvert forestier en milieu urbain est attribuable en grande partie à l'étalement urbain (développement résidentiel, commercial ou industriel) et à l'absence de protection adéquate du couvert végétal. Les espèces plantées en ville, notamment les espèces dominantes, partagent souvent les mêmes caractéristiques (traits fonctionnels), ce qui a comme conséquence de diminuer la résilience de la forêt urbaine, les espèces étant sensibles aux mêmes types de stress (Paquette, 2016). Au Québec, comme ailleurs, des insectes et des maladies ont aussi décimé certaines populations d'arbres, notamment le frêne et l'orme. L'agrile du frêne, un insecte s'attaquant indifféremment à toutes les espèces de frênes et les décimant en quelques années seulement, a amené la disparition de plusieurs frênes sur rue, dans les parcs et les terrains privés des centres urbains (Communauté métropolitaine de Montréal, 2020). Selon une étude américaine réalisée dans 15 États en observation sur une période de 5 ans, l'agrile du frêne a engendré la perte de 100 millions d'arbres et a été responsable de 6 113 décès supplémentaires en raison de maladies respiratoires et 15 080 décès reliés à des maladies cardiovasculaires (Donovan *et al.*, 2013). Les changements climatiques amènent également un stress supplémentaire sur les arbres des milieux urbains qui sont déjà soumis à un stress continu (p. ex., compactage du sol, manque d'espace) et sont susceptibles d'affecter négativement les services écosystémiques rendus par les arbres, notamment la multitude d'avantages qu'ils offrent pour la qualité de vie des citoyens (Paquette, 2016).

Cette perte de végétation implique une perte de fraîcheur en milieu urbain. En effet, la végétation joue un rôle essentiel de protection contre la chaleur grâce au phénomène d'évapotranspiration et d'ombrage des sols et des bâtiments. Au cours du processus naturel d'évapotranspiration de la vapeur d'eau, l'air ambiant se refroidit en cédant une partie de sa chaleur pour permettre l'évaporation. La végétation participe également à une bonne gestion des eaux pluviales et à une meilleure qualité de l'air dans les villes (Bolund et Hunhammar, 1999; Akbari *et al.*, 2001; English *et al.*, 2007; Cavayas et Baudouin, 2008; Gago *et al.*, 2013).

### 2.2.3 IMPERMÉABILITÉ DES SOLS

L'intensification de l'urbanisation des dernières décennies a aussi provoqué la modification des types de recouvrement des sols. Les sols naturels ont été remplacés par des matériaux imperméables, comme l'asphalte, et les matériaux utilisés pour la construction des bâtiments qui, n'assurant pas de fonctions de filtration et d'absorption de l'eau, modifient le parcours naturel des eaux pluviales (Rushton, 2001; Mailhot et Duchesne, 2005; Coutts *et al.*, 2010; Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs [MDDEFP] et ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire [MAMROT], s. d.; Dagenais *et al.*, 2014). En effet, dans un quartier de haute densité, le taux de ruissellement peut s'élever jusqu'à 55 %, tandis qu'en milieu naturel, il est d'environ 1 à 10 % (Puget Sound Action Team et Washington State University Pierce

County Extension, 2012, Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 2001, cité dans David, 2017).

Les processus naturels rafraîchissants, comme l'évaporation de l'eau contenue dans les sols et l'évapotranspiration de la végétation, sont ainsi restreints et ne peuvent pallier le réchauffement urbain (Brattebo et Booth, 2003, UCAR, 2011, cité dans Filho *et al.*, 2017). De plus, les revêtements imperméables contribuent à la contamination des cours d'eau récepteurs par :

- le ruissellement qui entraîne de nombreux polluants, tels que les hydrocarbures et les pesticides;
- les débordements d'égouts causés par les pluies intenses;
- l'érosion des berges due à la grande vitesse du ruissellement (Dagenais *et al.*, 2014).

Selon les scénarios climatiques, ces effets néfastes risquent d'être amplifiés pour le sud du Québec, où les villes connaîtront des épisodes de pluies plus abondantes (Ouranos, 2020).

#### 2.2.4 PROPRIÉTÉS THERMIQUES DES REVÊTEMENTS

Les matériaux couramment utilisés dans la construction de chaussées et de toitures, à savoir le béton et l'asphalte, ont des propriétés thermiques (y compris la **capacité thermique** et la conductivité thermique) et des propriétés radiatives de surface (albédo et émissivité) significativement différentes par rapport aux zones rurales ambiantes (Aflaki *et al.*, 2017). Les revêtements imperméables et les matériaux des bâtiments influencent le microclimat et les conditions de confort thermique, car ils absorbent beaucoup de chaleur durant le jour, qu'ils rediffusent dans l'atmosphère pendant la nuit, contribuant ainsi à l'effet d'ICU (Asaeda *et al.*, 1996; Fernández *et al.*, 2015). Certains matériaux à bas albédo peuvent atteindre des températures de 80 °C en été (Liébard et De Herde, 2005; Li *et al.*, 2013). L'utilisation dans les paysages urbains de matériaux emmagasinant la chaleur, jumelée au manque d'évapotranspiration (par exemple en raison de la faible présence de zones végétalisées), contribue ainsi à l'apparition de l'ICU (Chen *et al.*, 2009, O'Malley *et al.*, 2015, Schrijvers *et al.*, 2015, Smith et Levermore, 2008, cité dans Aflaki *et al.*, 2017).

#### 2.2.5 MORPHOLOGIE ET TAILLE DES VILLES

La morphologie urbaine, qui se rapporte aux formes tridimensionnelles, à l'orientation et à l'espacement des bâtiments dans une ville, joue également un rôle dans la formation des ICU (United States Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 2008b; Touchaei et Wang, 2015; Aflaki *et al.*, 2017; Valladares-Rendón *et al.*, 2017). L'existence d'immeubles en hauteur dans les grandes villes peut offrir de multiples surfaces pour la réflexion et l'absorption des radiations solaires et est susceptible d'accentuer la chaleur dans les zones urbaines (Fernández *et al.*, 2015). L'amplitude de l'ICU est étroitement liée à la taille de la ville (Imhoff *et al.*, 2010). De plus, les quartiers densément construits et les rues étroites réduisent le flux d'air et les effets de rafraîchissement naturel en retenant et en empêchant la chaleur de monter vers le ciel (UCAR, 2011, cité dans Filho *et al.*, 2017; Lai *et al.*, 2019). La morphologie urbaine est généralement quantifiée par les paramètres suivants : le **facteur de vue du ciel** pour les espaces irréguliers et complexes ou encore par le rapport hauteur des bâtiments/largeur de la rue et l'orientation des canyons de rue (Lai *et al.*, 2017). Le facteur de vue du ciel est un nombre sans dimension allant de 0 à 1, représentant la quantité de ciel dégagé vu d'un point donné (Oke, 1988, cité dans Lai *et al.*, 2019). Une valeur faible du facteur de vue du ciel indique une plus grande obstruction du ciel par des éléments urbains comme des bâtiments et des arbres, ce

qui limite l'entrée de **rayonnement solaire** et favorise la rétention de rayonnement de grandes longueurs d'onde<sup>14</sup> émises par les surfaces urbaines (Lai *et al.*, 2019).

### 2.2.6 CHALEUR GÉNÉRÉE PAR LES ACTIVITÉS HUMAINES

La chaleur générée par les activités humaines, comme la chaleur émise par les véhicules, les climatiseurs et l'activité industrielle, est un autre facteur contribuant à l'effet d'ICU (U.S. EPA, 2008b; Yang *et al.*, 2016; UCAR, 2011, cité dans Filho *et al.*, 2017). Un tel apport additionnel de chaleur résultant de la consommation humaine en énergie est communément appelé « chaleur anthropique » (Dong *et al.*, 2017). L'augmentation des températures, résultant de l'émission de chaleur anthropique, pourrait amener une demande d'énergie croissante pour le rafraîchissement, notamment via la climatisation, qui conduit à son tour à une plus grande émission de chaleur anthropique (Crutzen, 2004, cité dans Dong *et al.*, 2017). Il a été mis en évidence que la chaleur anthropique des secteurs des transports et du bâtiment dépend de la densité de la population (Flanner, 2009, Allen *et al.*, 2011, cité dans Dong *et al.*, 2017).

---

<sup>14</sup> Le rayonnement solaire reçu par la Terre est composé d'ondes électromagnétiques de courtes longueurs d'onde, dont une partie (environ 30 %) est réfléchi vers l'espace. Le rayonnement non réfléchi (environ 70 %) est absorbé en partie par l'atmosphère (23 %) et en partie par la surface terrestre (47 %), qui est ainsi chauffée. L'énergie absorbée par les surfaces est réémise sous forme de rayonnement électromagnétique de grande longueur d'onde, c'est-à-dire dans l'infrarouge thermique (Termium Plus, 2021).



## 3 Impacts des îlots de chaleur urbains

Les ICU peuvent avoir des impacts néfastes sur l'environnement et la santé humaine en période de fortes chaleurs.

### 3.1 Impacts sur l'environnement

---

#### 3.1.1 DÉTÉRIORATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR EXTÉRIEUR

Les ICU contribuent à la formation du smog estival. Le smog est un mélange composé de particules fines et d'ozone troposphérique, lequel est formé par la réaction des polluants (oxydes d'azote) et des composés organiques volatils en présence de rayons du soleil et de chaleur. En effet, une plus grande quantité de polluants est libérée en présence de chaleur, accentuant ainsi la formation du smog. La pollution de l'air et les vagues de chaleur sont deux phénomènes qui s'influencent l'un l'autre (Reeves, 2011). Selon une étude de Akbari (2005) du Heat Island Group, 20 % de la concentration de smog dans les aires urbaines serait attribuable à l'effet d'ICU. L'augmentation de la température de l'air qui en résulte peut avoir un impact néfaste sur les microclimats dans les villes par rapport aux zones rurales (O'Malley *et al.*, 2015; Radhi *et al.*, 2015), notamment par la formation d'ozone troposphérique (Kleerekoper *et al.*, 2012) et le changement des microclimats et macroclimats locaux (c'est-à-dire les modèles de vent, les changements d'humidité, les tempêtes, les inondations et les changements dans les écosystèmes locaux) qu'elle peut engendrer (O'Malley *et al.*, 2015). Toutes les stratégies d'atténuation de l'ICU, à travers la réduction des températures urbaines, peuvent affecter directement la qualité de l'air extérieur urbain. Par exemple une température de l'air plus basse peut ralentir la production photochimique de polluants comme l'ozone (Taha, 1997, cité dans Aflaki *et al.*, 2017).

#### 3.1.2 DÉTÉRIORATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Dans un contexte de changements climatiques, la chaleur accrue et l'humidité élevée peuvent affecter la qualité de l'air intérieur. En effet, des conditions de température et d'humidité élevées, lorsqu'elles sont persistantes, peuvent induire le dégazage de composés organiques volatils comme le formaldéhyde ou provoquer une prolifération d'organismes indésirables comme les moisissures et les acariens. De telles conditions peuvent aussi causer des problèmes importants d'inconfort thermique (voir section [3.2.1](#)) lorsqu'elles ne sont pas contrôlées (Poulin *et al.*, 2016).

#### 3.1.3 HAUSSE DE LA DEMANDE EN ÉNERGIE

Les besoins de rafraîchissement de l'air intérieur et de réfrigération peuvent générer une hausse de la demande en énergie, ayant comme conséquence l'émission de GES selon la source d'énergie employée (Voogt, 2002). Une augmentation de 2 °C induite par les ICU peut accroître de 5 % la consommation énergétique (Anquez et Herlem, 2011).

#### 3.1.4 HAUSSE DE LA DEMANDE EN EAU POTABLE

En raison des ICU, une hausse de la demande en eau potable, pour se rafraîchir (p. ex., piscines et jeux d'eau) ou pour arroser les aménagements végétalisés, est probable (Balling *et al.*, 2008). La ville de Québec mentionne d'ailleurs que l'été, en période de fortes chaleurs, la consommation d'eau potable peut augmenter de 40 % (Ville de Québec, 2021). Cette hausse de la demande en eau potable peut notamment occasionner des pressions sur les infrastructures, une vulnérabilité des sources d'eau potable et restreindre la recharge des nappes d'eaux souterraines.

## 3.2 Impacts sur la santé

---

La chaleur accablante, accentuée par les ICU, pourrait augmenter le nombre de maladies et de décès attribuables à celle-ci. Au Québec, comme ailleurs au Canada et dans plusieurs pays, les secteurs défavorisés ont tendance à être soumis à des températures moyennes plus élevées par rapport aux quartiers plus aisés, car ils sont souvent situés dans des îlots de chaleur intra-urbains, où les espaces verts sont insuffisants (Bélanger *et al.*, 2015). De même, les personnes situées dans les îlots de chaleur micro-urbains, et qui sont plus susceptibles d'être exposées à des températures plus élevées, présentent un risque plus important de mortalité pendant les chaudes journées d'été (Smargiassi *et al.*, 2009). Des chercheurs ont estimé l'augmentation des décès liés aux périodes de chaleur au Canada de 2031 à 2080 comparativement à la période de 1971 à 2020; elle variait de 45 % à 455 % en fonction des différents scénarios considérant le taux d'émission de GES, la croissance démographique et la mise en œuvre de mesures d'adaptation (Guo *et al.*, 2018, cité dans Santé Canada, 2020).

Les ICU peuvent aggraver les effets des grandes chaleurs, lesquelles peuvent provoquer des effets directs sur la santé, comme la déshydratation, l'hyperthermie, le syndrome d'épuisement par la chaleur ou, encore, le coup de chaleur. Des effets indirects peuvent aussi venir aggraver une maladie sous-jacente comme le diabète, les pathologies chroniques débilantes, l'insuffisance respiratoire ainsi que les maladies cardiovasculaires, cérébrovasculaires, neurologiques et rénales, au point de causer la mort (Santé Canada, 2012; Bélanger *et al.*, 2019). En général, le surcroît de morbidité-mortalité lié aux ICU est estimé à 20-25 % (Smargiassi *et al.*, 2009; Bélanger *et al.*, 2015).

L'ampleur et la gravité des impacts sanitaires négatifs liés aux épisodes de chaleur intense touchent particulièrement les populations vulnérables, dont les plus défavorisées vivant en milieu urbain. Les risques sont amplifiés par des logements de mauvaise qualité souvent situés dans des zones exposées à la chaleur, ainsi que par le manque d'infrastructures (p. ex., parcs, piscines) et de services essentiels, comme les services médicaux. Au Québec, les zones défavorisées sont souvent associées à des espaces verts plus petits et à une distance plus grande entre le lieu de résidence et ces espaces plus frais. Les facteurs influençant les températures intérieures (p. ex., qualité de l'isolation thermique afin de faire face aux températures estivales) sont également à prendre en compte, car la variation de température entre les logements par temps chaud est importante. Ces écarts entre les logements seraient même généralement plus importants que ceux résultant de l'impact de l'ICU (Bélanger *et al.*, 2015).

Certaines personnes sont davantage vulnérables à la chaleur : les personnes atteintes de maladies chroniques (p. ex., maladies respiratoires et cardiovasculaires, diabète, etc.), les personnes vivant seules ou en perte d'autonomie, les personnes en mauvaise condition physique ou en surplus de poids, celles ayant un accès limité à des endroits frais ou climatisés, les nourrissons et jeunes enfants (0-4 ans), les personnes qui pratiquent des activités physiques intenses, les travailleurs dans des milieux à température élevée, les femmes enceintes et leur fœtus, les personnes utilisant certains médicaments (p. ex., diurétiques, immunosuppresseurs) et les personnes ayant des problèmes de consommation d'alcool ou de drogues (Bustinza et Demers-Bouffard, 2021). Enfin, les personnes âgées, dont la proportion représentera le tiers de la population au Québec en 2056 (Institut de la statistique du Québec, 2019), sont plus à risque lors d'épisodes de chaleur extrême. Il en va de même pour les personnes souffrant de troubles de santé mentale, ayant un faible revenu socio-économique ou n'ayant pas les moyens financiers de mettre en place des mesures d'adaptation (comme la climatisation) (Santé Canada, 2012; Bélanger *et al.*, 2019; Rebetz *et al.*, 2009, cité dans Leal Filho *et al.*, 2018). De plus, une étude a démontré que la capacité du corps à dissiper la chaleur diminuait dès 40 ans (Larose *et al.*, 2013). Ainsi, le cumul d'une forte exposition et de plusieurs

vulnérabilités préalables est un facteur contribuant à accentuer le risque de subir des effets négatifs liés à la chaleur.

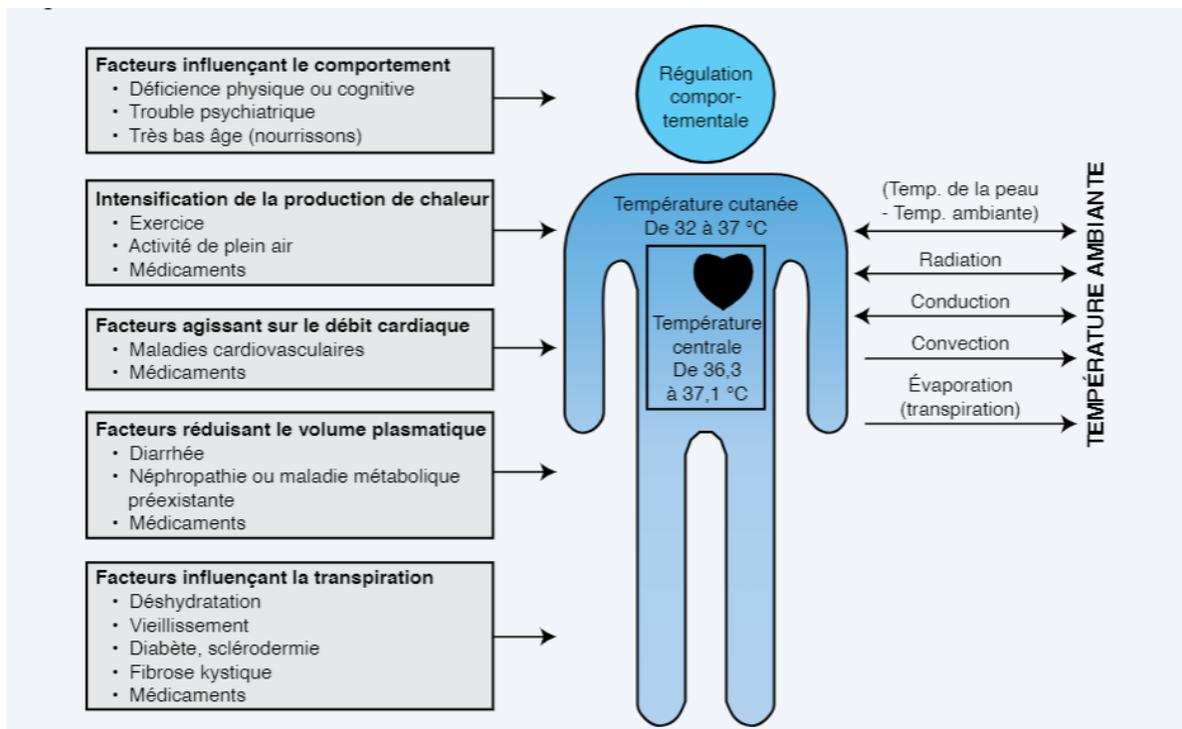
Pour lutter contre ces impacts sanitaires, les agences de santé, sur recommandation de l'OMS, ont mis en place à travers le monde divers programmes de lutte contre les effets de la chaleur accablante et de prévention des ICU, y compris au Québec (voir section 6.2).

### 3.2.1 CONFORT THERMIQUE

L'augmentation de l'intensité des ICU peut affecter négativement le bien-être des citoyens de diverses manières (voir figure 2), notamment en altérant le système thermorégulateur (Kleerekoper *et al.*, 2012; Rydin *et al.*, 2012). Afin de réduire la vulnérabilité individuelle et d'assurer un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique, les températures ambiantes ne doivent être ni trop basses ni trop élevées. La température corporelle, d'environ 37 °C, est maintenue grâce aux apports de calories fournies par la nourriture et aux échanges de chaleur avec l'environnement immédiat. « Quatre phénomènes distincts favorisent la perte de chaleur vers l'environnement :

- la radiation, par transfert d'énergie électromagnétique sous forme d'infrarouges;
- la **convection**, au moyen de l'air ou de l'eau en contact avec la peau;
- la conduction, par contact direct de la peau avec un objet plus froid qu'elle;
- l'évaporation, par la sudation. » (Bélangier *et al.*, 2019)

**Figure 2 Facteurs nuisant à la thermorégulation humaine et contribuant aux maladies**



Source : adaptée de l'OMS (2008), cité dans Bélangier *et al.* (2019).

Le confort thermique est propre à chacun. Cependant, il est possible de spécifier un intervalle de température acceptable pour un pourcentage élevé de personnes. Ainsi, pour 90 % des gens, cet intervalle se situerait entre 20 et 23,5 °C (Levasseur et Leclerc, 2017). La température maximale à l'intérieur des bâtiments en période estivale devrait se situer entre 24 et 26,5 °C, tandis qu'en hiver elle devrait être entre 20 et 24 °C. Une humidité relative se situant entre 30 et 50 % devrait être maintenue, mais pourrait varier selon la période de l'année (Levasseur *et al.*, 2020).

Des valeurs seuils de chaleur extrême ont été définies pour les régions sociosanitaires au Québec (voir tableau 1). Ces seuils correspondent à un risque de mortalité plus élevé ( $\geq 50$  % en excès) comparativement à la moyenne historique prise sur 30 ans. Une vague de chaleur correspond à une période d'au moins 3 jours consécutifs pendant laquelle les moyennes des températures maximales et minimales observées atteignent les valeurs seuils de chaleur extrême définies. Une période très chaude peut tout de même être qualifiée de vague de chaleur même si elle n'atteint pas les seuils extrêmes, car ces derniers sont utilisés pour la gestion des plans d'urgence.

**Tableau 1 Valeurs seuils de chaleur extrême et stations météorologiques de référence par région sociosanitaire**

Région sociosanitaire	Valeurs seuils de chaleur extrême		Station météorologique de référence
	Temp. max. (°C)	Temp. min. (°C)	
01 Bas-Saint-Laurent	31	16	Amqui
02 Saguenay–Lac-Saint-Jean	31	18	Bagotville
03 Capitale-Nationale	31	18	Jean-Lesage
04 Mauricie-et-Centre-du-Québec	31	18	Nicolet
05 Estrie	31	18	Lennoxville
06 Montréal	33	20	Montréal-Trudeau
07 Outaouais	31	18	Ottawa
08 Abitibi-Témiscamingue	31	18	Val-d'Or
09 Côte-Nord	31	16	Baie-Comeau
10 Nord-du-Québec	31	16	Matagami
11 Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	31	16	Gaspé
12 Chaudière-Appalaches	31	18	Beauceville
13 Laval	33	20	Montréal-Trudeau
14 Lanaudière	33	20	L'Assomption
15 Laurentides	33	20	Lachute
16 Montérégie	33	20	Saint-Hubert
17 Nunavik	31	16	Kuujuak
18 Terres-Cries-de-la-Baie-James	31	16	Matagami

Source : Environnement et Changement climatique Canada, cité dans Lebel *et al.*, 2019.

### 3.2.2 AU-DELÀ DE LA CLIMATISATION

La climatisation, par le refroidissement de l'air qu'elle induit, permet également d'abaisser l'humidité de l'air intérieur et améliore ainsi le confort thermique des occupants (Gervais *et al.*, 2016). Afin d'assurer un confort thermique en période estivale, la climatisation peut être employée dans divers types de milieux intérieurs tels que le domicile, les lieux publics et de travail, les véhicules, etc.

Cependant, cette solution ne se transpose pas seulement en avantages et ne devrait pas être la seule considérée. En effet, en plus de la grande demande énergétique qu'elle engendre, une climatisation accrue et généralisée en milieu urbain peut entraîner des impacts accentuant l'ICU. De façon générale, la climatisation à grande échelle peut occasionner :

- une grande demande en énergie, en particulier aux heures de pointe, ce qui va à l'encontre des principes d'efficacité énergétique (Déoux et Déoux, 2004). En effet, plus de la moitié (56 %) des ménages québécois possédait un appareil de climatisation à domicile (tous types confondus) en 2017 (Statistique Canada, 2019);
- la production de chaleur anthropique par extraction de l'air chaud de l'intérieur du bâtiment vers l'extérieur. De plus, le processus de climatisation (compression et condensation) émet de la chaleur (Gervais *et al.*, 2016);
- l'émission de GES (hydrochlorofluorocarbures [HCFC], hydrofluorocarbures [HFC]) causée par l'utilisation de fluides frigorigènes nocifs pour le fonctionnement des climatiseurs (United Nations Environment Programme et International Energy Agency, 2020). Afin de réduire l'apport des halocarbures au bilan des GES, un nouveau règlement a été adopté visant à limiter de façon progressive l'utilisation des HFC sur le territoire québécois (MELCC, 2021b);
- la dégradation potentielle de la qualité de l'air et ses conséquences sur la santé humaine, principalement en raison du risque de dissémination des bactéries *Legionella*, associées surtout aux climatiseurs industriels et aux tours de refroidissement à l'eau servant notamment à climatiser les bâtiments (Déoux et Déoux, 2004; Gervais *et al.*, 2016; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010);
- de la pollution sonore, créée par certains systèmes de climatisation (p. ex., dispositif portable ou de fenêtre), le climatiseur représentant l'une des sources de bruit qui dérange le plus les Québécois de 15 ans et plus (Camirand *et al.*, 2016);
- une réduction de la capacité d'adaptation à la chaleur (Gervais *et al.*, 2016);
- l'introduction d'insectes lorsqu'il y a présence d'interstices (manque d'étanchéité) (Ressources naturelles Canada, 2020).

À ce jour, la climatisation semble souvent envisagée comme une solution de premier choix. D'après une étude réalisée par l'Observatoire québécois de l'adaptation aux changements climatiques, les personnes âgées de plus de 60 ans, comparativement à celles âgées de 18 à 59 ans, reconnaissent plus difficilement l'adoption d'un ou de plusieurs comportements d'adaptation à la chaleur comme un moyen de diminuer les conséquences négatives de la chaleur sur leur santé physique et mentale (Valois *et al.*, 2018). Ainsi, la climatisation apparaît utile et essentielle, surtout pour les personnes vulnérables ayant très peu de capacité à s'adapter à la chaleur (p. ex., les personnes âgées ou souffrant de maladies chroniques) (Jacques et Kosatsky, 2005).

Il a été observé que les unités de climatisation (p. ex., mobiles ou installées dans une fenêtre) étaient moins efficaces que les climatiseurs centraux pour réduire les risques à la santé, excepté pour les petits volumes d'air (p. ex., logements d'une à trois pièces). La taille des logements aurait ainsi une influence sur l'efficacité de certains types de climatiseurs (Rogo *et al.*, 1992, Shah, 2014, cité dans Gervais *et al.*, 2016). À la lumière des conséquences de l'utilisation de la climatisation à grande échelle, dont certaines ont été rapportées ci-dessus, il s'avère important d'envisager des solutions plus durables tant pour l'environnement que pour la santé des générations actuelles et futures. Ces solutions doivent tenir compte de considérations qui toucheront à la fois les causes du changement climatique et les façons de s'y adapter (McEvoy *et al.*, 2006; Gervais *et al.*, 2016).

## 4 Îlots de chaleur urbains au Québec

### 4.1 Zones sujettes aux îlots de chaleur urbains

La zone géographique concernée par la problématique d'ICU est la partie sud du Québec sujette à la tropicalisation de ses périodes estivales (Bourque et Simonet, 2008). En effet, les villes situées dans cette région du Québec ont un climat estival qualifié de continental humide. Les ICU peuvent être détectés en mesurant la température des surfaces par satellite afin de cartographier ces zones à petite échelle (Bureau de normalisation du Québec, 2013). Afin de déterminer précisément où sont situés les ICU de surface, un [outil cartographique](#) a été développé par le Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy. Cet outil, dont une mise à jour est prévue en 2022, permet de localiser les zones d'ICU sur le territoire du Québec dans des secteurs qui possèdent une densité minimale de 400 habitants par kilomètres carrés (Bureau de normalisation du Québec, 2013). Il est également possible de détecter les ICU par des méthodes de calcul de la température de l'air à 2 mètres de hauteur plutôt qu'en surface, bien que ceci nécessite une grande puissance de calcul (Gachon *et al.*, 2016).

Les changements climatiques vont considérablement modifier les normales climatiques. La température annuelle moyenne et la fréquence de journées chaudes vont augmenter dans de nombreuses régions de la province (voir tableau 2). La problématique des ICU au Québec est donc une réalité pour bon nombre de villes québécoises.

**Tableau 2** Températures annuelles moyennes et nombre de jours de plus de 30 °C par an, pour trois périodes différentes, selon deux scénarios climatiques

	Ville	Période 1981-2010	Période 2041-2070		Période 2071-2100	
			Scénario d'émissions modérées (RCP 4.5)	Scénario d'émissions élevées (RCP 8.5)	Scénario d'émissions modérées (RCP 4.5)	Scénario d'émissions élevées (RCP 8.5)
<b>Température annuelle moyenne (°C)</b>	Montréal	7,17	9,61	10,32	10,31	12,92
	Québec	5,1	7,5	8,3	8,4	11,0
	Trois-Rivières	5,3	7,8	8,5	8,5	11,2
	Drummondville	6,0	8,44	9,14	9,19	11,81
	Rimouski	4,0	6,2	7,1	7,1	9,9
<b>Nombre de jours de plus de 30 °C</b>	Montréal	12,3	32,4	42,8	38,1	76,4
	Québec	5,2	18,5	27,2	23,2	54,6
	Trois-Rivières	5,9	20,8	28,9	25,1	61,9
	Drummondville	8,2	23,1	33,1	28,3	64,4
	Rimouski	1,5	5,9	9,7	8,0	25,9

Source : Ouranos (2020).



## 5 Mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains

### 5.1 Généralités

---

Les mesures de lutte contre les ICU sont nombreuses et leur implantation concerne divers domaines d'expertise, dont l'urbanisme, l'ingénierie, l'architecture, l'architecture de paysage, la gestion des ressources naturelles et les transports. Elles ont une incidence positive tant sur le climat local que sur le climat global. En plus de viser le rafraîchissement des milieux urbains, ces mesures engendrent de nombreux cobénéfices environnementaux, notamment la réduction de la demande en énergie, la diminution à la source de la pollution de l'eau et de l'air (incluant la réduction des émissions de GES), de même qu'une meilleure gestion des eaux pluviales et l'augmentation de la biodiversité urbaine. Les cobénéfices sur la santé sont également largement étudiés et rapportés, ainsi que les retombées en matière de mobilisation sociale, d'éducation relative à l'environnement (Beaudoin *et al.*, 2017) ou d'appartenance sociale (Beaudoin et Gosselin, 2016).

Les sections suivantes présentent les mesures de lutte contre les ICU ainsi que leur efficacité en termes de rafraîchissement en milieu urbain, lorsque rapporté dans la littérature. Afin de les associer directement aux causes des ICU précédemment mentionnées, ces mesures ont été regroupées en cinq catégories :

- les mesures de végétalisation et de fraîcheur;
- les mesures liées aux infrastructures urbaines durables (architecture et aménagement du territoire);
- les mesures de gestion durable des eaux pluviales;
- les mesures de réduction de la chaleur anthropique.

Il est à noter que les mesures d'atténuation de l'ICU sont plus efficaces en combinaison les unes avec les autres (Mohajerani *et al.*, 2017). De même, il n'existe pas de solution universelle en matière de lutte contre les ICU; le choix d'une mesure en particulier doit permettre de répondre aux besoins du milieu et de prendre en compte les aspects économiques, sociaux et environnementaux.

### 5.2 Mesures de verdissement

---

Plusieurs études font état de l'importance primordiale de la végétalisation et de la préservation des espaces verts et boisés actuels afin de lutter contre l'effet d'ICU dans un contexte d'urbanisation croissante (Heisler *et al.*, 1994; Taha *et al.*, 1996; Mcpherson *et al.*, 2005; Solecki *et al.*, 2005; Aflaki *et al.*, 2017; Besir et Cuçe, 2018; Aram *et al.*, 2019). En effet, la végétation permet de créer de la fraîcheur par différents processus, plus précisément :

- l'ombrage saisonnier des infrastructures;
- l'évapotranspiration;
- la minimisation des écarts de température au sol.

La végétation offre également d'autres avantages intéressants et complémentaires en milieu urbain, dont :

- l'amélioration de la qualité de l'air par la production d'oxygène, la captation du CO<sub>2</sub>, la filtration des particules en suspension et la réduction de la demande énergétique liée à la climatisation;

- l'amélioration de la qualité de l'eau grâce à la rétention et à la filtration de l'eau de pluie dans le sol et le contrôle de l'érosion des sols;
- l'absorption de la pollution sonore locale;
- le maintien de la biodiversité dans les villes;
- l'amélioration de l'aspect esthétique des villes;
- des bienfaits pour la santé de la population, y compris la protection contre le rayonnement ultraviolet (UV), la réduction du stress dû à la chaleur, l'amélioration du bien-être psychologique en raison de la présence de végétation et la disponibilité de lieux pour faire de l'activité physique (Beaudoin *et al.*, 2017).

Au Québec, la végétation choisie pour protéger les bâtiments du rayonnement solaire estival doit avoir un feuillage caduc (perte du feuillage pendant une partie de l'année), mais peu de branchage pour réduire l'ombrage au minimum pendant les autres saisons, lorsque le gain solaire est souhaité (Écohabitation, 2020a). En effet, les effets de l'ombrage des arbres sur la demande de chauffage hivernal peuvent être importants avec les arbres à feuillage non caduc (McPherson, 1994, cité dans Kleerekoper *et al.*, 2012). Le choix des espèces aux fins de végétalisation urbaine doit être fait de façon judicieuse afin d'assurer une bonne densité de feuillage. Celui-ci permettra à l'arbre mature de filtrer au moins 60 % du rayonnement solaire. Idéalement, une distance entre la façade des bâtiments et les arbres à maturité est souhaitable, d'une fois et demie à deux fois leur hauteur. S'ils sont situés plus loin, leur ombrage ne cachera pas l'habitation en été, et ils ne protégeront pas du vent en hiver (Écohabitation, 2020a). Les conifères, quant à eux, amènent un rafraîchissement moins important l'été en raison du recouvrement moindre au sol de leur feuillage et limitent la pénétration des rayons solaires en hiver. Toutefois, ils peuvent limiter le refroidissement éolien l'hiver s'ils sont disposés adéquatement. En résumé, aucune mesure de verdissement n'est parfaite en soi, mais leur complémentarité permettra une meilleure adaptation. Chaque mesure devra être évaluée en tenant compte du lieu d'implantation, de la présence d'installations de services publics (Gendron-Bouchard, 2013) et des perturbations climatiques (résistance aux changements climatiques) et anthropiques (conditions d'entretien) (Paquette et Cameron, s.d.; Messier, 2020). Les arbres à grand déploiement devront également être privilégiés (Paquette, 2016).

À ce titre, le choix des arbres doit être effectué de façon judicieuse. Il convient d'éviter les espèces émettrices de composés organiques volatils entrant dans la composition du smog, comme les peupliers, les chênes et les saules (Nowak et Van den Bosch, 2019). De plus, certaines espèces ont un pouvoir allergisant qui peut avoir des impacts sur la santé de la population. Selon Laaidi *et al.* (2011), la pollution atmosphérique et notamment les teneurs élevées en ozone potentialisent l'action des allergènes. En effet, les plantes des milieux urbains, plus stressées, pollinisent davantage, ce qui engendre la fixation de certaines substances polluantes aux particules de pollen et augmente le potentiel allergisant. À ce jour, le potentiel allergène des espèces d'arbres les plus populaires en ville, de même que la réactivité croisée de la plupart des espèces, reste encore largement inconnu ou basé sur des méthodes non documentées. Selon les connaissances actuelles, seules quelques espèces d'arbres produisent du pollen ayant un fort potentiel allergisant, comme les bouleaux et les aulnes (Sousa-Silva *et al.*, 2020, 2021). Selon une récente étude réalisée dans cinq villes ayant des forêts urbaines et des densités de population différentes, dont Montréal, le risque d'exposition au pollen varie de 1 à 74 % pour des arbres considérés comme hautement allergènes dans une même ville. Ces fortes variations du risque allergénique urbain résultent d'une connaissance limitée du potentiel allergénique des pollens d'arbres (Sousa-Silva *et al.*, 2021). Étant donné que le réchauffement climatique risque d'allonger la saison du pollen, il s'avère essentiel d'acquérir une meilleure connaissance des espèces d'arbres ayant un potentiel allergène et de leur distribution dans

les espaces urbains afin de soutenir le verdissement urbain (Sousa-Silva *et al.*, 2020). D'ici là, des forêts urbaines diversifiées offriront une stratégie potentiellement plus sûre visant à diluer les sources de pollen allergène dans les villes (Sousa-Silva *et al.*, 2021).

Il est par ailleurs primordial d'adapter le choix des essences en fonction de l'espace disponible. Hydro-Québec propose un [outil en ligne](#) afin de sélectionner les bons arbres et arbustes en fonction de la distance avec les lignes électriques. Le choix d'espèces indigènes, tolérantes aux variations climatiques du Québec et à la pollution urbaine, est également à privilégier (<https://can-plant.ca/>).

Pour maintenir les services rendus par les forêts urbaines, le développement de pratiques efficaces de gestion des arbres visant à minimiser le risque de mortalité devient ainsi de plus en plus important. Notamment, il s'avère nécessaire d'introduire une plus grande biodiversité dans les villes afin d'éviter la perte du couvert forestier lorsque des espèces sont fragilisées par les manifestations des changements climatiques (inondations, sécheresses, vents violents, etc.) ou d'autres nuisances (insectes ou maladies). En Amérique du Nord, les espèces plantées sont biologiquement très semblables. Une diversité de traits biologiques (rapidité de croissance, résistance à l'ombre, à la sécheresse, aux inondations, etc.) doit être privilégiée afin d'assurer une plus grande diversité fonctionnelle (voir tableau 3) et une meilleure résistance aux différents aléas, en plus de limiter les risques de perte de la canopée. Une diversité verticale doit également être mise en application, en intégrant des herbacées et des arbustes aux plantations d'arbres, ainsi qu'une diversité génétique, en évitant les mêmes cultivars au sein d'une espèce (Paquette, 2016; Paquette *et al.*, 2021).

Les environnements urbains se transforment constamment, et les occasions d'intégrer de la végétation dans les plans de restructuration, de développement ou de revalorisation urbanistiques sont nombreuses. Différentes applications, présentées aux sections suivantes, sont à la portée des municipalités, des entrepreneurs et des citoyens afin de lutter contre les ICU.

## INFRASTRUCTURES VERTES

**+** Les **infrastructures vertes** peuvent se définir comme étant un réseau interconnecté d'espaces verts (naturels ou aménagés) qui sont dispersés sur un territoire urbain. Ils permettent de maintenir les bénéfices fournis à la population par les écosystèmes, notamment en termes de gestion des eaux pluviales, de support à la biodiversité, de purification de l'air, de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, et de régulation des températures urbaines. L'aménagement planifié de trames vertes s'avère ainsi pertinent. Le projet ILEAU (voir section [6.2.2](#)) est un exemple québécois de la mise en place de liens végétalisés sur le territoire montréalais (Rayfield *et al.*, 2016).

**Tableau 3 Grille d'interprétation des groupes fonctionnels**

Groupe	Type fonctionnel	Espèces représentatives
1A	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conifères</li> <li>▪ Généralement tolérants à l'ombre, mais pas à la sécheresse ou aux inondations</li> <li>▪ Mycorhization ECM</li> <li>▪ Graines dispersées par le vent</li> </ul>	Épinettes, sapins, thuyas, pins blancs
1B	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conifères héliophiles</li> <li>▪ Tolérants à la sécheresse (pins)</li> <li>▪ Mycorhization ECM</li> <li>▪ Graines dispersées surtout par le vent</li> </ul>	Pins, mélèzes, genévriers, ginkgos
2A	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Climaciques</li> <li>▪ Tolérants à l'ombre</li> <li>▪ Feuilles larges et minces, croissance moyenne</li> <li>▪ Mycorhization mixte</li> <li>▪ Graines dispersées surtout par le vent</li> </ul>	Érables (la plupart), tilleuls, magnolias, hêtres, ostryers et quelques autres petits arbres
2B	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ressemblent à 2A sauf pour les semences très lourdes et dispersées par gravité</li> <li>▪ Mycorhization AM exclusive</li> </ul>	Maronniers
2C	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grands arbres.</li> <li>▪ Tolérants à l'inondation</li> <li>▪ Mycorhization AM</li> <li>▪ Graines dispersées surtout par le vent</li> </ul>	Ormes (la plupart), frênes, micocouliers, érables rouge, argenté et negundo
3A	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Petits arbres</li> <li>▪ Tolérants à la sécheresse</li> <li>▪ Bois lourd, feuilles épaisses, croissance faible</li> <li>▪ Micorhization AM</li> <li>▪ Graines dispersées surtout par le vent.</li> </ul>	Rosacées (sorbier, poirier, aubépine et amélanchier), lilas
3B	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Moyens arbres</li> <li>▪ Intolérants aux inondations</li> <li>▪ Mycorhization AM</li> <li>▪ Graines dispersées surtout par les animaux</li> </ul>	Grandes Rosacées (cerisier, pommier), catalpas, maackias, autres espèces diverses
4A	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grands arbres</li> <li>▪ Plusieurs tolérants à la sécheresse</li> <li>▪ Semences et bois lourds</li> <li>▪ Mycorhization surtout ECM</li> <li>▪ Graines dispersées par les animaux</li> </ul>	Chênes, noyers, caryers
4B	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grands arbres</li> <li>▪ Tolérants à la sécheresse; intolérants à l'ombre et aux inondations</li> <li>▪ Semences lourdes, feuilles riches</li> <li>▪ Mycorhization surtout AM</li> <li>▪ Graines dispersées par les animaux</li> </ul>	Légumineuses (févier, chicot, robinier, gainier)
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espèces pionnières à très petites semences</li> <li>▪ Tolérants aux inondations</li> <li>▪ Croissance rapide, bois léger</li> <li>▪ Mycorhization mixte (souvent double)</li> <li>▪ Graines dispersées par le vent</li> </ul>	Peupliers, saules, aulnes, bouleaux (sauf jaune)

Source : adapté de Paquette et Cameron (s.d.).

### 5.2.1 AMÉNAGEMENT D'ESPACES VERTS URBAINS

Une stratégie de végétalisation en milieu urbain a pour objectif d'augmenter l'indice global de végétation d'une ville. À cette fin, la végétation peut être disposée ou densifiée dans de nombreux espaces, comme :

- le long des axes de transport (platebandes de rues, ruelles, lignes ferroviaires, autoroutes<sup>15</sup>, etc.);
- sur les terrains publics (parcs, terrains municipaux et gouvernementaux, cours d'école, cours de centres de la petite enfance, etc.);
- sur les terrains privés (pourtours de bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels, ruelles, etc.) (Conseil régional de l'environnement de Montréal, 2010).

Concernant les aménagements, qu'il s'agisse de plantations uniformément réparties, en rangs parallèles ou concentriques, il est possible de placer les espèces les plus tolérantes au sel de déglçage en périphérie et celles les moins tolérantes au centre. Ce principe permet notamment l'utilisation d'espèces ou de groupes fonctionnels plus variés (Conseil régional de l'environnement de Montréal, 2019).

La fraîcheur apportée par la végétation peut être garante de la fréquentation de certains de ces espaces par les citoyens (Scotland, 2008). Selon Shashua-Bar et Hoffman (2000), dans les parcs et les espaces verts, les effets combinés de l'évapotranspiration et de l'ombrage amènent une diminution significative de la température, et créent même ce qu'on appelle des îlots de fraîcheur dans la ville (cité dans Gago *et al.*, 2013).

Bien que le verdissement des espaces publics relève principalement de la responsabilité de la municipalité, il est recommandé d'impliquer les citoyens afin de favoriser l'acceptabilité sociale de ces initiatives (Greenspace, 2005, cité dans Kleerekoper *et al.*, 2012). La promotion du verdissement dans les espaces privés est également pertinente dans les villes, car la municipalité n'est pas propriétaire de la majeure partie de la surface exposée au rayonnement solaire. Dans ce cas, des initiatives comme celle de Paris en faveur des façades et terrasses vertes (Mairie de Paris, 2009, cité dans Kleerekoper *et al.*, 2012), ou le programme de subvention des toits verts à Rotterdam, définissent la future tendance des stratégies d'adaptation (Waterplan Rotterdam, 2008, cité dans Kleerekoper *et al.*, 2012).

#### GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS AUX ESPACES VERTS URBAINS

 Selon Dimoudi et Nikolopoulou (2003), l'apport de végétation dans les milieux urbanisés peu végétalisés offre des gains importants de fraîcheur. Par exemple, une rangée d'arbres diminue la température de l'air environnant de 1 °C, tandis que la création d'un parc au centre-ville en remplacement de bâtiments générerait une baisse de température de l'air environnant de 2 °C à plus de 6 °C. D'après Liébard et De Herde (2005), une différence de température moyenne de 3,5 °C serait également observable entre un centre-ville peu végétalisé et des quartiers longeant une bande de végétation d'une profondeur de 50 à 100 mètres. Selon les résultats de l'analyse comparative de Aflaki *et al.* (2017), le verdissement urbain pourrait considérablement atténuer l'intensité des ICU, entraînant une diminution de la température globale de l'air et de la température radiante moyenne jusqu'à 4 °C et 4,5 °C respectivement.

<sup>15</sup> Consulter le [Guide pour des plantations résilientes dans les emprises autoroutières](#).

## GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS AUX ESPACES VERTS URBAINS (SUITE)

La végétation a un effet de rafraîchissement moyen de 1 à 4,7 °C qui s'étend de 100 à 1 000 mètres en zone urbaine, mais dépend fortement de la quantité d'eau dont la plante ou l'arbre dispose (Schmidt, 2006, cité dans Kleerekoper *et al.*, 2012). D'autres chercheurs ont étudié cette variation de température non seulement dans les espaces verts, mais aussi dans les zones commerciales qui les entourent. Ainsi, Yu et Hien (2006) ont constaté qu'à Singapour, les effets de rafraîchissement des espaces verts urbains étaient importants non seulement dans les parcs, mais aussi dans les zones urbaines près de ces derniers. Les résultats ont montré que la végétation pouvait amener des économies d'énergie et réduire la demande en rafraîchissement des bâtiments jusqu'à 10 % (cité dans Gago *et al.*, 2013). Un espace vert n'a pas besoin d'avoir une taille particulièrement grande pour générer un effet de rafraîchissement. Selon une étude réalisée à Tel Aviv (Israël), un parc de seulement 0,15 hectare a amené un effet de rafraîchissement moyen de 1,5 °C, et de 3 °C à midi (Shashua-Bar et Hoffman, 2000, cité dans Kleerekoper *et al.*, 2012). Dans leur étude, Shashua-Bar et Hoffman (2000) ont souligné que des îlots de végétation urbains d'une largeur de 60 mètres généraient un effet de fraîcheur dans un rayon de 100 mètres. Ils ont également rapporté que la portée du rafraîchissement variait de façon exponentielle selon la dimension des espaces végétalisés.

Comme il a été observé par Lachance *et al.* (2006), dans l'arrondissement de Mercier-Hochelaga-Maisonneuve à Montréal, l'été, un secteur situé en bordure d'une zone végétalisée présentait une température de surface plus fraîche de 6 °C, comparativement à un secteur situé en bordure de zone industrielle sans végétation (respectivement 29 °C et 35 °C).

Selon Charoenkit et Yiemwattana (2016), les arbres avec une densité de canopée élevée ou un mélange de différentes espèces d'arbres dans des contextes de grappes pour créer des couvertures multicouches devraient être préférés. Les résultats de l'étude de Stojanovic *et al.* (2019) confirment que les espaces verts ayant une proportion plus importante d'arbres à feuilles larges et foncées (érable sycomore, noisetier de Byzance, tilleul à petites feuilles, marronnier d'Inde) réduisent la température de l'air sur une plus grande étendue.

D'autres facteurs peuvent aider la diffusion de la fraîcheur créée par la végétation, notamment le vent : un grand parc placé en amont d'un centre urbain, dans la direction des vents dominants, peut avoir une plus longue portée rafraîchissante (Ca *et al.*, 1998; Honjo et Takakura, 1990). La configuration spatiale et le type de végétation des espaces verts affecteraient conjointement l'efficacité de l'effet de rafraîchissement (Soudoudi *et al.*, 2018).

Une étude réalisée à Tokyo par Ca *et al.* (1998) a montré que la température de l'air (1,2 mètre au-dessus du sol) de la surface végétalisée d'un parc indiquait 2 °C de moins à midi comparativement à celle mesurée dans l'espace de stationnement d'un centre commercial situé à proximité. Prise au niveau du sol, la température affichait 19 °C de moins.

En général, bien que la taille des parcs urbains soit positivement liée à l'effet de rafraîchissement, cette relation n'est toutefois pas linéaire et peut même être exponentielle, notamment en raison du moment de la journée où la température est relevée (Chang *et al.*, 2007; Hathway et Sharples, 2012; Hayden *et al.*, 2016, cité dans Yu *et al.*, 2020). En effet, des auteurs mentionnent que la distance de rafraîchissement varie de 100 à 200 mètres en fin de journée et peut aller jusqu'à 860 mètres en matinée. Les distances et l'intensité de l'effet de rafraîchissement apportées par les grands parcs urbains sont les plus élevées lorsque ces derniers sont d'une superficie de plus de 10 hectares. Les éléments naturels, les qualités des espaces verts urbains, ainsi que les caractéristiques climatiques influencent également fortement le rafraîchissement (Aram *et al.*, 2019).

## GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS AUX ESPACES VERTS URBAINS (SUITE)

Une étude réalisée dans une ville de taille moyenne dans l'Upper Midwest des États-Unis a montré une variabilité de la température de l'air de 3,5 °C en moyenne (1,1 – 5,7 °C) pendant la journée dans le paysage urbain. La température diminuait de façon non linéaire avec l'augmentation de la couverture végétale, avec un rafraîchissement plus important lorsque la couverture végétale dépassait 40 % (Ziter *et al.*, 2019).

Bien que le gazon soit préférable aux surfaces minéralisées, une étude montréalaise a montré que la diversification et la complexification des espaces verts, notamment des surfaces gazonnées, peuvent être efficaces afin d'améliorer leur performance écologique en termes de régulation de la température. En comparant les surfaces gazonnées tondues à trois autres types de végétation basse (champs herbacés non entretenus, friches arbustives non entretenues, haies arbustives faiblement entretenues), il a été observé que des gradients de complexité variés permettaient d'atténuer l'effet des ICU. En effet, les autres types d'aménagement affichaient en moyenne une température de surface de 5 °C inférieure par rapport aux surfaces gazonnées tondues lors d'une journée ensoleillée et sans vent. De même, la température de surface maximale affichée pour la friche arbustive était d'environ 20 °C inférieure à celle de la surface gazonnée tondue. La complexification des espaces verts en termes d'espèces végétales et de hauteur de la végétation peut être effectuée à faibles coûts, en diminuant l'intensité et la fréquence de l'entretien (Francoeur *et al.*, 2018).

### 5.2.2 PLANTATION PONCTUELLE D'ARBRES ET DE VÉGÉTATION

Pour que les arbres puissent fournir de la fraîcheur, leur bonne croissance est essentielle et peut dépendre de la qualité des sols, de la disponibilité de la ressource hydrique et d'un espace suffisant pour un déploiement racinaire optimal. Un arbre occupant un espace restreint dans le sol n'atteindra pas sa taille maximale et sa durée de vie en sera écourtée (McPherson, 1994). Un arbre aux racines profondes aura probablement accès à un approvisionnement en eau plus important, ce qui soutiendra l'absorption d'eau. De ce fait, un arbre à racines profondes transpirera davantage et fournira un meilleur refroidissement (Peters *et al.*, 2010).

Une croissance optimale des arbres plantés le long des rues est possible grâce à des aménagements dits « cellulaires ». Il existe deux types de plantations de ce genre. Puisqu'elles sont souvent confondues, les appellations suivantes sont habituellement employées afin de les distinguer : la plantation par regroupement écologique (compagnonnage) et la plantation en contenant ou en tranchée fermée.

La plantation par regroupement écologique est souvent employée en renaturalisation ou en préservation des milieux naturels. Il s'agit d'identifier les compagnons naturels de l'arbre ou de l'arbuste et de les planter dans le même périmètre. À titre d'exemple, les ronces (mûriers), aussi appelées « berceau du chêne » ou « mère du hêtre ou du tilleul d'Amérique », sont les meilleurs compagnons de l'érable à sucre. Il est à noter toutefois que ce type de compagnonnage est plus difficile à réaliser en milieu urbain, notamment en raison de la surface disponible, de l'acceptation du client d'inclure ce type de plantation, de l'habitude (les arbres seuls ou en alignement sans arbustes ou autres compagnons prévalent), de même que du dérangement causé par son implantation.

En ce qui concerne la plantation en contenant, elle est très répandue pour la production de végétaux. Bien que les producteurs couvrent leurs végétaux pour les protéger du gel, des pertes surviennent quand même. Au Québec, l'arrondissement Ahuntsic-Cartierville teste la technique cellulaire dans le secteur Chabanel, ce qui permet de créer une zone verte temporaire, bien que sa durabilité reste questionnable. La plantation d'aménagement paysager en cellule est plus rare en raison des risques

de gel, de l'obligation d'isoler les contenants, du risque associé au vent, des obligations horticoles jugées souvent excessives et de la mortalité élevée. Ce type de plantation est principalement retrouvé près des places publiques dont les aménagements ne permettent pas la plantation en pleine terre, à l'intérieur (p. ex., dans les centres d'achat), ou encore en bordure d'escaliers ou de chemins afin d'améliorer le rendu. La plantation en contenant ne peut en aucun cas être considérée comme du verdissement, car il s'agit d'une solution non durable. En effet, le suivi des végétaux n'est pas garanti puisque ceux-ci peuvent être déplacés; il devient ainsi ardu de les retrouver sur un territoire donné.

Quant à la plantation en tranchée fermée, elle est souvent utilisée en ingénierie pour verdir tout en protégeant des installations souterraines (Bassil, communication personnelle, 16 juillet 2021).

### GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS À LA PLANTATION PONCTUELLE D'ARBRES ET DE VÉGÉTATION



Les arbres matures favorisent la fraîcheur par leur capacité d'évapotranspiration et la superficie d'ombre créée. Il a été estimé qu'un arbre mature qui transpire 450 litres d'eau permet un refroidissement équivalent à 5 climatiseurs fonctionnant pendant 20 heures quotidiennement (Johnston et Newton, 2004). De même, une étude réalisée à Manchester a révélé que les arbres matures avaient un impact significatif sur la température de surface de la chaussée. Les résultats de la simulation ont montré que l'ajout de 5 % d'arbres matures en termes de densité réduirait la température de surface de 1 °C (Skelhorn *et al.*, 2014). Nowak et Crane (2002) ont quant à eux estimé le stockage du carbone dans les arbres urbains des parcs et des rues à environ 700 millions de tonnes (Mt) aux États-Unis, avec une séquestration moyenne de 22,8 Mt de carbone par an (cité dans Charlesworth, 2010).

Les arbres de rue peuvent sembler avoir un faible impact sur la température intra-urbaine puisqu'ils y sont dispersés, mais, étant donné leur nombre important, ils ont en fait un impact considérable. L'irrigation peut fournir un rafraîchissement supplémentaire. Broadbent *et al.* (2018a) ont étudié le potentiel de rafraîchissement de l'irrigation gérée de manière ciblée et ont constaté une diminution de la température diurne moyenne. Cependant, les auteurs ont montré que le rafraîchissement supplémentaire était négligeable lorsque le taux d'irrigation dépassait 20 L/m<sup>2</sup>/jour.

Les espèces d'arbres à feuilles vert foncé, ainsi que les espèces dont le bois est plus poreux (comme le chêne, le robinier faux-acacia, le frêne, le châtaignier et l'orme), offriraient de meilleurs avantages de rafraîchissement (Rahman *et al.*, 2020). L'absorption solaire des feuilles des plantes dépendrait également fortement de leur teneur en eau ainsi que des poils et de l'épaisseur des feuilles. Les feuilles épaisses et cireuses, telles que les aiguilles de conifères, absorbent jusqu'à 88 % du rayonnement solaire (Jones, 1992; cité dans Charoenkit et Yiemwattana, 2016). Un indice de surface foliaire élevé est représenté par des feuilles denses ayant une plus grande capacité à bloquer les radiations solaires (Lai *et al.*, 2019).

Le rayonnement solaire peut être réduit davantage en plantant des arbres avec des cimes plus larges. Différentes formes de couronnes d'arbres ont été étudiées. Milošević *et al.* (2017) ont montré, d'après les résultats de leur simulation, que les couronnes d'arbres en forme de cylindre réduisaient plus efficacement le stress thermique que les couronnes en forme de sphère et en forme de cône de même hauteur et de même diamètre.

### 5.2.3 VÉGÉTALISATION DES STATIONNEMENTS

Les stationnements construits avec du bitume, un matériau à faible albédo, contribuent à la formation des ICU (Rosenzweig *et al.*, 2005). Afin de diminuer la chaleur qu’emmagasinent ces surfaces asphaltées, il est conseillé d’aménager de la végétation sur le pourtour (bandes végétalisées) et à l’intérieur (îlots végétalisés; voir figure 3) des espaces de stationnement. L’objectif est de créer de l’ombre sur les surfaces asphaltées. L’ombrage des arbres protégera également les revêtements des grandes variations thermiques et prolongera leur durée de vie (McPherson et Muchnick, 2005). Le [Guide de mise en œuvre d’un stationnement écoresponsable](#), basé sur le [guide normatif BNQ 3019-190](#), propose des moyens concrets pour aménager des aires de stationnement de manière à limiter la formation d’ICU.

**Figure 3** Îlots végétalisés - Projet « Place fraîcheur à l’école Calixa-Lavallée » à Montréal



Crédit photo : Daniela Kowu.

Afin de réduire la température de la surface des stationnements, il est également possible de végétaliser l’entièreté des surfaces au moyen de divers revêtements modulaires composés de béton, de plastique recyclé ou d’autres matériaux permettant la croissance des végétaux (voir figure 4). Ces modules sont installés sur des sols filtrants, qui favorisent la percolation naturelle de l’eau de pluie dans le sol. Les revêtements végétalisés permettent le stationnement de véhicules légers. Leur mise en œuvre se fait facilement à partir de dalles modulaires pouvant être posées directement sur le sol naturel, lesquelles sont par la suite remplies par un amendement de terre et de graines de gazon. Il est à noter qu’il n’est pas recommandé d’utiliser ce type de revêtement sur des surfaces fortement en pente (Grand Lyon communauté urbaine, 2010). Il est également déconseillé d’y stationner des véhicules qui y resteront statiques pendant plusieurs jours. De même, pour assurer la pérennité du stationnement végétalisé, des fondations fertiles, portantes et drainantes sont à prévoir afin de permettre un enracinement profond du gazon (O2D Environnement, 2017).

**Figure 4** Dalles permettant la croissance des végétaux



Crédit photo : Les Dalles Vertes.

#### 5.2.4 VÉGÉTALISATION DU POURTOUR DES BÂTIMENTS

Pour une fraîcheur optimale, l'aménagement du pourtour d'un bâtiment doit protéger celui-ci du rayonnement solaire. En effet, la texture et la nature des sols entourant le bâtiment en déterminent en partie la température intérieure et extérieure. La végétation permet de garder un sol plus frais et d'éviter le rayonnement solaire direct, réfléchi et diffus pouvant affecter la fraîcheur du bâtiment (voir figure 5) (Akbari *et al.*, 2001).

Afin de maximiser l'ombrage sur le bâtiment, les arbres doivent être disposés sur les faces est, sud-est, sud-ouest et ouest de la maison et, idéalement, être assez grands pour ombrager le toit en partie ou en totalité. Il est aussi possible d'aménager des treillis, des pergolas, des murs et des toits végétaux qui, juxtaposés aux bâtiments, assurent une température intérieure plus fraîche (Courgey et Oliva, 2012). Les racines des arbres cherchant l'humidité, elles ne survivent pas dans des milieux bétonnés, comme les fondations des bâtiments. Toutefois, elles pourraient pénétrer dans des conduites ou des fondations présentant des fuites ou des fissures (Société internationale d'arboriculture Québec, s. d.).

#### GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS À LA VÉGÉTALISATION DU POURTOUR DES BÂTIMENTS

**+** Morakinyo *et al.* (2013) ont évalué l'effet d'ombrage des arbres sur les conditions thermiques de deux bâtiments urbains similaires sur un campus universitaire au Nigéria. L'un des bâtiments a été ombragé par des arbres du côté sud-est tandis que l'autre bâtiment ne recevait aucun ombrage. Des mesures de la température de l'air et de la température des murs à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments ont été prises. Les températures de l'air se sont révélées plus élevées à l'intérieur du bâtiment non ombragé. Les différences de température intérieure-extérieure ont montré un pic de 5,4 °C pour le bâtiment non ombragé tandis que, pour le bâtiment ombragé, la température n'a pas dépassé 2,4 °C. Les résultats montrent que l'ombrage des arbres constitue un excellent système de rafraîchissement passif pour les bâtiments, améliorant potentiellement le contrôle thermique et conservant l'énergie dans les bâtiments.

**Figure 5**      **Végétalisation du pourtour du bâtiment – Projet « Effet de terre aux habitations Jeanne-Mance » à Montréal**



Crédit photo : Mathilde Botella.

### 5.2.5 INSTALLATION DE MURS VÉGÉTAUX

Dans un contexte d'urbanisation croissante, les murs végétaux, de même que les toits verts (voir section 5.2.6) sont considérés comme une approche prometteuse pour verdifier les villes où les espaces verts sont rares et les espaces au sol limités (Charoenkit et Yiemwattana, 2016). La verdure verticale est un élément crucial afin de réduire les impacts des ICU, en particulier dans les villes métropolitaines (Aflaki *et al.*, 2017), où ils créent un microclimat abaissant substantiellement la température de l'enveloppe du bâtiment et améliorant le comportement énergétique de celle-ci (Dunnnett et Kingsbury, 2008; Ekren, 2017; Vox *et al.*, 2018; Besir et Cuce, 2018). Les murs végétaux amènent de l'ombrage au bâtiment et favorisent l'évapotranspiration en été, et augmentent l'isolation thermique en hiver (Vox *et al.*, 2018).

Ces installations végétales possèdent également d'autres avantages :

- La protection de l'enveloppe du bâtiment des intempéries, la captation des particules en suspension dans l'air, le recouvrement des murs avec des graffitis, l'isolation sonore, de même que l'amélioration de l'aspect esthétique, l'augmentation de la biodiversité et une contribution positive à la santé mentale (Ekren, 2017; Vox *et al.*, 2018);
- La mise en place possible sur tous les types d'édifices, les clôtures, les poteaux de téléphone et les lampadaires, de même qu'un potentiel de verdissement intéressant grâce aux surfaces imposantes des façades (Dunnnett et Kingsbury, 2008);
- La séquestration du carbone (Charoenkit et Yiemwattana, 2016; Zaid *et al.*, 2018).

Une grande variété végétale favorisera la biodiversité. Cependant, il faut considérer que différentes espèces végétales nécessitent des conditions d'habitat différentes. Ainsi, les espèces végétales doivent donc être choisies avec soin (Ekren, 2017).

Des précautions sont à prendre quant à l'état de la structure hôte qui doit supporter le poids de la végétation et au type de végétation choisie et à ses colonisateurs potentiels (Dunnett et Kingsbury, 2008). De même, bien que l'entretien de la végétation soit simple (taille, désherbage et inspection du support) (Courgey et Oliva, 2012), il est plus difficile à réaliser en surface verticale (Ekren, 2017). Un entretien constant doit être effectué et des coûts élevés ainsi que des problèmes liés au système d'irrigation peuvent survenir, notamment lors de périodes de gel en hiver (Ekren, 2017). Au Québec, le système d'irrigation doit être vidangé à l'automne lors des premiers gels afin d'éliminer toute trace d'eau; le mur entre alors en période de dormance pour l'hiver (Bernier, 2011). Il faut également prendre en compte que le mur végétal appliqué sur la façade sud d'un bâtiment a besoin d'une plus grande quantité d'eau que lorsqu'appliqué sur la façade nord, en raison de l'évaporation (Ekren, 2017). Les durabilités environnementale et économique des différents systèmes commercialisés sont néanmoins encore mises en doute, car très variables et liées à la complexité des systèmes, ce qui agit comme un frein à sa démocratisation en ville. Afin de rendre les murs végétalisés plus attractifs, des évolutions techniques intégrant la soutenabilité environnementale et économique semblent incontournables (cité dans Lagurgue *et al.*, 2019). Néanmoins, si un entretien régulier est effectué et le soutien financier est adéquat, nombre de ces risques disparaîtront (Ekren, 2017).

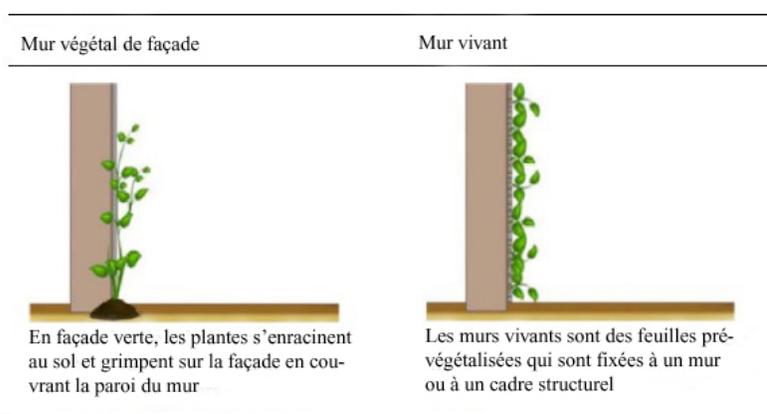
Il existe deux types de murs végétaux (voir figure 6) : le mur végétal de façade et le mur vivant. D'abord, le mur végétal de façade est un mur recouvert de plantes grimpantes enracinées au sol ou en pot à différentes hauteurs de la façade et pouvant grimper jusqu'à 30 mètres. Un espace minimal de 15 centimètres sur 15 centimètres est requis au sol afin d'y mettre la plante en terre. Certaines plantes peuvent grimper directement sur la paroi du mur grâce à leurs caractéristiques morphologiques (telles que les racines aériennes, les vrilles de feuilles et les coussinets d'adhérence) ou bien encore être disposées sur un support (tel qu'un filet métallique ou un treillis) situé à une faible distance du mur (voir figure 7). Ensuite, le mur vivant, une installation plus complexe, est constitué de plants enracinés dans un médium attaché au mur. Les principaux types de murs vivants sont classés comme étant continus ou modulaires, pour lesquels la principale différence est le support de culture (Besir et Cuce, 2018). La présence d'un espace entre le mur du bâtiment et le système de végétalisation (généralement de 3 à 15 cm) agit comme un tampon thermique, améliorant ainsi l'isolation thermique du bâtiment (Dunnett et Kingsbury, 2008; Vox *et al.*, 2018).

D'un côté, par rapport aux murs végétaux de façade, les murs vivants nécessitent certains matériaux essentiels, comme des éléments de support pour la culture du substrat et un système d'irrigation pour maintenir diverses plantes. Par conséquent, les coûts de maintenance sont particulièrement élevés (Perini et Rosasco, 2013). D'un autre côté, ils ont généralement de meilleures performances en raison des plantes précultivées et de leur possible transférabilité (Raji *et al.*, 2015). Les murs vivants offrent également moins de limitation quant à l'application aux étages supérieurs des immeubles de grande hauteur (Charoenkit et Yiemwattana, 2016). Bien que l'implantation de murs vivants en soit encore à un stade limité et expérimental au Québec, principalement en raison des coûts et de l'entretien, ils sont tout de même adaptés à un usage extérieur (N. Zepeda, communication personnelle, 10 février 2021).

Il existe une croyance populaire selon laquelle l'implantation de plantes grimpantes endommagerait les surfaces des murs. Au contraire, la plupart des plantes grimpantes ne font que s'agripper grâce à leurs extrémités semblables à des ventouses et prolongent la durée de vie de la brique, de la pierre, du bois, des peintures, des teintures et des autres matériaux en les protégeant des intempéries

(changement de température, vent, pluie, rayons UV, etc.) (Bernier, 2011). Les attaches au mur pouvant être solides, il faut toutefois veiller à les enlever délicatement du mur afin de ne pas l'abîmer (Écohabitation, 2021). Une étude a été menée sur plusieurs années à Berlin afin d'évaluer notamment l'état des crépis à la suite de l'implantation de plantes grimpantes. La plupart des murs en question étaient recouverts de lierre de Boston, de vigne vierge et de lierre commun, des plantes adaptées au climat québécois. Les résultats de l'étude ont montré que 83 % des murs étaient intacts, 16 % étaient légèrement endommagés et 1 % présentaient des dommages sévères dans le cas des plantes grimpantes à ventouses et à racines-crampons. Les murs endommagés étaient très anciens ou couverts d'un crépi de mauvaise qualité. Les racines aériennes des plantes à racines-crampons peuvent effectivement pénétrer et élargir les fissures déjà existantes d'un crépi de mauvaise qualité ou en voie de décrépitude (cité dans Dunnnett et Kingsbury, 2007).

**Figure 6** Types de murs végétaux



Source : traduit et cité dans Besir et Cuce (2018).

**Figure 7** Murs végétaux de façade – Projet « Des vignes mûres pour les murs » à Montréal



Crédit photo : Mathilde Botella.

## GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS AUX MURS VÉGÉTAUX



La température maximale des murs végétaux est de 30 °C, alors que les murs classiques peuvent atteindre 60 °C en fonction du type de revêtement (Dunnett et Kingsbury, 2008). En Californie, Sandifer et Givoni (2002) ont évalué l'effet rafraîchissant de la vigne vierge sur un mur. Ils ont observé des réductions des températures de surface maximales quotidiennes allant jusqu'à 20 °C, comparativement à un mur non ombragé.

Les systèmes modulaires avec des panneaux verticaux végétalisés surpasseraient le mur vivant basé sur des jardinières dans les climats tempérés et méditerranéens. Il a été constaté que la température de surface moyenne des murs vivants avec des panneaux verticaux était inférieure à celle d'un mur de référence d'environ 8 à 9 °C, soit une réduction de température de 2 à 3 °C supérieure à celle d'un mur végétal basé sur des jardinières (Ottelé, 2011). Luxmoore *et al.* (2005) ont modélisé les gains de fraîcheur générés par l'emploi de végétation sur les bâtiments formant les canyons urbains de la ville. Ils ont conclu que, plus le climat de la ville est chaud et sec, plus grands seront les gains de fraîcheur. Cela dit, les villes au climat chaud et humide peuvent également profiter de murs végétaux pour abaisser la température des canyons urbains de quelques degrés.

En Italie, les recherches menées par Perini *et al.* (2017) ont indiqué que l'économie d'énergie moyenne des murs végétalisés était d'environ 26,5 % par rapport aux murs classiques. Sous des conditions climatiques tempérées chaudes à Oxford, au Royaume-Uni, Sternberg *et al.* (2011) ont constaté une réduction de la température du mur de 9,15 °C générée par une couverture de lierre de 45 cm d'épaisseur sur un mur exposé au sud.

Une corrélation entre l'épaisseur du feuillage et les réductions de température a été observée. De même, une augmentation du pourcentage de feuillage de 13 à 54 % engendrerait une diminution de la température de la surface externe du mur de l'ordre de 3,7 à 11,3 °C (Koyama *et al.*, 2013). La densité et la couverture du feuillage affectent notamment la performance d'ombrage sur la façade du bâtiment (Besir et Cuçe, 2018). Le substrat est le composant important des murs vivants, en particulier pour un système modulaire. Sa teneur en humidité et son épaisseur sont indiquées comme des facteurs importants influençant les performances thermiques des murs vivants (Charoenkit et Yiemwattana, 2016).

Les résultats de l'étude d'un couvert végétal grimpant à feuilles caduques par Ip *et al.* (2010) au Royaume-Uni ont montré des avantages saisonniers dus à l'ombrage en été entraînant une réduction de la température interne du bâtiment de 4 à 6 °C. Lorsque les feuilles tombaient en automne, tout rayonnement solaire incident pouvait pénétrer à travers les fenêtres, chauffant l'intérieur du bâtiment.

### 5.2.6 CONCEPTION DE TOITS VERTS

Les toitures représentent de 20 à 25 % de la surface urbaine totale. Par conséquent, le verdissement des toitures a un grand potentiel pour influencer sur les températures des bâtiments et de l'environnement urbain (Raji *et al.*, 2015; Charoenkit et Yiemwattana, 2016; Susca, 2019). Les toits conventionnels des bâtiments sont des surfaces foncées et imperméables qui contribuent à l'effet d'ICU dans les villes et augmentent les problèmes d'inondations. Les toits verts sont des solutions pour les bâtiments à plusieurs étages, les résidences unifamiliales, les bâtiments commerciaux et autres constructions. Ils améliorent la performance énergétique des bâtiments ainsi que les conditions environnementales (Gago *et al.*, 2013). Ils offrent à la fois un rafraîchissement actif (par l'évaporation) et passif (par l'isolation) (Aflaki *et al.*, 2017).

Les bénéfices reliés à l'économie d'énergie, à l'isolation thermique, à l'ombrage et à l'évapotranspiration mettent en évidence le rôle clé des toits verts dans la performance thermique globale des bâtiments (Besir et Cuce, 2018). Les toits conventionnels sont faits d'asphalte, de revêtement métallique, de matériaux en caoutchouc ou de tuiles d'argile typiques, qui augmentent considérablement la température de surface et transfèrent facilement la chaleur à l'intérieur du bâtiment (Enríquez *et al.*, 2017). Les toits verts réduisent la quantité de chaleur transférée du toit vers l'intérieur du bâtiment grâce à l'évapotranspiration et à l'ombrage créé par les plants. En outre, ils permettent de rafraîchir l'air ambiant extérieur (McPherson, 1994) tout en contribuant à :

- une augmentation de l'isolation thermique, hiver comme été, grâce à l'inertie thermique de la couverture végétale et à l'eau contenue dans la terre ou le revêtement humidifiant;
- une intégration esthétique des bâtiments au paysage;
- la possibilité de faire de l'agriculture urbaine;
- une amélioration de la qualité de l'air, puisque les plants des toitures végétales fixent les poussières et divers polluants atmosphériques;
- une amélioration de la qualité de l'eau, car la végétation des toitures compense l'imperméabilisation et la perte du couvert végétal engendrées par l'emprise au sol des bâtiments (voir section 5.4);
- une réduction des rejets d'eau pluviale vers les réseaux d'égouts;
- une meilleure durée de vie du toit du fait que la toiture végétale protège des intempéries, de l'exposition aux rayons UV et des variations importantes de température, autant de facteurs qui entraînent la dégradation du toit (Déoux et Déoux, 2004; Oberndorfer *et al.*, 2007; Besir et Cuce, 2018);
- un meilleur habitat écologique pour la vie urbaine et la faune;
- la séquestration du carbone (Charoenkit et Yiemwattana, 2016);
- l'absorption de la pollution sonore locale dans les zones urbaines.

Dans certaines villes du monde, et de plus en plus au Québec, les toits verts sont maintenant utilisés comme mesure dans les stratégies d'urbanisme. Il est essentiel que les urbanistes et les décideurs politiques connaissent leurs avantages par rapport aux toits conventionnels (Francis et Jensen, 2017). Il existe un énorme potentiel pour l'installation de nouveaux toits verts sur des dizaines de milliards de pieds carrés de toiture en Amérique du Nord (Green Roofs for Healthy Cities, 2019) et l'intérêt est grandissant pour des organisations de tous types, notamment les coopératives et les logements communautaires, qui disposent toutefois de faibles moyens pour la réalisation de ces travaux (N. Zepeda, communication personnelle, 10 février 2021). Plusieurs grandes villes passent à l'action, notamment en Europe et en Amérique du Nord, en instaurant divers types d'incitatifs réglementaires et économiques (Écohabitation, 2017b). Au Québec, l'adoption de politiques incitatives, comme celles des villes canadiennes de Toronto et de Vancouver, pourrait favoriser l'application des toits verts en milieu urbain (Ouranos, 2015). Autrement, les entreprises et les institutions pourront voir la responsabilité sociale et l'image comme étant des arguments intéressants pour les convaincre de végétaliser leur toiture (N. Zepeda, communication personnelle, 10 février 2021).

Les toits verts conviennent avant tout aux toits plats ou à pente égale ou inférieure à 20 % (Déoux, 2004, Peck et Kuhn, 2001, cité dans MDDEFP et MAMROT, s. d.), bien qu'ils soient appropriés à tous les types de toits, pourvu que leurs structures permettent d'en supporter le poids. Le cas échéant,

l'installation de toitures végétales peut exiger d'importantes rénovations (Fischetti, 2008) et nécessiter des coûts imposants pour un bâtiment existant (N. Zepeda, communication personnelle, 10 février 2021). Une réglementation exigeant l'augmentation de la capacité portante des toits pour les nouvelles constructions faciliterait l'implantation des toits verts, et ce, avec une augmentation très minime du coût de construction (Écohabitation, 2017b).

Un toit végétal standard est constitué de plusieurs composants, principalement d'une structure portante, d'une couche d'étanchéité, d'une couche d'isolation (si la toiture n'est pas ventilée), d'une membrane anti-racine, d'une section de drainage et de filtration, d'une membrane géotextile pour retenir la terre, d'un substrat de croissance et d'une couche végétale ou d'une couche de substrat (Besir et Cuce, 2018). La figure 8 présente les principaux éléments constituant le toit vert.

**Figure 8 Composants d'un toit vert standard**



Source : traduit et cité dans Besir et Cuce (2018).

Une analyse du cycle de vie des toits verts extensifs a été réalisée afin d'évaluer les impacts environnementaux potentiels liés à leur implantation et à leur maintien. Il a été observé que les toits extensifs comportaient beaucoup moins d'impacts environnementaux négatifs que les toits en asphalte ou en gravier (Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services, 2011). La figure 9 montre des exemples d'un toit végétal extensif.

Les toits verts peuvent être divisés en trois catégories (toits extensifs, semi-intensifs et intensifs) selon le poids, la couche de substrat, l'entretien, le coût, les espèces végétales implantées et l'irrigation, comme illustré au tableau 4 (Pisello *et al.*, 2015). Les toits intensifs sont plus lourds et plus chers que les autres types de toits. De plus, ils nécessitent un niveau de maintenance plus élevé. Les toits extensifs, quant à eux, n'ont pas de poids supplémentaire en raison du substrat de croissance moins profond, et leur coût d'entretien est particulièrement faible (Coma *et al.*, 2016).

**Figure 9 Toits végétaux extensifs – Maison du développement durable à Montréal et projet « Relocalisation du siège social de l’Office municipal d’habitation de Trois-Rivières »**



Crédit photo : Maison du développement durable Laetitia Laronze.



Crédit photo : Mathilde Botella.

**Tableau 4 Classification des types de toits verts**

	Toit vert extensif	Toit vert semi-intensif	Toit vert intensif
			
<b>Entretien</b>	Faible	Périodique	Régulier
<b>Irrigation</b>	Aucune	Périodique	Régulière
<b>Type de végétation</b>	Mousse, sedum, herbes et graminées	Gazon, herbes et arbustes	Pelouse, vivaces, arbustes et arbres
<b>Coût</b>	Faible	Moyen	Élevé
<b>Poids</b>	60-150 kg/m <sup>2</sup>	120-200 kg/m <sup>2</sup>	180-500 kg/m <sup>2</sup>
<b>Utilisation</b>	Couche de protection écologique	Toit vert	Jardin de type parc
<b>Épaisseur du système</b>	60-200 mm	120-250 mm	150-400 mm

Source : traduit et adapté de Besir et Cuce (2018).

Enfin, plusieurs études ont traité des types de végétaux adaptés aux aménagements extensifs sur les toits. Il en découle que les plantes de type « sedum », les graminées et les plantes vivaces très rustiques seraient très performantes pour les toits extensifs, qui nécessitent des plantes pouvant résister aux variations de température et d'humidité du climat québécois (Monterusso *et al.*, 2005). Les systèmes d'irrigation des toits verts, bien que nécessaires pour les régions chaudes et arides, sont inutiles pour les climats humides et tempérés (Besir et Cuce, 2018).

Sur la base des études réalisées, il est conclu qu'un milieu de culture approprié devrait principalement être composé de matières inorganiques, qui ont une porosité élevée et une faible densité, et seulement de 0 à 20 % de matière organique pour augmenter les capacités de rétention d'eau et promouvoir le recyclage des nutriments. Un mélange de plusieurs matières organiques (comme le sol, l'argile et les déchets verts compostés dans un substrat de toiture verte) semblerait avoir des effets positifs sur la croissance des plantes et contribuerait à une augmentation de la séquestration du carbone dans les systèmes de toits verts (Charoenkit et Yiemwattana, 2016). Les variations d'humidité et de température devraient également être prises en compte lors du choix des plantes pour les toits verts.

Dans les dernières années, certains pays développés comme les États-Unis, le Canada, l'Australie, Singapour et le Japon ont invoqué de nouvelles normes pour la modernisation rentable et économe en énergie des bâtiments existants et des nouvelles applications construites avec des systèmes de verdure. Au Canada, une norme a été mise en place pour que les systèmes de verdure couvrent de 20 à 60 % de la surface du toit lorsque la surface de plancher du bâtiment est supérieure à 2 000 mètres carrés (Besir et Cuce, 2018).

#### GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS AUX TOITS VERTS



La température interne de tout bâtiment sous un toit vert est susceptible d'être plus fraîche, ce qui réduit le besoin d'utiliser la climatisation, et donc la consommation d'énergie et les émissions de carbone (Charlesworth, 2010). La capture annuelle de carbone des toits verts est de l'ordre de 0,375 à 30,12 kilogrammes de carbone par mètre carré, alors qu'elle se situe entre 0,14 et 0,99 pour les systèmes de verdure verticaux (Besir et Cuce, 2018).

De tous les types de recouvrement de toit (conventionnel, à revêtement réfléchissant, végétal), le toit végétal est celui qui permet le plus grand rafraîchissement. À ce titre, lorsqu'exposé au soleil, un toit foncé peut atteindre jusqu'à 80 °C, un toit blanc, 45 °C, et un toit végétal, 29 °C (Liu et Bass, 2005; Fischetti, 2008; Perrin, 2020).

Niachou *et al.* (2001) ont analysé les propriétés thermiques des toits verts et ont conclu que, pendant l'été, ces toits permettaient de maintenir les températures de l'air intérieur basses pendant la journée et plus élevées la nuit, comparativement à un toit conventionnel. Cependant, ils ont constaté que la ventilation nocturne permettait de maintenir les températures basses aussi bien le jour que la nuit. De même, la consommation d'énergie dans les bâtiments dotés de toits verts s'est avérée inférieure comparativement aux toits non verdis, et pourrait même être améliorée par une ventilation naturelle pendant l'été (cité dans Gago *et al.*, 2013). Les bâtiments pourvus de toits verts consommeraient de 2,2 à 16,7 % moins d'énergie que ceux munis de toits classiques en été. Une tendance similaire est observée pour la saison hivernale en fonction des conditions régionales et climatiques (Besir et Cuce, 2018). La demande annuelle d'énergie serait moins élevée pour les surfaces de verdure intensives (8,2 kWh/m<sup>2</sup>), comparativement aux surfaces de verdure semi-intensives (12,3 kWh/m<sup>2</sup>) ou extensives (23,6 kWh/m<sup>2</sup>). La différence de température entre les toits classiques et verts en hiver serait d'environ 4 °C, alors qu'elle serait d'environ 12 °C en été (Silva *et al.*, 2016).

## GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS AUX TOITS VERTS (SUITE)

Dans plusieurs études provenant de la littérature, il a été observé que les caractéristiques des toits verts avaient un impact sur les performances thermique et énergétique des bâtiments. De plus, ces performances seraient supérieures lorsque le substrat est épais (Permpituck et Namprakai, 2012, Liu et Minor, 2005, cité dans Besir et Cuce, 2018) et que la teneur en eau est élevée en été et faible en hiver (Lazzarin *et al.*, 2005, cité dans Besir et Cuce, 2018). Il est à noter qu'il est recommandé d'utiliser un substrat humide en été et un sol sec en hiver. En effet, un sol sec est utilisé pour augmenter le stockage de la chaleur et la fonction d'isolation thermique en hiver (Besir et Cuce, 2018). Une étude basée sur quatre villes nord-américaines a montré qu'un sol plus épais permettait de meilleures économies d'énergie dans l'ensemble de ces villes (incluant Toronto et Vancouver) (Mahmoodzadeh *et al.*, 2020).

La fraîcheur engendrée par les toits végétaux n'est pas négligeable. À Chicago, un toit intensif installé sur le toit de l'hôtel de ville a une température annuelle moyenne de 7 °C plus fraîche que les toits classiques environnants, une différence pouvant atteindre 30 °C durant les périodes les plus chaudes de l'été (Daley, 2008). À Ottawa, Liu (2002) a obtenu des conclusions similaires : une même toiture dont la moitié était recouverte d'un couvert végétal et l'autre moitié d'un revêtement de bitume classique affichait une différence de température de 45 °C lors d'une journée ensoleillée de 35 °C. De même, si la ville de Détroit verdissait son total de près de 15 000 hectares de toit, alors un potentiel de 55 252 tonnes de carbone pourraient être séquestrées (Getter et Rowe, 2009, cité dans Charlesworth, 2010).

Selon la littérature, le rafraîchissement maximal des toits verts au niveau de la rue varierait de 0,03 à 3 °C (basé sur 17 études fournissant des données originales sur la réduction des ICU). L'étude présentant l'effet de rafraîchissement le plus faible (0,03 °C) se démarque, car elle considère une couverture de toit vert de seulement 25 % au lieu de 100 %, comme le font la plupart des autres études (Gromke *et al.*, 2015). À l'échelle piétonne, les toits verts intensifs pourraient amener un effet de rafraîchissement deux fois plus élevé en termes de chaleur ressentie comparativement aux toits verts extensifs (Berardi, 2016). D'après leur étude réalisée à Singapour, Wong *et al.* (2003) ont indiqué que l'installation de toits verts sur des bâtiments d'une hauteur inférieure à 10 mètres permettait un effet de rafraîchissement au niveau de la rue. Des résultats similaires ont été observés en France (Berardi, 2016) et à Toronto (Ouldboukhite *et al.*, 2014, cité dans Lai *et al.*, 2019). L'effet de rafraîchissement au niveau de la rue pour des toits verts installés sur des bâtiments de moyenne (environ 30 mètres) et de grande taille (environ 60 mètres) serait toutefois négligeable (Lai *et al.*, 2019).

Sookhan *et al.* (2018) ont étudié les services de thermorégulation fournis par des toits verts extensifs pendant les saisons chaudes et froides à Toronto, au Canada. Ils ont observé que le sedum avait surpassé un mélange de graminées vivaces et de fleurs herbacées indigènes au cours de la période d'enquête interannuelle totale. La prairie fleurie dépendrait davantage de l'irrigation supplémentaire comparativement au sedum et serait plus sensible à la variabilité climatique interannuelle. Les résultats soulignent la durabilité du sedum en tant que plante pour le rafraîchissement extensif des toitures vertes, ainsi que l'importance de la sélection des plantes et de la détermination des traits qui correspondent non seulement aux conditions microclimatiques en été, mais aussi en hiver.

Susca *et al.* (2011) ont étudié, pendant la période quotidienne de pointe à New York la température de surface d'un toit vert de 10 centimètres de profondeur, de 1 000 mètres carrés de sedum et avec un albédo d'environ 0,2. Elle était de 1 à 8 °C inférieure à la température de la membrane blanche (albédo 0,6), tandis que la membrane réfléchissante était de 1 à 5 °C plus froide que le toit vert

## GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS AUX TOITS VERTS (SUITE)

pendant la nuit. Les résultats ont également montré que l'installation d'un toit vert au lieu d'un toit réfléchissant se traduisait par des économies d'énergie comprises entre 40 % et 110 %, et que le potentiel d'atténuation du phénomène d'ICU était plus grand.

Bien que les effets de rafraîchissement soient plus élevés dans les villes où le climat est sec, les caractéristiques du bâtiment définissent également la contribution possible des toits verts (Santamouris, 2014). Durant la saison estivale, les besoins en climatisation peuvent être réduits par l'utilisation d'un toit végétal, notamment pour les toitures moins bien isolées à l'origine. De fait, l'utilisation d'énergie peut être relativement stable jusqu'à une certaine température. Au-delà de ce seuil critique, une augmentation de 2 °C due aux ICU peut accroître la consommation d'énergie de 5 % (Bass *et al.*, 2003). Une recherche menée dans le sud de l'Italie a révélé que les toits verts (sans aucun matériau isolant) étaient plus frais d'environ 12 °C par rapport aux toits conventionnels selon les mesures de température moyenne de surface en été. De même, en hiver, la différence de température entre les toits conventionnels et verts était de près de 4 °C (Bevilacqua *et al.*, 2017). Les économies d'énergie potentielles dans les bâtiments via les systèmes de verdure ont été étudiées à la fois expérimentalement et numériquement par de nombreux chercheurs. Selon les observations, les réductions des pertes de chaleur des toits en été et en hiver étaient d'environ 70 à 90 % et 10 à 30 % respectivement en utilisant des toits verts (Besir et Cuce, 2018).

### 5.3 Mesures liées aux infrastructures urbaines durables

Les zones urbaines sont caractérisées par divers types de surfaces qui absorbent le rayonnement solaire et le réfléchissent ensuite pendant la nuit. Ce rayonnement est retenu par les particules en suspension dans l'air et les gaz de combustion. L'exploitation de la lumière, les systèmes de protection solaire et la conception urbaine sont des stratégies importantes d'économie d'énergie qui permettent de réduire l'effet d'ICU (Tsangrassoulis *et al.*, 1999, Ferrante et Cascella, 2001, cité dans Gago *et al.*, 2013). L'ICU résulte de la chaleur absorbée par les surfaces qui dominent l'environnement urbain, puis rayonnée. Les matériaux réfléchissants sont utilisés pour augmenter l'albédo des villes. Au lieu d'absorber le rayonnement solaire, ces surfaces en réfléchissent une grande partie, réduisant ainsi l'effet de chaleur localisé. Ces méthodes visant l'augmentation de l'albédo sont relativement simples et peu coûteuses à mettre en œuvre, comme la peinture de surface (Yang *et al.*, 2015, cité dans Leal Filho *et al.*, 2018; Qin, 2015).

#### 5.3.1 BÂTIMENTS

Les matériaux utilisés pour les façades des bâtiments influencent considérablement le bilan thermique urbain. Le rayonnement solaire absorbé par les matériaux de construction est dissipé par transfert de chaleur convectif et radiatif dans l'atmosphère et augmente la température de l'air environnant en conséquence. Une sélection appropriée des matériaux peut ainsi permettre de réduire la consommation d'énergie et d'améliorer les conditions de confort des bâtiments et des espaces urbains (Santamouris *et al.*, 2011).



Les bâtiments qui intègrent la protection contre la chaleur ont généralement des ouvertures pourvues de protections solaires, des matériaux réfléchissants et parfois d'ingénieux systèmes de rafraîchissement naturel.

### 5.3.1.1. Choix de matériaux réfléchissants

Plus un matériau a une réflectivité (albédo) et une émissivité élevées, moins il risque d'emmagasiner de la chaleur et de la diffuser dans l'atmosphère ou à l'intérieur du bâtiment par l'entremise des parois et du toit (Paroli et Gallagher, 2008; Synnefa *et al.*, 2007).

La réflectivité des surfaces fait référence à leur capacité à refléter le rayonnement solaire. Cette propriété se nomme « albédo ». L'albédo est représenté sur une échelle de 0 à 1. Un albédo élevé, qui s'approche de 1, signifie que la surface réfléchit une grande quantité du rayonnement solaire. Ainsi, plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé (voir tableau 5). Les surfaces claires et brillantes ont des valeurs d'albédo plus élevées que les surfaces plus foncées et opaques (Gago *et al.*, 2013).

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. Le coefficient d'émissivité d'un matériau est fonction de son état de surface et, pour un métal, de son degré d'oxydation. Ce coefficient est également exprimé par une valeur située entre 0 et 1. Un matériau d'émissivité faible est un meilleur isolant thermique (Liébard et De Herde, 2005).

**Tableau 5 Albédo de différents matériaux**

Albédo	Matériau
~0,93	Plâtre
~0,85	Aluminium poli
~0,82	Peinture blanche
~0,56	Marbre blanc
~0,36	Cuivre terni
~0,32	Brique rouge
~0,20	Béton sale
~0,15	Bois foncé

Source : Liébard et De Herde (2005).

La modification de la propriété thermique des différents matériaux de la surface urbaine est le moyen le moins coûteux de réduire l'effet d'ICU. Même si les impacts de cette stratégie sont inférieurs à ceux obtenus avec la végétalisation, le prix et la faisabilité technique permettent de couvrir de plus grandes surfaces et d'obtenir de meilleurs résultats (Rosenzweig *et al.*, 2006, cité dans Kleerekoper *et al.*, 2012). Le potentiel des matériaux réfléchissants dépend d'un ensemble de facteurs, y compris les caractéristiques du bâtiment, l'environnement urbain, les conditions météorologiques et géographiques, pour n'en nommer que quelques-uns (Yang *et al.*, 2015). De même, il a été observé que l'effet d'un albédo élevé sur la réduction de la température de surface est plus important les jours ensoleillés que les jours nuageux (Rosso *et al.*, 2016).

Afin d'augmenter l'albédo des toitures, il est possible de les peindre en blanc. Les peintures actuellement sur le marché peuvent renvoyer jusqu'à 90 % du rayonnement solaire (Perrin, 2020). L'industrie des matériaux pour toitures a développé récemment des produits performants de revêtement de toitures, tels que des membranes élastomères ou polyuréées, des tuiles et des graviers pâles, dont les albédos sont tous plus élevés que ceux des matériaux classiques (Akbari *et al.*, 2006; Perrin, 2020). L'utilisation de ces matériaux est recommandée pour les toits plats uniquement, dans

les régions sujettes aux ICU, car ils peuvent créer un **éblouissement** lorsqu’installés sur un toit en pente (Nikolopoulou, 2004; Perrin, 2020).

Des matériaux réfléchissants de quatrième génération basés sur des additifs nanotechnologiques, comme les peintures et carreaux thermochromiques (Ma *et al.*, 2001, 2002; Karlessi *et al.*, 2009) ou les matériaux à changement de phase (MCP) (Karlessi *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2007; Pasupathy *et al.*, 2008; Cabeza *et al.*, 2007), ont été développés et seront probablement utilisés pour de futures applications pour des toits réfléchissants (cité dans Santamouris, 2014). Tous les matériaux réfléchissants perdent un peu de leur efficacité réfléchissante avec le temps en raison de la saleté qui se dépose sur le revêtement (U.S. EPA, 2012). Il a été démontré qu’en raison des effets d’altération, le potentiel des matériaux réfléchissants est réduit d’au moins 25 % au cours de la première année suivant leur installation (Lontorfos *et al.*, 2018). L’altération des matériaux réfléchissants due à l’accumulation de poussière, de particules de suie et de biomasse, à l’exposition aux rayons UV, à la croissance microbienne, à la pénétration d’humidité et à la condensation réduisait considérablement leur réflectivité solaire initiale (Berdahl *et al.*, 2002, Levinson *et al.*, 2005, cité dans Lontorfos *et al.*, 2018).

### 5.3.1.2. Choix de revêtements de couleur pour toits à haute réflectivité solaire

Afin d’augmenter l’albédo des toitures en pente, le Lawrence Berkeley National Laboratory, en collaboration avec l’Oak Ridge National Laboratory, a effectué des recherches sur les propriétés de différents pigments de couleur. Ces études ont révélé qu’ils peuvent réfléchir un haut taux de rayonnement infrarouge proche (qui constitue la moitié de l’énergie solaire) (Akbari *et al.*, 2006). Visuellement, les couleurs des revêtements composés de ces pigments sont similaires à celles des toits classiques, mais leur capacité de réflectivité est nettement supérieure (Levinson *et al.*, 2005).

## GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS AUX MATÉRIAUX RÉFLÉCHISSANTS



De façon générale, lorsque l’albédo augmente de 0,1, la température ambiante lors de journées chaudes peut être réduite d’environ 1 °C (Santamouris, 2014). Pour la ville de Montréal, une simulation a montré qu’une augmentation de l’albédo de 0,2 à 0,85 permettrait de réduire les températures annuelles de 0,2 °C et jusqu’à 4 °C pendant les journées chaudes (Touchaei et Akbari, 2015). Un revêtement de toiture foncé (à faible albédo) peut atteindre une température de 50 °C plus élevée que celle de l’air ambiant tandis que, selon Akbari *et al.* (2001), une toiture à haut albédo atteindra une température maximale de 10 °C supérieure à celle de l’air ambiant. Cette surface peut grandement contribuer à la réduction des besoins en climatisation (Écohabitation, 2020c). Des études américaines ont démontré que la réduction des besoins en climatisation pouvait atteindre de 13 à 40 % selon les villes (Konopacki *et al.*, 1998). De la même façon, une étude californienne a établi que l’ajout de pigments de couleur à haut albédo dans la fabrication des revêtements de toiture pourrait réduire les besoins en climatisation de 10 %, la chaleur ambiante de 1 à 1,5 °C, et le smog d’environ 5 % (Akbari *et al.*, 2006). L’utilisation de matériaux réfléchissants et à faible émissivité générerait plus de fraîcheur en milieu urbain et, par le fait même, améliorerait la qualité de l’air en minimisant la formation de smog (Taha, 1997a).

Une étude réalisée pour la grande région de Toronto a estimé que les coûts liés à la climatisation pourraient diminuer de quelque 11 millions de dollars (150 gigawatts) si la ville installait des toitures blanches et recourait à une stratégie de verdissement stratégique (Akbari et Konopacki, 2004). La neige réduit également la demande de chauffage d’un toit réfléchissant, contribuant à une augmentation des économies annuelles globales en dépenses énergétiques (Hosseini et Akbari, 2016). Une étude de simulation a montré qu’avec une augmentation de l’albédo local de 100 % (0,15 à 0,30), une diminution de la température ambiante était presque négligeable, tandis que lorsque

## GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS AUX MATÉRIAUX RÉFLÉCHISSANTS (SUITE)

l'albédo local s'élevait à 0,45 (augmentation de 200 %), le pic de température ambiante dans la ville diminuait de 2,5 °C (Zhou et Shepherd, 2010).

Scherba *et al.* (2011), par leur étude réalisée pour plusieurs villes américaines à l'aide de techniques de simulation, ont rapporté que, pendant la nuit, les toits végétalisés présentaient une température de près de 1,5 à 2,0 °C plus élevée que les toits réfléchissants (albédo de 0,7). À l'inverse, pendant la période quotidienne de pointe, les températures de surface correspondantes étaient presque égales. Les températures de surface nocturnes plus basses du toit réfléchissant et la température de surface relativement plus élevée du toit végétalisé sont attribuées respectivement au refroidissement radiatif et à la capacité de stockage du sol.

Une expérience a été réalisée à Londres afin de mesurer la différence de température de deux parois murales situées dans le même canyon urbain, toutes deux recevant le même taux de rayonnement solaire. L'un des murs était fait d'un matériau à haut albédo (0,50), et l'autre, d'un matériau foncé à faible albédo (0,03). Différentes mesures ont été enregistrées lors d'un après-midi ensoleillé, et la température de la surface réfléchissante s'est avérée de 6 à 10 °C plus fraîche pendant cette période. En conclusion, si toutes les surfaces avaient eu une bonne capacité réfléchissante, la température du canyon aurait pu être diminuée de 3 à 4 °C au point le plus chaud de la journée (Watkins *et al.*, 2007).

### 5.3.2 ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

Les principes de l'architecture bioclimatique permettent de protéger le bâtiment des surchauffes en période estivale, car ils tiennent compte des conditions climatiques et environnementales. De la conception de l'enveloppe jusqu'à l'orientation du bâtiment, l'architecture bioclimatique met tout en œuvre pour assurer le confort thermique des occupants, protégeant ainsi les personnes les plus vulnérables de la chaleur (Liébard et De Herde, 2005; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2012). Cette approche est basée sur une recherche multidisciplinaire, assurant le développement d'un bâtiment sûr et confortable pour ses occupants, qui ne perturbe pas l'environnement et contribue à la biodiversité (Widera, 2015).

#### 5.3.2.1. Isolation et étanchéité des bâtiments

Bien qu'elles soient des paramètres associés aux climats froids, l'isolation et l'étanchéité sont aussi incontournables pour assurer le contrôle de la fraîcheur à l'intérieur du bâtiment. Elles servent à éviter la pénétration du froid ou de la chaleur dans le bâtiment par les murs, la toiture, le sol ou les vitrages, et donc à atténuer l'inconfort thermique des occupants (Déoux et Déoux, 2004).

Une bonne isolation du bâtiment permet la conservation de la chaleur en hiver, de même que l'évitement des surchauffes en été. Elle est assurée notamment par la mise en place d'une épaisseur d'isolant plus importante de l'enveloppe du bâtiment ainsi que par la pose de fenêtres à double ou triple vitrages (Écohabitation, 2020a). L'isolation du bâtiment est notamment efficace lorsque l'enveloppe ne présente pas ou peu de ponts thermiques. Les ponts thermiques sont généralement dus à des défauts de conception ou de réalisation de l'enveloppe isolante, qui laissent le froid s'infiltrer dans le bâtiment en hiver et ne permettent pas de garder le bâtiment au frais en été. Ils sont source d'inconfort thermique et de surconsommation d'énergie (chauffage et climatisation). Ils peuvent entraîner des zones de condensation et, conséquemment, le développement de moisissures (Liébard et De Herde, 2005).

Une meilleure étanchéité du bâtiment à l'air peut également limiter les flux d'air entre l'extérieur et l'intérieur. Elle permet aussi de contrôler l'humidité, pouvant être la cause de problèmes sanitaires et d'inconfort thermique. Afin de limiter le transfert de chaleur et d'humidité de part et d'autre de l'enveloppe des bâtiments, des procédés de construction, d'isolation et d'étanchéisation spécifiques sont appliqués aux nouvelles constructions (Poulin *et al.*, 2016). De même, une meilleure étanchéité doit être combinée à un système de ventilation adéquat, correctement entretenu, qui assurera une saine qualité de l'air intérieur et permettra de rafraîchir l'air ambiant la nuit si cela est possible (Déoux et Déoux, 2004).

Lorsqu'elles sont appliquées de façon concomitante et optimale, ces techniques touchant l'enveloppe des bâtiments offrent une solution passive et peu énergivore afin de contrer les vagues de chaleur et protéger les populations vulnérables de leurs effets (Santamouris *et al.*, 2010, cité dans Poulin *et al.*, 2016). Au Québec, plusieurs systèmes de certification de bâtiments sont disponibles, dont certains reconnus mondialement, comme les programmes LEED et ENERGY STAR. De même, le programme Novoclimat 2.0<sup>16</sup>, qui spécifie aussi des exigences techniques afin d'assurer un meilleur rendement énergétique, un plus grand confort et une meilleure qualité de l'air intérieur (Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2016), est offert pour les projets (bâtiments neufs ou en rénovation majeure) réalisés au Québec (sous le 51<sup>e</sup> parallèle) (cité dans Poulin *et al.*, 2016).

#### 5.3.2.2. Maximisation de l'inertie thermique

L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à emmagasiner puis à restituer la chaleur de manière diffuse. Plus l'inertie d'un bâtiment est forte, plus il se réchauffe et se refroidit lentement (Écohabitation, 2012b).

Les matériaux à forte inertie permettent d'emmagasiner et de stocker la chaleur en excès, évitant que la chaleur se retrouve dans l'air ambiant et améliorant ainsi le confort thermique. La chaleur contenue dans les matériaux de forte inertie sera diffusée de six à dix heures après que ceux-ci auront commencé à emmagasiner de la chaleur, soit vers la fin de la journée, au moment où il sera possible de faire entrer de l'air plus frais dans la maison (Hollmuller *et al.*, 2005; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2012). Les matériaux ayant une bonne inertie thermique sont par exemple la pierre, le béton, la brique et la terre crue.

Pour maximiser le potentiel de fraîcheur qu'offre une forte inertie des matériaux à l'intérieur des bâtiments, il serait idéal de placer les parois à forte inertie là où il y a de l'ensoleillement et de veiller à ce qu'au moins 50 % des parois des pièces soient à forte inertie (Courgey et Oliva, 2012; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2012). Une forte inertie thermique permet d'éviter les surchauffes en conservant la fraîcheur de l'air nocturne pendant toute la journée, tout en gardant la fraîcheur dans le bâtiment grâce à une bonne isolation et à une bonne étanchéité.

#### 5.3.2.3. Utilisation de vitrages performants

Les vitrages sont les points faibles de l'isolation thermique d'un bâtiment en été comme en hiver (Armstrong *et al.*, 2008). Il est cependant possible d'améliorer la performance de l'isolation thermique en faisant notamment les choix suivants :

- des vitrages antiémissifs intelligents qui réduisent l'apport solaire à l'intérieur du bâtiment. Ces vitrages s'adaptent en fonction des saisons et de l'angle d'inclinaison des rayons incidents : ils

---

<sup>16</sup> Novoclimat – Critères d'admissibilité : <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/residentiel/programmes/novoclimat-professionnels-construction/novoclimat-petit-batiment-multilogement#c4809>.

laissent passer la lumière en hiver quand le soleil est plus bas et limitent le rayonnement solaire en été lorsqu'il est plus haut (Armstrong *et al.*, 2008);

- des vitrages doubles ou triples avec lame d'air ou gaz inerte, qui permettent de minimiser les échanges de chaleur par conduction et convection. L'air étant un isolant, les vitrages doubles ou triples, qui renferment une lame d'air de 16 à 20 mm, augmentent la capacité d'isolation. L'insufflation d'argon ou de krypton (gaz non inflammables et non toxiques), en remplacement de l'air, offre une meilleure isolation de ces vitrages. Un vitrage double scellé comportant un enduit à faible émissivité, un intercalaire isolant et de l'argon permet d'obtenir un rendement similaire à celui d'un vitrage triple à un rapport qualité/prix optimal, sans la lourdeur potentiellement dommageable de ce dernier vitrage lors de l'ouverture d'une fenêtre et la perte d'entrée lumineuse par le triple vitrage (CAA-Québec, 2021; Écohabitation, 2018);
- des films plastiques autocollants bloquant 99,5 % du rayonnement UV et 86 % de l'énergie solaire (Fimpourvitre.com, 2021a, 2021b).

Frank (2005) précise que l'une des façons simples d'accroître l'inertie thermique de l'enveloppe d'un bâtiment est de limiter l'étendue des surfaces vitrées (cité dans Poulin *et al.*, 2016). De même, les vitrages au sud (au moins 60 %) sont à privilégier afin de récupérer de manière optimale la chaleur provenant du rayonnement solaire. Les ouvertures au nord et à l'ouest sont à minimiser, car elles ont un bilan énergétique déficitaire (Écohabitation, 2018).

Des vitrages à faible gain solaire existent également et pourraient régler le problème de la surchauffe en été. Toutefois, leur utilisation entraînerait une perte de gain solaire en hiver, et donc une hausse de la demande énergétique. À ce sujet, une étude a été réalisée par des chercheurs du Conseil national de recherches Canada, à Ottawa, afin de comparer la performance énergétique durant toute l'année des deux types de vitrage à faible émissivité : le vitrage à gains solaires élevés et le vitrage à faibles gains solaires. Elle a démontré que l'utilisation des vitrages à gains solaires élevés devrait être préconisée dans les villes où sont enregistrés plus de 3 000 degrés-jours Celsius (soit la majorité des villes québécoises). Également, l'utilisation des vitrages à gains solaires élevés générerait une réduction de 13 à 17 % des coûts combinés de chauffage et de refroidissement, tandis que celle des vitrages à faibles gains solaires entraînerait des économies de 8 à 10 % (Ressources naturelles Canada, 2014).

Une attention sera également portée aux puits de lumière intégrés aux toits. À moins de pouvoir les couvrir à l'extérieur, il est fortement déconseillé de les incorporer au bâtiment afin d'éviter l'effet de serre en résultant et pouvant nécessiter une climatisation énergivore (Courgey et Oliva, 2012; Écohabitation, 2020a). Les puits tubulaires, comparativement aux puits classiques, seraient plus adaptés au climat québécois, notamment grâce à une meilleure étanchéité, à une plus grande luminosité et à un moindre effet de serre pendant l'été (Écohabitation, 2020a).

Concernant les vieilles fenêtres, un changement complet est nécessaire seulement si le cadre ou le châssis est endommagé, l'isolation détériorée et qu'il y a présence de nombreuses fuites. Autrement, un changement de vitrage est relativement simple à effectuer et peu coûteux. Il est également possible d'ajouter une vitre supplémentaire à la fenêtre existante ou encore d'appliquer un film de surface (Écohabitation, 2018). L'idéal en conditions climatiques québécoises est de tirer profit de l'ensoleillement l'hiver et de s'en protéger l'été par des protections solaires diverses.

### 5.3.2.4. Ajout de protections solaires

En plus de la végétation qui, comme indiqué précédemment, est un excellent moyen de protéger l’enveloppe du bâtiment de l’ensoleillement direct, d’autres solutions existent afin de limiter l’apport de chaleur du rayonnement solaire. Il s’agit des protections solaires des vitrages et du bâtiment. Les protections solaires sont des dispositifs qui s’installent à l’extérieur, autour des fenêtres ou sur celles-ci, afin de bloquer l’entrée du rayonnement solaire estival, tout en laissant entrer la lumière (contrairement aux protections intérieures). Divers types de protections solaires sont présentées au tableau 6.

Le recours aux masques solaires fixes demande un dimensionnement précis afin de ne pas perdre les bénéfices de l’ensoleillement en saison hivernale (éviter d’installer un pare-soleil trop long qui bloquera l’entrée du rayonnement solaire en hiver, lorsque le soleil est plus bas) (Courgey et Oliva, 2012). Bien qu’elles soient beaucoup moins efficaces pour protéger l’intérieur du bâtiment de la surchauffe estivale, les protections intérieures, telles que les toiles opaques ou les stores, devront être claires et couvrir toute la surface de la fenêtre (Courgey et Oliva, 2012). Une étude canadienne menée par le Conseil national de recherches Canada a montré que des volets roulants, installés aux fenêtres d’une maison nord-américaine typique et à demi fermés, pouvaient amener une diminution des besoins de climatisation à hauteur de 67 % pendant les semaines les plus chaudes de l’été (Écohabitation, 2020b).

**Tableau 6 Différents types de protections solaires extérieures**

Protections solaires fixes			
<p><b>Auvent</b> Protection solaire horizontale opaque, incluse dans la structure du bâtiment</p> 	<p><b>Persiennes</b> Série de lamelles extérieures fixes ou mobiles disposées sur la façade</p> 	<p><b>Brise-soleil</b> Formé de lames disposées sur un châssis</p> 	<p><b>Débords de toits et balcons à l’étage</b> Protègent également les fenêtres et une partie du bâtiment du rayonnement solaire</p> 
Protections solaires amovibles			
<p><b>Pare-soleil horizontaux</b> Protègent les fenêtres, les façades ou une partie des trottoirs du rayonnement solaire</p> 	<p><b>Volets</b> Protègent les fenêtres du rayonnement solaire en période estivale et peuvent être retirés en hiver</p> 	<p><b>Auvents rétractables</b> Protègent également les fenêtres du rayonnement solaire en période estivale et peuvent être retirés en hiver</p> 	

Source : Liébard et De Herde (2005).

### 5.3.3 INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES

#### 5.3.3.1. Choix de pavés à hauts albédos

Il a été estimé que les surfaces foncées pouvaient représenter plus de 40 % de la superficie d'une ville. Comme mentionné précédemment, les grandes aires pavées urbaines, telles que les cours d'école, les routes et les aires de stationnement, sont souvent recouvertes d'asphalte ou de béton. Ces revêtements ont un albédo très faible. Il en résulte une élévation de la température ambiante, typique de l'effet d'ICU, pouvant atteindre des températures de 80 °C sous le soleil en période estivale (U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2019).

Les valeurs d'albédo typiques varient de 0,04 à 0,16 pour les chaussées en asphalte et de 0,18 à 0,35 pour les chaussées en béton (Pomerantz *et al.*, 2003), bien que l'albédo du nouveau béton puisse atteindre 0,69 (Marceau et VanGeem 2007, cité dans U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2019). L'épaisseur du pavé conditionnant sa capacité à emmagasiner de la chaleur, les surfaces plus minces sont à privilégier pour les albédos bas, qui absorbent la chaleur (Golden et Kaloush, 2006). L'albédo d'une surface d'asphalte est plus élevé en hiver qu'en été, car, en hiver, la surface d'asphalte peut être recouverte de glace ou de neige de sorte que la couleur de l'asphalte est plus claire, entraînant une augmentation du rayonnement réfléchi. Des changements d'albédo de 0,2, en été, à 0,3 ou 0,35, en hiver, ont ainsi été observés (Hermansson, 2004, cité dans Bobes-Jesus *et al.*, 2013). De même, il est à noter que l'albédo des chaussées change avec le temps, l'albédo des chaussées en béton s'abaissant et celui des chaussées en asphalte augmentant à mesure qu'elles vieillissent (EPA, 2008, cité dans U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2019).

Afin de minimiser l'accumulation de chaleur des pavés, il est possible d'en augmenter l'albédo par les techniques suivantes :

- **Pavé inversé** : les routes asphaltées actuelles sont composées d'environ 85 % de granulat minéral recouvert de 15 % de bitume. Une façon d'augmenter l'albédo de l'asphalte est d'inverser la façon de fabriquer le pavé, soit d'étendre une fine couche de bitume sur laquelle est disposé le granulat à haut albédo (p. ex., 0,60). Le granulat ainsi exposé augmente le taux de réflectivité du revêtement, ce qui diminue la température du pavé. Ces types de pavés sont cependant déconseillés pour les routes à grande vitesse, car les morceaux d'agrégats peuvent se décoller et occasionner des bris de pare-brise et affecter la sécurité des usagers.
- **Asphalte et béton coloré** : un ajout de pigments réfléchissants dans l'asphalte et le béton permet d'en augmenter la réflectivité.
- **Couche superficielle de béton** : il s'agit d'appliquer une couche de béton sur la surface d'une chaussée de bitume en bonne condition (Lai *et al.*, 2019). Le béton, ayant un albédo plus élevé (de 0,30 à 0,40 lorsque neuf), permet de conserver une température de surface plus fraîche. Cette méthode serait très performante et permettrait la circulation de tous les types de véhicules (Winkelman, 2005; Synnefa *et al.*, 2007).

En ce qui a trait spécifiquement aux chaussées en bitume, la plupart des pertes de réflectivité se produisent au cours du premier mois de leur exploitation. Ceci s'explique en raison de l'important dépôt de caoutchouc sur la surface des chaussées lié à la circulation automobile. La perte de réflectivité observée pour les chaussées en béton est quant à elle assez progressive dans le temps et est principalement due à l'important dépôt de poussière sur leur surface (Lontorfos *et al.*, 2018).

Tout comme pour les bâtiments ou les pavés, des peintures avec un haut taux de réflectivité solaire sont disponibles pour les véhicules, et leur utilisation devrait être préconisée par les entreprises. Ces peintures sont composées de pigments spéciaux, qui permettent d'en augmenter l'albédo de 17,5 % en moyenne (Ihara, 2006).

### GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS AUX PAVÉS À HAUTS ALBÉDOS

**+** Une étude du Heat Island Group a estimé que l'installation de pavés à hauts albédos combinée à une stratégie de végétalisation pouvait réduire la température ambiante de la ville de Los Angeles de 0,6 °C (Rosenfeld *et al.*, 1998). Selon une étude comparative de l'état des pavages de quelques villes américaines, la chaleur d'une ville aurait une incidence sur le taux de détérioration des composés de l'asphalte. Des pavés plus clairs auraient donc une meilleure durée de vie (Heat Island Group, 2021).

#### 5.3.4 AMÉNAGEMENT URBAIN

##### 5.3.4.1. Préconisation de la morphologie urbaine aérée

La répartition des structures et des bâtiments urbains au sein d'une ville influe sur la formation des ICU puisqu'elle peut déterminer l'absorption de l'énergie solaire et la formation des courants éoliens. La performance d'une zone urbaine en matière de rayonnement solaire et de flux d'air entre les bâtiments joue également un rôle dans la dispersion des particules en suspension dans l'air et des gaz polluants. La réponse urbaine au rayonnement solaire et aux flux d'air peut être contrôlée grâce à la conception urbaine (Ratti *et al.*, 2003, cité dans Gago *et al.*, 2013).

Kristl et Krainer (2001) ont fait une évaluation énergétique de la structure urbaine et du dimensionnement des parcelles. Ils ont observé que, pour les bâtiments bas (hauteur de 6 mètres), il était plus logique qu'ils aient une orientation nord-sud. À l'inverse, pour les bâtiments de moyenne (12 mètres) et grande hauteur (36 mètres), il n'y avait pas d'orientation privilégiée. Une augmentation de la largeur des bâtiments réduirait l'influence de l'orientation pour les bâtiments bas (cité dans Gago *et al.*, 2013). De même, une disposition plus aléatoire des bâtiments de grande hauteur peut réduire l'effet d'ICU (Cheng *et al.*, 2006, cité dans Gago *et al.*, 2013).

La morphologie urbaine peut notamment générer des canyons urbains où la chaleur et les polluants atmosphériques restent captifs (Gago *et al.*, 2013). Selon Ratti *et al.* (2006), une bonne dispersion des polluants nécessite une turbulence maximale (cité dans Gago *et al.*, 2013). La prise en compte du vent dans le processus d'aménagement urbain peut conduire à un rafraîchissement efficace des bâtiments et des zones urbaines (Kleerekoper *et al.*, 2012).

D'après les simulations de Wang et Akbari (2014) effectuées dans quatre quartiers urbains typiques à Montréal, les auteurs ont observé qu'une augmentation du facteur de vue du ciel amenait une réduction de la température de l'air le jour. La nuit, lorsque le rayonnement solaire direct était absent, les espaces ouverts permettaient davantage la perte de chaleur vers le ciel par le biais d'un rayonnement à ondes longues, ce qui amenait une température de l'air plus basse.

Il existe une corrélation entre des indicateurs morphologiques (rugosité, densité bâtie, albédo des surfaces, géométrie urbaine) et la chaleur dans les milieux urbains. Cette relation entre la morphologie urbaine et les microclimats a été établie dans différentes recherches (Fouad, 2007; Pinho *et al.*, 2003; Nikolopoulou, 2004; Gago *et al.*, 2013).

Les effets d'ICU sont relativement faibles et peuvent devenir négatifs (créant un îlot de fraîcheur) dans les parties de la ville où les bâtiments de grande hauteur créent un ombrage étendu, et les grandes capacités thermiques des matériaux de construction ralentissent le réchauffement (Oke *et al.*, 2017). Johanson (2006) a montré que même si un canyon peu profond est inconfortable en été, l'accès solaire en hiver le rend plus confortable qu'un canyon profond (cité dans Lai *et al.*, 2019). Un compromis entre la saison chaude et froide doit être envisagé lors de la conception de la morphologie urbaine pour le confort thermique extérieur, en particulier dans les régions tempérées (Lai *et al.*, 2019). Le flux de vent est canalisé dans le canyon si la rue est orientée dans une direction parallèle à celle du vent. Dans les villes côtières, une stratégie de ventilation efficace consiste à rendre l'orientation de la rue parallèle à la brise marine. Ng (2009) a suggéré de limiter l'angle entre la rue et l'orientation du flux de vent à moins de 30 degrés pour obtenir une bonne ventilation dans les villes à haute densité (cité dans Lai *et al.*, 2019).

Les urbanistes peuvent favoriser le confort thermique des citoyens en considérant les préoccupations suivantes lors de la planification urbaine :

- l'aménagement du territoire visant la bonne circulation des vents en période estivale, très utile dans les villes ayant un fort taux d'humidité. Combinés à cette stratégie d'aménagement, des aménagements de végétation et d'eau (jets d'eau, chutes et fontaines) peuvent créer davantage de fraîcheur.
- l'aménagement, la bonne répartition et la préservation des espaces verts. Les espaces verts urbains devraient être bien répartis afin de faciliter leur accès (moins de 20 minutes de marche de toute habitation). Ils doivent idéalement créer des corridors verts que les piétons peuvent facilement emprunter. De grands espaces verts situés en amont de la ville dans l'axe des vents dominants peuvent également contribuer à un rafraîchissement de l'air.
- la mixité des usages permettant l'aménagement de trajets continus destinés au transport actif et favorisant l'accès aux aires récréatives et sociales ainsi qu'aux différents services essentiels, tels que les commerces d'alimentation, à proximité des lieux d'habitation.
- la promotion du transport en commun, la limitation de l'utilisation des véhicules personnels et le développement urbain inspiré de l'**aménagement axé sur le transport en commun** (voir section [5.5.2.3](#)) (U.S. EPA, 2008b); *Coutts et al.*, 2010; Nikolopoulou, 2004; *Vivre en Ville*, s. d.).

#### 5.3.4.2. Aménagement d'espaces bleus

Le terme « espaces bleus » fait ici référence aux surfaces urbaines extérieures qui sont principalement dominées par l'eau, par exemple les lacs, rivières, étangs, fontaines, etc. Les lacs et les étangs (statiques), de même que les fleuves, rivières et ruisseaux (dynamiques), ont le potentiel d'abaisser la température de surface grâce à une évaporation continue, en particulier lors des jours ensoleillés (Yang *et al.*, 2020). L'évaporation augmenterait toutefois l'humidité autour des plans d'eau, ce qui réduirait le confort thermique (Yu *et al.*, 2015). D'un côté, les caractéristiques d'écoulement des plans d'eau dynamiques peuvent jouer un rôle important dans la distribution spatiale du dégagement de chaleur, puisque l'énergie stockée peut être transférée en aval en se déplaçant par les rivières (Hathway et Sharples, 2012; Kleerekoper *et al.*, 2012). D'un autre côté, compte tenu du mouvement limité de l'eau dans les plans d'eau statiques, ces derniers ont tendance à être plus sensibles aux échanges thermiques entre l'eau et l'air (Ampatzidis et Kershaw, 2020).

L'intensité de rafraîchissement des plans d'eau serait généralement plus forte dans les villes de basse latitude que dans les villes de haute latitude (Yu *et al.*, 2020). De même, l'effet de rafraîchissement dépendrait des variations saisonnières et diurnes (Ellison *et al.*, 2017). Lorsqu'un

plan d'eau est intégré dans le noyau urbain, un effet d'oasis peut être observé pendant la journée (Ampatzidis et Kershaw, 2020). Des vents relativement forts au-dessus de la surface de l'eau augmente l'évaporation et accentue l'effet de rafraîchissement, tandis que l'augmentation de la teneur en vapeur d'eau limite la perte de chaleur par évaporation et peut entraîner une diminution de l'effet de rafraîchissement (Webb et Zhang, 1999, Stathopoulos, 2006, cité dans Ampatzidis et Kershaw, 2020). En raison de leur forte capacité thermique, les plans d'eau peuvent toutefois avoir un effet de réchauffement si les zones urbaines environnantes se refroidissent plus rapidement (Broadbent *et al.*, 2018b).

La capacité d'un plan d'eau à rafraîchir l'environnement urbain environnant dépend principalement des conditions environnementales et météorologiques locales, comme la température ambiante, l'humidité, la vitesse et la direction du vent, ainsi que les propriétés inhérentes de l'eau (Ampatzidis et Kershaw, 2020). L'effet de rafraîchissement de l'eau les jours ensoleillés est plus important que durant les jours nuageux, car le rayonnement solaire plus élevé les jours ensoleillés fournit de l'énergie supplémentaire pour l'évaporation de l'eau et la réduction de la température de l'air (Lai *et al.*, 2019).

Les petites installations ou étendues d'eau (bassins, fontaines et jets d'eau) jouent le rôle de tampons thermiques, car elles tempèrent les fluctuations de température, créant ainsi des microclimats. Il est à noter que les grands plans d'eau augmentent la propagation du son et devraient être évités dans les zones urbaines très bruyantes (Déoux et Déoux, 2004).

D'un point de vue stratégique, la promotion de l'utilisation des espaces bleus pour bénéficier de l'effet d'évapotranspiration est difficile en raison des coûts élevés. La mise en place de fontaines peut être considérée comme une bonne option coût/bénéfice dans des espaces spécifiques à forte utilisation, comme les rues ou les places commerciales. Avec une conception intelligente, il est possible d'utiliser le même espace à d'autres fins en hiver (Kleerekoper *et al.*, 2012).

Différentes installations peuvent être mises à la disposition de la population : aires aquatiques, bassins, brumisateurs, etc. Plus récemment, les miroirs d'eau (fine pellicule d'eau répartie sur des dalles) permettent aussi aux citoyens de se rafraîchir. Les procédés pulvérisateurs ou brumisateurs favorisent l'évapotranspiration en maximisant la surface de contact air-eau et, ainsi, accentuent le rafraîchissement de l'air ambiant. Il faut noter que l'efficacité de l'évaporation provoquée (brumisation, arrosage) est plus importante que celle de l'évaporation naturelle, mais bien plus grande consommatrice d'eau (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2012).

L'accès et la proximité des aires aquatiques sont aussi essentiels afin que la population puisse se rafraîchir, tant dans les milieux naturels que dans les aires publiques aménagées (voir figure 10). D'autres installations, comme les bassins et les brumisateurs, servent aussi au rafraîchissement et peuvent être aménagées dans les parcs et les centres récréatifs (Raymond *et al.*, 2006). L'eau trouve dans l'air ambiant l'énergie nécessaire pour s'évaporer : le processus d'évaporation rafraîchit ainsi l'air ambiant.

**Figure 10 Jeux d'eau et piscine**

Crédit photo : Ville de Québec.

#### 5.3.4.3. Installation d'aires de rafraîchissement

L'accès à des aires de rafraîchissement est parfois essentiel pour soulager la population des effets néfastes de la chaleur accablante (centres commerciaux, écoles, centres culturels ou tout autre édifice public climatisé pouvant accueillir la population). Il est également important de prévoir une aide aux personnes ne pouvant se déplacer seules afin d'accéder à ces lieux (English *et al.*, 2007; Widerynski *et al.*, 2017). Des aires de repos, par exemple des abris ou des centres climatisés, doivent aussi être disponibles pour les travailleurs extérieurs. Les données montrent que les centres de rafraîchissement sont plus souvent fréquentés par des personnes à faible risque que par des personnes à haut risque, ce qui souligne le besoin d'encourager les personnes les plus à risque à visiter les zones fraîches (Kovats *et al.*, 2006, cité dans Widerynski *et al.*, 2017). D'après Kosatsky *et al.* (2009), à Montréal, 25 % des 238 patients âgés souffrant de maladies chroniques ont déclaré qu'ils refuseraient de se mettre à l'abri dans une installation de rafraîchissement en cas de canicule prolongée en raison de la préoccupation liée au fait de dormir dans un dortoir ou encore de ne pas se considérer comme étant assez malades pour en avoir besoin (cité dans Widerynski *et al.*, 2017).

#### GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS AUX ESPACES BLEUS ET AUX INSTALLATIONS DE RAFRAÎCHISSEMENT

**+** Les espaces bleus peuvent générer un effet de rafraîchissement de 1 à 3 °C dans leur voisinage (environ 30 mètres) (Kleerekoper *et al.*, 2012). Il existe cependant peu d'informations concernant les impacts plus larges des espaces bleus sur l'ICU à l'échelle de la ville. Plusieurs chercheurs ont suggéré que la mise en œuvre de multiples espaces bleus plus petits dans un contexte urbain pouvait fournir un rafraîchissement plus dispersé par rapport à un seul plan d'eau plus grand qui, en revanche, pouvait fournir un effet de refroidissement plus important, mais localisé. La taille et la forme des espaces bleus s'avèrent être des variables importantes pour le rafraîchissement obtenu en milieu urbain, mais il n'y a pas de consensus dans la littérature en raison des différents lieux et climats où les études ont été réalisées (Ampatzidis et Kershaw, 2020).

Les applications d'eau en général sont plus efficaces lorsqu'elles ont une grande surface, ou lorsque l'eau coule ou se disperse, comme à partir d'une fontaine (Kleerekoper *et al.*, 2012). En se concentrant principalement sur les études qui impliquent des technologies basées sur l'évaporation de l'eau (p. ex., arroseurs, rideaux d'eau ou fontaines installés dans les espaces publics pour atténuer le stress thermique), il a été observé qu'en moyenne, les techniques à base d'eau

## GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS AUX ESPACES BLEUS ET AUX INSTALLATIONS DE RAFRAÎCHISSEMENT (SUITE)

fournissent un effet de rafraîchissement moyen de 1,9 °C et que plus la température de l'air est élevée, plus le potentiel de rafraîchissement est élevé (Santamouris *et al.*, 2017).

Völker *et al.* (2013) ont mené une méta-analyse compilant des résultats empiriques provenant de plans d'eau statiques et dynamiques, évaluant les effets des espaces bleus sur la température par rapport à une zone urbaine de référence. La différence de température médiane était de 2,5 °C, indiquant un fort effet de rafraîchissement. La méta-analyse de Gunawardena *et al.* (2017) a révélé que les espaces bleus peuvent amener un réchauffement nocturne, affectant davantage le confort thermique et la santé humaine. Au Brésil, Targino *et al.* (2019) ont observé que le lac Igapó était plus chaud que le parc verdoyant voisin tout au long de la journée, mais relativement plus frais que l'environnement urbain. Il convient de mentionner que les mesures ont été effectuées à la fin de l'automne. En effet, en général, le réchauffement est plus apparent à la fin de l'été lorsque la température de l'eau atteint son maximum en raison de la chaleur accumulée (Gunawardena *et al.*, 2017). Un potentiel de rafraîchissement plus élevé des parcs verts a également été mentionné dans Li et Yu, 2014, cité dans Ampatzidis et Kershaw (2020). Les études ont montré que l'expansion des espaces verts offrirait de plus grands avantages que l'expansion des plans d'eau. Les espaces verts seraient plus susceptibles de fournir des effets thermiques constants de jour comme de nuit par rapport aux espaces bleus (Sun *et al.*, 2018). Hathway et Sharples (2012) ont observé qu'à Sheffield, au Royaume-Uni, l'effet de rafraîchissement des plans d'eau ne se produisait que pendant la journée et variait de 0,25 à 1,82 °C (cité dans Yu *et al.*, 2020).

À l'instar des espaces verts, l'efficacité de rafraîchissement (ampleur et distribution) des espaces bleus est influencée (entre autres) par la taille et la répartition de ces espaces, de même que par la distance entre chacun d'eux (Gunawardena *et al.*, 2017). Les résultats d'une étude réalisée en Chine ont révélé qu'à mesure que la température de l'air baissait, l'effet de rafraîchissement d'un lac devenait de plus en plus faible, atteignant la valeur la plus basse de 0,3 °C en octobre. De même, les rives des lacs à forte végétation jouent un rôle plus important dans le rafraîchissement de la température de l'air que les rives des lacs constituées de matériaux perméables ou imperméables (Yang *et al.*, 2020). D'après leur étude effectuée à Bucarest, en Roumanie, Robitu *et al.* (2004) ont constaté qu'un étang de 4 mètres sur 4 mètres pouvait également rafraîchir un environnement urbain en été, en indiquant un effet de rafraîchissement d'environ 1 °C à une hauteur de 1 mètre, mesuré à une distance de 30 mètres de celui-ci (cité dans Kleerekoper *et al.*, 2012). D'autres études corroborent l'efficacité des étangs en termes de rafraîchissement urbain : l'une des premières études ayant mesuré l'effet de rafraîchissement d'un étang urbain a été menée à Fukoka, au Japon, par Ishii *et al.* (1991), qui ont observé une réduction de la température de l'air de 3 °C. Plus tard, Nishimura *et al.* (1998) ont mené une étude similaire à Osaka, au Japon, lors de deux jours d'été consécutifs typiques dans des conditions de ciel dégagé durant le jour. Les résultats ont montré une diminution de la température allant jusqu'à 2 °C du côté de l'étang sous le vent.

De même, les observations découlant d'une étude réalisée à Tel Aviv, en Israël, ont montré une réduction de la température ambiante de près de 1 °C pour un petit étang (40 000 mètres carrés) pendant la journée, indiquant que même de petits espaces bleus peuvent fournir des effets de rafraîchissement. Syaffi *et al.* (2016) ont utilisé un modèle expérimental à l'échelle réduite d'un îlot urbain, à Saitama, au Japon, afin d'étudier les effets thermiques d'un étang. Malgré l'effet rafraîchissant de près de 2,5 °C pendant la partie la plus chaude de la journée, ils ont également constaté que, pendant la nuit, l'étang pouvait être plus chaud que son environnement urbain. En utilisant le même modèle, Syaffi *et al.* (2017) ont étudié l'effet de différentes tailles et configurations

## GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS AUX ESPACES BLEUS ET AUX INSTALLATIONS DE RAFRAÎCHISSEMENT (SUITE)

d'étangs sur la capacité de régulation thermique urbaine. Les résultats ont montré que plus l'étang était grand, plus l'effet de rafraîchissement dans les environs était important. En ce qui concerne l'orientation, les étangs parallèles à la direction dominante du vent semblaient plus efficaces avec une baisse moyenne de la température de l'air d'environ 1,5 °C à une hauteur de 30 centimètres au-dessus de l'eau, correspondant au niveau piétonnier réduit. Enfin, Syafii *et al.* (2017) ont également souligné les effets négatifs possibles de l'augmentation de l'humidité qui pourrait nuire au confort thermique (cité dans Ampatzidis et Kershaw, 2020).

Ampatzidis et Kershaw (2020) ont réalisé une méta-analyse afin d'examiner les effets thermiques des espaces bleus statiques sur le climat urbain. Bien que relativement moins nombreuses, les études utilisant la télédétection pour étudier l'ICU en Europe suggèrent que les plans d'eau peuvent atténuer les températures de l'air urbain de 1 à 10 °C. De même, il a été observé que les espaces bleus ont constitué le principal mécanisme de rafraîchissement d'une zone urbaine de Toronto, au Canada.

Les techniques liées à la micronisation de l'eau (pulvérisation de gouttelettes d'eau de l'ordre du micromètre en suspension dans l'air) favorisent le rafraîchissement de l'air ambiant. Leur effet est maximisé dans un climat chaud et sec, mais permet également de faire des gains de fraîcheur dans les milieux où l'humidité relative est plus élevée, notamment lorsque le rafraîchissement par mouvements d'air est possible (Liébard et De Herde, 2005). À la suite d'une canicule qui a sévi en Europe en 2003, des chercheurs français ont mené une étude portant sur l'utilisation d'un brumisateur dans un centre de gérontologie de Marseille. L'utilisation de cet appareil dans la salle de séjour où circulent les soignants et les résidents a entraîné une réduction de la température intérieure de 3 °C (Bonin-Guillaume, 2005).

### 5.3.4.4. Utilisation de protection solaire dans les zones publiques

Le rayonnement solaire direct élève la température ressentie par l'humain et a un impact marqué sur son confort thermique (Watkins *et al.*, 2007). Au même titre que les bâtiments ou les infrastructures, l'ombrage permet aux personnes de se protéger en partie du rayonnement solaire direct et des rayons UV responsables du cancer de la peau. L'ombre peut être fournie grâce à une palette d'options allant des solutions « d'ombre naturelle » à une « ombre construite ». La première utilise des arbres, de grands arbustes, des vignes et des couvre-sol pour bloquer les rayons UV directs et absorber les rayons UV indirects; la deuxième est conçue et configurée pour répondre à des besoins spécifiques et utilise des composants fabriqués (Toronto Cancer Prevention Coalition, 2010). À cette fin, des pergolas, des auvents ou des parasols, par exemple, pourront être installés dans les lieux publics pour protéger les citoyens du rayonnement solaire.

### 5.3.4.5. Choix des matériaux dans les parcs

Il est à noter que les matériaux des terrains artificiels absorbent et stockent la chaleur, augmentant considérablement les températures de surface et de l'air, et amplifiant le phénomène d'ICU (Macfarlane *et al.*, 2015). Plusieurs études ont démontré qu'un gazon artificiel pouvait atteindre 10 °C de plus par rapport aux températures environnantes (De Carolis, 2012; Government of Western Australia, 2011; McNitt *et al.*, 2007). Une autre étude, réalisée à Montréal, a tenté de comparer les températures de surface de trois types de gazons : artificiel, naturel et entretenu. Durant la journée, la température de surface moyenne du gazon synthétique était de 17,4 °C supérieure au gazon entretenu et de 10,3 °C au gazon naturel. Cette différence de température était cependant moins

marquée durant la nuit (température de 2 °C supérieure au gazon naturel et de 0,6 °C inférieure au gazon entretenu) (Canuel Ouellet, 2017).

## 5.4 Mesures de gestion durable des eaux pluviales

---

Les changements climatiques sont susceptibles d'influencer le régime pluvial du sud du Québec, notamment par l'augmentation en intensité des maxima annuels et par des pluies plus intenses et fréquentes. Jumelées à une urbanisation croissante, ces modifications pourront engendrer une augmentation des volumes et des débits de pointe des eaux de ruissellement urbaines, et ainsi entraîner notamment un accroissement des risques liés aux inondations, aux débordements d'égout et à la dégradation de la qualité de l'eau des cours d'eau récepteurs (Dagenais *et al.*, 2014).

La gestion durable des eaux pluviales est une approche ayant des avantages multiples qui vont bien au-delà de la simple atténuation des problèmes d'inondations et de qualité de l'eau. Elle doit être considérée comme un moyen de lutter contre les changements climatiques et les phénomènes exacerbés par ces derniers, comme les ICU (Charlesworth, 2010). En favorisant l'infiltration, l'évaporation et l'évapotranspiration (ouvrages végétalisés), les avantages en découlant sont communément retrouvés dans la littérature, tant en ce qui concerne l'aspect hydrologique (réduction des volumes et débits de pointe), esthétique (contribution au paysage urbain) ou environnemental (réduction des ICU, hausse de la biodiversité, amélioration de la qualité de l'air et de l'eau) (Dagenais *et al.*, 2014; Flanagan *et al.*, 2017).

Plusieurs études établissent une corrélation entre le taux d'humidité des sols et l'atténuation des ICU. En effet, grâce à l'évaporation, les sols humides ont des capacités de rafraîchissement semblables à celles de la végétation, et leurs températures de surface sont plus fraîches que celles des sols secs (Lakshmi *et al.*, 2000; Sun et Pinker, 2004). Ainsi, un substrat humide permet une meilleure dissipation de la chaleur et minimise la demande en rafraîchissement pendant la période estivale (Castleton *et al.*, 2010; Raji *et al.*, 2015). Afin de favoriser l'humidification des sols en milieux urbains et d'assurer une disponibilité en eau pour les végétaux, plusieurs pratiques de gestion durable des eaux pluviales et de maîtrise de la pollution de l'eau existent. Elles s'inscrivent dans l'approche de développement à faible impact qui préconise une gestion élargie prenant en compte diverses échelles, allant du bassin versant au lot privé, de même que différentes interventions pour les aménagements. Cette approche vise à imiter l'hydrologie naturelle ou antérieure au développement en limitant les perturbations des milieux naturels lors du développement afin de réduire le ruissellement à la source et contrôler les concentrations de polluants (Credit valley Conservation et Toronto and Region Conservation, 2010; Dagenais *et al.*, 2014).

Afin que les aménagements à petite échelle soient efficaces et sécuritaires, les sites où ils sont implantés doivent faire l'objet d'études préalables. La proximité d'une nappe phréatique, la granulométrie du sol et les risques de pollution sont autant de facteurs à considérer lors de l'instauration de mesures visant l'infiltration des eaux pluviales dans le sol. S'il s'agit de l'aménagement d'un site où les sédiments et les polluants sont présents (p. ex., stationnements et sites industriels), un suivi et un entretien rigoureux doivent être effectués (MDDEFP et MAMROT, s. d.; Dagenais *et al.*, 2014).

Les pratiques de gestion des eaux pluviales peuvent être divisées en trois catégories, soit : 1) les pratiques visant le prétraitement (p. ex., bandes filtrantes), 2) les pratiques liées au transport des eaux de ruissellement (p. ex., noues) et 3) les pratiques d'infiltration ou de rétention à la source (p. ex., toits verts, zones de biorétention) ou encore de fin de chaîne de traitement (p. ex., marais filtrants). Étant donné la difficulté d'implantation des noues et des bandes filtrantes en milieu bâti

existant en raison de l'espace qu'ils nécessitent, les pratiques présentées dans cette section sont celles liées à l'infiltration ou à la rétention à la source. De même, en lien avec l'approche de développement à faible impact qui vise le contrôle à la source, et en raison de la longue période de rétention de l'eau ( $\geq 24$ -48 heures) pouvant être propice à la prolifération des moustiques, les pratiques de fin de traitement ne sont pas détaillées (Dagenais *et al.*, 2014).

#### 5.4.1 PLANTATION D'ARBRES ET INSTALLATION DE TOITS VERTS

La promotion du verdissement doit aller de pair avec celle d'une meilleure gestion des eaux pluviales (Kleerekoper *et al.*, 2012). L'infiltration de l'eau est grandement maximisée grâce au système racinaire des arbres. Les végétaux comportant des racines plus épaisses seraient particulièrement efficaces en créant des pores de dimensions importantes qui favorisent l'infiltration des eaux pluviales. Le taux d'interception varie en fonction de l'âge, du type d'écorce, de l'importance du feuillage (et donc de la saison), de l'architecture (taille des rameaux et de leur disposition), de la densité du peuplement ainsi que des espèces présentes. D'autres facteurs viennent également influencer l'interception de la pluie, comme l'intensité et la durée de la pluie, de même que la vitesse du vent. De façon générale, ce sont les arbres qui interceptent davantage la pluie, suivis des arbustes, des arbrisseaux, puis des herbacées (Dagenais *et al.*, 2014).

Il est admis que la végétalisation des milieux urbains et l'installation de toitures végétales améliorent la qualité de l'air et de l'eau, diminuent la température ambiante et réduisent la demande énergétique liée à la climatisation (Niachou *et al.*, 2001; Missios *et al.*, 2005; Charlesworth, 2010; Gago *et al.*, 2013). Les aménagements végétalisés peuvent aussi capter une grande quantité des eaux pluviales (Gill *et al.*, 2007; DeNardo *et al.*, 2005; Charlesworth, 2010; Gago *et al.*, 2013; Besir et Cuce, 2018), ce qui permet de compenser la perte de couvert végétal engendrée par la présence de bâtiments au sol (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2012). Les toits verts ont des caractéristiques qui influencent leur capacité de rétention d'eau, dont la profondeur du substrat, la pente du toit, le type de plantes et l'intensité des précipitations (Oberndorfer *et al.*, 2007). Afin d'éviter l'augmentation de la teneur de l'eau en phosphore et d'autres polluants à la suite du transit par les toits verts, il est important de bien sélectionner le substrat de croissance et d'ajuster la fertilisation en conséquence. Enfin, les végétaux seraient également utiles afin de limiter le colmatage des surfaces des systèmes d'infiltration des eaux pluviales (Dagenais *et al.*, 2014).

#### RÉTENTION DES EAUX DE PLUIE LIÉE AUX ARBRES ET AUX TOITS VERTS

 Une extrapolation du potentiel d'interception des précipitations par les arbres publics de la ville de Montréal a montré que ceux-ci capturaient actuellement environ 2,2 % des eaux pluviales (Vergriete et Labrecque, 2007). Une autre étude a évalué que la capacité de rétention d'eau de pluie d'un toit végétalisé de 10 centimètres d'épaisseur était d'environ 60 % (Moran *et al.*, 2005). La rétention des eaux de pluie varierait de 25 à 50 % pour les substrats plus minces. Selon la littérature, les toits extensifs pourraient retenir un maximum de 45 % d'eau alors que les toits intensifs en retiendraient jusqu'à 75 % (Carter et Keeler, 2008). Une étude par modélisation a montré que si 10 % des toits de Bruxelles étaient végétalisés, la réduction du ruissellement total serait de 2,7 % (Mentens *et al.*, 2006).

#### 5.4.2 CHOIX DE REVÊTEMENTS PERMÉABLES

La surface poreuse des revêtements perméables capte les précipitations et le ruissellement de surface permettant l'infiltration lente de l'eau dans le sol (Selbig et Buer, 2018).

Ils engendrent des bénéfices en termes de réduction du ruissellement pluvial, de protection des sols par infiltration de l'eau ou encore de réduction de la chaleur urbaine par échange hydrothermique. Les sols recouverts de gravier sont utilisés comme revêtements perméables depuis longtemps. Ils permettent une bonne infiltration de l'eau dans le sol lorsque ce dernier n'est pas trop compact, mais ils sont peu prisés en milieu urbain (Gilbert et Clausen, 2006).

D'autres types de revêtements perméables existent, soit :

- les dalles imperméables (pavé uni), disposées les unes contre les autres et permettant à l'eau de pluie de percoler dans les joints perméables (voir figure 11). Ce type de revêtement peut être utilisé si le sol sur lequel il est installé est lui-même perméable, dans des lieux variés comme les cours d'école, les rues piétonnières, les ruelles, les parcs, les voies d'accès pour piétons, les pistes cyclables, les stationnements, etc. Il ne convient pas aux aéroports ou aux autoroutes, car il est vulnérable aux freinages brusques et aux poids lourds.
- les dalles ou revêtements de béton poreux permettant l'écoulement de l'eau par de petites cavités. Ce type de pavé est obtenu en éliminant ou en réduisant les matériaux les plus fins (sable et granulats plus fins). Le béton poreux a généralement 20 % de vides (pores) par rapport à son volume total et peut laisser l'eau s'infiltrer à une vitesse de 5 à 45 mètres à l'heure (Pilon *et al.*, 2019). Son entretien requiert un nettoyage par aspirateur ou au jet d'eau afin d'en dégager toute substance pouvant colmater les cavités. Son utilisation est préconisée pour les voies piétonnières, l'absence de joint ne conférant pas aux dalles une très grande résistance mécanique.
- les structures permettant l'engazonnement, de par leur forme alvéolée, permettent la végétalisation du sol et favorisent l'infiltration de l'eau dans celui-ci. Elles peuvent également supporter le stationnement de véhicules légers (voir [Figure 4](#)) (Coste et Noel-Letendre, 2019).

Les revêtements poreux peuvent poser certains défis puisqu'ils permettent à l'eau de s'infiltrer vers les couches de fondation, ce qui peut affecter l'intégrité structurale lorsque de lourdes charges sont appliquées ou lors des périodes de gel-dégel. La conception des matériaux et de la fondation doit ainsi tenir compte à la fois de la capacité structurale et de la perméabilité. De même, ils exigent un entretien régulier et des pratiques particulières afin d'éviter la contamination de la nappe phréatique et le colmatage. L'épandage de sable en hiver n'est pas approprié puisqu'il peut accélérer le processus de colmatage du revêtement (MDDEFP et MAMROT, s. d.).

## CAPACITÉ D'INFILTRATION DE L'EAU LIÉE AUX REVÊTEMENTS PERMÉABLES

**+** Selon le Milwaukee Metropolitan Sewerage District (2020), les pavés perméables et poreux permettraient l'infiltration de 70 à 80 % des précipitations pluviales annuelles. De plus, une étude comparant trois types de revêtements de stationnement (asphalte, pavés perméables et poussière de roche) a montré que les pavés perméables favorisaient une plus grande filtration de polluants et un meilleur assainissement des eaux de ruissellement (Gilbert et Clausen, 2006).

Vaillancourt (2018) a caractérisé la capacité d'infiltration de 5 sites de pavages perméables de la grande région de Montréal. L'auteur a observé une très grande capacité d'infiltration sur les sites. Les données pluviométriques ont été analysées pour l'un des sites et les résultats ont démontré une diminution du volume de ruissellement de 6 à 12 millimètres par événement de pluie et un décalage du débit de pointe allant jusqu'à 3 heures.

Pilon *et al.* (2019) ont réalisé une étude aux États-Unis, dans l'État du Tennessee, portant sur l'évaluation de la qualité de l'eau sur un site comportant à la fois de l'asphalte imperméable et des aires de stationnement en béton perméable. Les résultats ont montré une diminution statistiquement significative des polluants avec l'utilisation du béton perméable (matières en suspension totales, nitrite, hydrocarbures, etc.) par rapport au ruissellement de l'asphalte.

**Figure 11** Dalles imperméables avec joints perméables – Projets « Le Vieux Beloeil prend le frais » et « Place St-Martin » et espaces piétonniers permettant la percolation de l'eau



Crédit photo : Mathilde Botella, Daniela Kowu et Mélissa Giguère.

### 5.4.3 AMÉNAGEMENT DE JARDINS PLUVIAUX

Afin de diriger les eaux de pluie s'écoulant du toit, des différentes surfaces imperméables du bâtiment et de son pourtour vers le réseau de drainage des eaux pluviales, il est possible de réaliser un jardin pluvial à faible coût. Pour des bâtiments résidentiels de petite et moyenne tailles, cet aménagement est très intéressant et relativement facile à mettre en place. Les jardins pluviaux sont un moyen de réduire le ruissellement et d'augmenter le taux d'humidification des sols ainsi que la percolation de l'eau pour la régénération des nappes phréatiques (Frazer, 2005; U.S. EPA, 2007).

Selon la Société canadienne d'hypothèques et de logement (2011), le jardin pluvial est « un lit de plantes ou de pierres, conçu expressément pour capter les eaux pluviales et permettre au sol de les absorber lentement par infiltration ». Les dimensions des jardins pluviaux dépendront de la quantité d'eau de ruissellement qui sera captée ainsi que de la rapidité à laquelle elle sera absorbée. De façon générale, la profondeur de la dépression devrait se situer entre 7,5 et 15 centimètres en fonction de la capacité d'absorption du sol, du plus argileux au plus sablonneux. Leur forme devra être longiligne (au moins 1,5 fois plus long que large) et leur longueur, perpendiculaire à la dépression. L'aménagement sera généralement constitué d'un mélange de plantes vivaces, d'herbage ornemental et d'arbustes ligneux aux racines profondes qui sont adaptés tant aux conditions humiques que sèches. Il faut s'assurer que le sol est perméable jusqu'à une profondeur de 0,6 à 1,2 mètre sous le jardin pluvial (Société canadienne d'hypothèques et de logement, 2011). Lorsqu'un jardin de pluie est bien conçu, toute eau stagnante devrait être disparue après 24 à 48 heures (Franti et Rodie, 2013).

Il est recommandé de situer le jardin pluvial à au moins 3 mètres – mais pas plus de 9 mètres – de la maison, de procéder à l'aménagement sur une pente douce (inférieure à 12 %) et loin des câbles, des conduites de gaz, des tuyaux enfouis ainsi que des fosses septiques. Il est également conseillé de tenir compte de l'eau de ruissellement provenant des terrains avoisinants et qui peut s'écouler vers l'emplacement du jardin pluvial. Afin d'assurer la durabilité des jardins pluviaux, l'ajout d'une couche de paillis organique permet de retenir l'humidité du sol pendant les périodes de sécheresse. De même, la sélection de plantes ne nécessitant pas d'être taillées et fertilisées fréquemment vient minimiser l'entretien des jardins pluviaux (Franti et Rodie, 2013).

Les jardins privés peuvent être utilisés comme jardins de pluie, favorisant l'infiltration lente de l'eau. La Royal Horticultural Society (2005) mentionne que la capacité d'un jardin moyen de banlieue est de 10 litres d'eau par minute, soit 10 % des précipitations incidentes absorbées. Cumulativement, dans une ville, cela pourrait représenter des milliers de litres d'eau qui pourraient être détournés du réseau d'égout (cité dans Charlesworth, 2010).

#### CAPACITÉ D'INFILTRATION DE L'EAU LIÉE AUX JARDINS PLUVIAUX



L'impact sur le ruissellement à la suite de l'aménagement de jardins pluviaux expérimentaux dans un quartier résidentiel a été comparé à celui d'un quartier similaire sans jardin de pluie. Il a été observé que le volume des eaux de ruissellement du quartier abritant les jardins pluviaux était de 90 % inférieur à celui du quartier de référence (Richards, 2009, cité dans Boucher, 2010).

#### 5.4.4 CONCEPTION DE BASSINS DE RÉTENTION

Le bassin de rétention est un aménagement du même type que le jardin pluvial, mais de plus grande dimension. Il s'agit d'une dépression réalisée grâce à un dénivelé du terrain. Cette dépression recueille l'eau qui y ruisselle et la laisse s'infiltrer dans le sol (U.S. EPA, 1997). Il existe deux types de bassins de rétention : les bassins d'eau qui conservent une eau stagnante en permanence (bassin avec retenue permanente) et les bassins secs conçus pour recevoir certains types de débits et qui se vident relativement rapidement et demeurent secs en l'absence de précipitations. Parmi les bassins secs, ceux à retenue prolongée permettent la retenue des eaux pour les événements fréquents (de 24 à 48 heures), améliorant ainsi le traitement de l'eau. Ce type d'aménagement procure aussi d'autres avantages tels que la création de paysages végétaux, voire d'espaces de jeux et de loisirs (bassins secs) en milieu urbain. Il peut être doté de moyens prévenant la pollution du milieu, comme un bassin de sédimentation ou des plantes aquatiques filtrantes, notamment dans les stationnements et les sites industriels (MDDEFP et MAMROT, s. d.). La décantation est le principal mécanisme permettant le retrait des polluants de l'eau, et est complétée, dans une moindre mesure, par certains processus biologiques et chimiques (dans le cas des bassins avec retenue permanente) (Moisan, 2013). Des aménagements de ce type ont été réalisés à Boucherville où des bassins de rétention, intégrés à la trame verte et bleue, créent une connectivité entre les écosystèmes. Des bassins avec fonction écologique ont également été implantés dans des quartiers fortement urbanisés de la ville de Québec, soit le bassin du parc de la Montagne-des-Roches (voir figure 12) et celui du ruisseau Rouge. Ce dernier comporte un bassin de décantation en amont, permettant l'assainissement des eaux, et une cascade composée de trois paliers servant à oxygéner l'eau. Il est également doté d'un bassin d'épuration où l'eau est assainie par l'action des plantes aquatiques et d'un dernier bassin de décantation en aval, juste avant le rejet de l'eau vers le ruisseau (Boucher, 2010, cité dans Moisan, 2013). Une attention particulière doit être accordée à la conception des ouvrages de contrôle à la sortie des bassins de rétention puisqu'ils constituent des éléments cruciaux pour assurer un contrôle quantitatif et qualitatif.

**Figure 12 Bassin de rétention du parc de la Montagne-des-Roches**



Crédit photo : Organisme des bassins versants de la Capitale.

#### 5.4.5 INSTALLATION DE TRANCHÉES DE RÉTENTION

Les eaux de ruissellement peuvent aussi être recueillies dans des tranchées de rétention. Linéaires et peu profondes (1 mètre), ces tranchées sont recouvertes d'un revêtement perméable, de galets ou de gazon. Elles peuvent également servir de voies d'accès aux automobiles ou aux piétons. Ce type d'aménagement s'intègre bien au paysage urbain, car il occupe peu d'espace. L'entretien régulier est important pour éviter la sédimentation de la tranchée de rétention et prolonger sa durée de vie. Les apports d'eau peuvent se faire par la surface ou bien via une conduite. Ce type d'aménagement n'est pas approprié pour des sites industriels ou commerciaux susceptibles de générer des quantités importantes de sédiments et de polluants (City of Portland, 2020; MDDEFP et MAMROT, s. d.).

#### 5.4.6 INSTALLATION DE PUIITS D'INFILTRATION

Les puits d'infiltration recueillent les eaux de ruissellement et permettent leur infiltration dans le sol. Ils sont utilisés notamment pour recueillir les eaux de ruissellement relativement exemptes de polluants, comme celles des toits. Peu d'entretien est ainsi nécessaire, le filtre devant être nettoyé annuellement, préférablement après la chute des feuilles à l'automne (MDDEFP et MAMROT, s. d.).

#### AUTRES BÉNÉFICES LIÉS À LA GESTION DES EAUX PLUVIALES



Plusieurs études en laboratoire et projets pilotes ont mis en évidence l'efficacité de la gestion durable des eaux pluviales en climat tempéré. Dans les climats plus froids (p. ex., pays scandinaves), bien que les performances hydrauliques puissent être réduites pendant la période hivernale, les capacités de traitement en termes de réduction des concentrations de polluants semblent toutefois se maintenir (Dagenais *et al.*, 2014).

Des simulations concernant l'implantation de pratiques de gestion des eaux pluviales (toits verts et biorétention, et biorétention seulement) devant représenter 10 % des surfaces imperméables sur des sites de l'arrondissement de Beauport ont été réalisées afin de déterminer les réductions des volumes et des débits de pointe d'eau pluviale. Un contrôle efficace des volumes d'eau de ruissellement (95 % et plus pour une pluie de 26 millimètres d'une durée de 6 heures) et des débits de pointe (98 % et plus) des eaux pluviales a été observé pour 90 % des pluies annuelles, et ce, même en climat futur (2041-2070) (respectivement 93 % et 89 % de réduction et plus) (Dagenais *et al.*, 2014).

### 5.5 Mesures de réduction de la chaleur anthropique

Les sources de chaleur anthropique, c'est-à-dire découlant des activités humaines, sont nombreuses (appareils électroménagers, ordinateurs, climatiseurs, voitures, etc.) et sont liées au mode de vie de la population. Selon une analyse de Taha (1997b), la chaleur anthropique peut être responsable d'une augmentation de 2 à 3 °C dans les centres urbains. Une meilleure gestion de l'énergie, la proximité et la mixité des usages, de même que l'abandon de l'utilisation de la voiture au profit des transports actif et collectif, permettent la réduction des émissions de chaleur anthropique (Écohabitation, 2014a).

#### 5.5.1 BÂTIMENTS

La plupart des modèles d'émission de chaleur anthropique prennent en compte les émissions provenant de trois sources : les véhicules, les bâtiments et le métabolisme humain. Il a été constaté que les émissions de chaleur provenant des bâtiments apportaient la plus grande contribution au total (Allen *et al.*, 2011, Iamarino *et al.*, 2011, cité dans Dong *et al.*, 2017). La production de chaleur à l'intérieur d'un bâtiment contribue à sa surchauffe en période estivale, notamment lorsqu'elle s'ajoute au rayonnement solaire direct ou à la mauvaise isolation thermique du bâtiment. Les appareils électroménagers, les lampes et les ordinateurs, par exemple, transforment l'énergie qu'ils consomment en chaleur. Ces apports internes de chaleur ne sont pas simultanés et représentent plutôt une source de chaleur diffuse dans les bâtiments.

### 5.5.1.1. Utilisation adéquate de l'éclairage artificiel et optimisation de la lumière naturelle

L'éclairage participe aux apports internes de chaleur. Les lampes halogènes et à incandescence produisent beaucoup de chaleur qui, par rayonnement ou convection, est absorbée par les parois et matériaux environnants. Lorsque les capacités de stockage de la chaleur des parois et des matériaux sont atteintes, cette chaleur est rediffusée dans l'air ambiant. L'utilisation de lampes fluocompactes à faible consommation d'énergie contribue à réduire la quantité de chaleur dissipée. Ce type de lampe consomme 5 fois moins d'énergie et dure 10 fois plus longtemps qu'une lampe à incandescence, tout en offrant le même niveau d'éclairage. Il faut cependant faire preuve de vigilance lors de la mise au rebut de ces lampes, car celles-ci contiennent du mercure. Elles doivent être retournées chez un détaillant offrant un service de récupération (Association provinciale des constructeurs d'habitations du Québec, 2008). Contrairement aux ampoules à incandescence qui utilisent seulement 5 % de l'électricité qu'elles consomment pour produire de la lumière et dissipent le reste sous forme de chaleur, les ampoules à diodes électroluminescentes (DEL) utilisent l'énergie de façon efficace, avec des économies d'énergie de 70 à 90 % par rapport aux produits d'éclairage à incandescence (Hydro-Québec, 2021a).

Une autre façon de contrôler l'apport de chaleur dû à l'éclairage artificiel est d'en réguler l'utilisation. Pour ce faire, différents moyens existent :

- le contrôle du flux lumineux : ajustement continu de l'éclairage artificiel en fonction de la lumière naturelle provenant de l'extérieur;
- l'horloge : contrôle horaire de l'éclairage dans les endroits où les besoins de lumière sont fixes (commerces, immeubles de bureaux, écoles);
- la minuterie : dispositif permettant d'éclairer momentanément les endroits à fréquentation passagère;
- le détecteur de présence : système qui permet d'éclairer uniquement quand les lieux sont occupés;
- la cellule d'éclairage : appareil de mesure de l'éclairage naturel placé dans la pièce ou sur le bâtiment et qui permet d'ajuster les besoins d'éclairage artificiel uniquement lorsqu'ils sont requis (Liébard et De Herde, 2005).

Certains bâtiments gagnent aussi à maximiser l'utilisation de lumière naturelle comme les hôpitaux et les écoles (sauf dans les locaux où l'éclairage doit être constant, comme les laboratoires). Les entrées de lumière naturelle doivent cependant être munies de protection solaire afin de protéger les occupants du rayonnement solaire direct (Liébard et De Herde, 2005).

Également, il convient, lors de la construction d'un nouveau bâtiment, d'optimiser les gains de lumière naturelle afin de réduire la dépendance à l'éclairage artificiel. Pour cela, une étude de la capacité d'éclairage du site selon les saisons doit être réalisée au début du projet de construction (Salomon et Aubert, 2007).

### 5.5.1.2. Utilisation adéquate des appareils électroniques et électriques

Tous les appareils électroniques et électriques émettent de la chaleur, même lorsqu'ils sont en mode veille. L'utilisation de matériel informatique et électrique ayant une bonne efficacité énergétique est donc fortement recommandée. De plus, afin de minimiser l'apport de chaleur, il importe d'éteindre et de débrancher les appareils lorsqu'ils ne sont pas utilisés ou lorsqu'ils sont complètement chargés. En effet, le seul fait de brancher un chargeur pour téléphone cellulaire ou un adaptateur

d'alimentation externe pour un ordinateur portable utilise de l'énergie, et ce, même s'il n'est pas connecté à l'appareil qu'il alimente, ou que ce dernier est entièrement chargé. Les appareils électroniques certifiés ENERGY STAR limitent la quantité d'énergie pouvant être consommée en mode veille, soit une réduction de la consommation d'énergie de 40 à 50 % pour un téléviseur, et de 70 % pour un ordinateur, comparativement à des appareils conventionnels (Transition énergétique Québec, 2021a).

Les apports intérieurs de chaleur réchauffent rapidement l'air ambiant, surtout si les bâtiments sont faits de matériaux à faible inertie (ne pouvant absorber beaucoup de chaleur). Lors de journées chaudes, il est approprié de limiter l'utilisation des électroménagers (comme le lave-vaisselle, la laveuse et la sècheuse), de les mettre en route uniquement lorsqu'ils sont pleins et de les faire fonctionner en mode économique. À titre d'exemple, le fait de laver ses vêtements à l'eau froide permet d'économiser plus de 50 litres d'eau chaude par brassée. De même, il n'est pas recommandé de placer le réfrigérateur directement à côté de la cuisinière, du lave-vaisselle ou d'une fenêtre ensoleillée, car il devra fonctionner davantage afin d'atteindre la fraîcheur souhaitée (Transition énergétique Québec, 2021b; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2021).

Les appareils ménagers et électroniques consomment beaucoup d'énergie; ils représentent le cinquième de l'énergie totale consommée d'une résidence (Transition énergétique Québec, 2021b). Il est recommandé d'utiliser des multiprises à interrupteur, car elles permettent de brancher plusieurs appareils et de les éteindre tous en même temps (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2021). L'ICU a un impact sur la demande en énergie, notamment en raison de la climatisation et de la réfrigération. La demande accrue peut être à ce point élevée qu'elle peut mener à une surcharge pouvant faire flancher le réseau électrique. Afin d'éviter une telle situation, le choix d'appareils certifiés écoénergétiques est recommandé (Association provinciale des constructeurs d'habitations du Québec, 2008).

### **5.5.2 RÉDUCTION DU PARC AUTOMOBILE EN MILIEU URBAIN**

Les automobiles et véhicules contribuent à l'émission de chaleur et de GES. Au Québec, en 2018, le secteur du transport routier correspondait à 35,6 % des émissions totales de GES (Delisle *et al.*, 2020). La chaleur totale émise par les véhicules peut rester prisonnière des canyons urbains mal ventilés, réduisant par le fait même le confort thermique des citoyens. Les émissions des véhicules contribuent également à la formation du smog urbain et au réchauffement climatique (Watkins *et al.*, 2007; Younger *et al.*, 2008; Ouranos, 2010). De 1990 à 2017, alors que la population adulte du Québec a connu une hausse de seulement 25 %, celle de la flotte de véhicules de promenade (usage personnel) a augmenté de 64 %. De même, de 2000 à 2017, le nombre de camions légers, regroupant VUS, camionnettes et fourgonnettes à usage personnel, a augmenté de 128 % sur le territoire québécois, soit une augmentation de la proportion de camions légers dans la flotte totale de véhicules de promenade de 24 à 39 % sur cette période (Laviolette, 2020). Étant donné que les véhicules électriques émettent beaucoup moins de chaleur que les véhicules conventionnels pour un même kilométrage, leur remplacement peut atténuer l'effet d'ICU en réduisant la consommation d'énergie des climatiseurs (Li *et al.*, 2015). Une bonne planification du transport, incluant les transports actifs et collectifs, est ainsi essentielle afin de minimiser l'apport de chaleur dans les milieux urbains (Coutts *et al.*, 2010).

### 5.5.2.1. *Densification des centres urbains et limitation de l'étalement urbain*

La densification des centres urbains permet de réduire l'utilisation de la voiture et, incidemment, la pollution de l'air et la production de chaleur, car elle a pour effet de diminuer la longueur des déplacements en voiture, d'offrir plus de choix quant aux modes de transport et de réduire le besoin de posséder un véhicule (Coutts *et al.*, 2010).

Le concept de l'aménagement axé sur le transport en commun peut servir de guide pour orienter un développement urbain qui encourage l'utilisation générale du transport collectif. Il vise à répondre à certains principes fondamentaux :

- Une croissance urbaine qui prend appui sur des réseaux structurants de transport collectif et structurée par un réseau d'espaces publics variés et de qualité privilégiant une architecture à échelle humaine;
- L'aménagement de quartiers denses et multifonctionnels offrant une mixité d'activités et une plus grande proximité aux services favorisant le recours aux déplacements collectif et actif;
- La prise en compte du cadre de vie dans son ensemble : la localisation du quartier, sa relation avec la ville existante, la vocation et les limites du quartier, etc. (Vivre en Ville, 2013).

De plus, il a été constaté qu'une augmentation de la densité urbaine pouvait entraîner une réduction correspondante de la consommation d'énergie (Mindali *et al.*, 2004, Liu *et al.*, 2012, cité dans Gago *et al.*, 2013).

### 5.5.2.2. *Encouragement de la mixité des usages*

Plusieurs études ont démontré que la mixité des usages à proximité favorise l'accessibilité et réduit ainsi la circulation automobile. Dans les zones résidentielles, les quartiers dont les commerces sont accessibles à pied ont un trafic routier moins élevé que les quartiers sans commerces, où les déplacements en voiture sont inévitables (Rancourt, 2019; Robitaille *et al.*, 2017; Vivre en Ville, s.d.). En plus d'encourager les déplacements actifs et de rendre les services plus accessibles aux citoyens, la mixité des usages favorise également l'implantation d'une vie de quartier. Des indicateurs peuvent aider à établir la définition d'une proximité respectable, comme le nombre d'habitations situées à moins d'une certaine distance de marche des commerces, le nombre d'emplois dans un rayon déterminé ou encore la présence de services (sociaux, culturels, éducatifs) (Écohabitation, 2017a).

### 5.5.2.3. *Aménagement axé sur les transports actif et collectif*

L'automobile est actuellement le principal moyen de transport pour 80 % de la population québécoise (Gravel, 2014). Une des solutions envisageables afin de garantir plus de fraîcheur dans les milieux urbains est d'y limiter l'accès et la circulation des véhicules. Entre autres moyens pour ce faire :

- le contrôle du flux de véhicules par des règlements de circulation lors de journées chaudes;
- l'augmentation des coûts de stationnement en ville;
- l'instauration de péages pour circuler dans des aires spécifiques de la ville et la réduction progressive des places de stationnement;
- l'aménagement de stationnements incitatifs écoresponsables près des terminaux de transport en commun destinés à la population vivant en périphérie (ces stationnements permettent de laisser la voiture en périphérie et de réduire le trafic automobile en ville);

- l'instauration de supports à vélo dans des endroits stratégiques et d'un système de vélo-partage (Écohabitation, 2014b);
- la gratuité de l'accès au transport collectif en cas d'alerte de chaleur accablante (Déoux et Déoux, 2004; Vivre en Ville, 2004; Cappe, 2003).

Ces mesures peuvent être combinées à de meilleurs services de transports collectif et actif, dont les tramways, les autobus et les vélos (service de location) (Vivre en Ville, 2004; Vivre en Ville, 2013).

Les voitures consomment deux fois plus d'énergie par kilomètre qu'un train et quatre fois plus qu'un autobus. Les impacts liés à la chaleur et à la pollution de l'air qu'engendre l'utilisation accrue de la voiture dans les centres urbains où le transport collectif n'est pas suffisamment développé sont inévitables. Les services de transport collectif répondant aux besoins des citoyens (métro, autobus) et faciles d'usage, voire gratuits, permettront de réduire les effets néfastes du transport individuel. De plus, l'utilisation de véhicules moins énergivores et à faibles émissions polluantes peut améliorer la qualité de l'air et contribuer à la lutte contre les ICU (Bennicelli *et al.*, 2019). Contrairement à la voiture, les modes de transport collectif dictent un développement urbain relativement compact où les déplacements actifs conservent une place de choix (Vivre en Ville, 2013).

Le développement d'infrastructures facilitant le transport à vélo ou à pied est aussi à privilégier, le transport actif contribuant à réduire la chaleur anthropique liée aux transports motorisés, tout en étant bénéfique pour la santé humaine en encourageant l'activité physique (Scotland, 2008). En effet, grâce à l'amélioration de la santé des usagers, des économies liées aux soins de santé seraient presque trois fois plus élevées que l'investissement nécessaire pour développer de telles infrastructures (Wang *et al.*, 2004).

Selon Wendel *et al.* (2008), une attention particulière devrait être portée à la conception des pistes cyclables et des rues piétonnières. Afin d'être sécuritaires, celles-ci devraient être adaptées par exemple aux enfants, aux personnes âgées, aux personnes à mobilité réduite et aux personnes à faible revenu ne possédant pas de véhicule personnel. De plus, ces aménagements sont des endroits propices à l'introduction d'arbres et de mesures de gestion durable des eaux pluviales qui contribuent à la lutte contre les ICU. La présence d'arbres le long des rues incite à une plus grande mobilité active, contribuant à la création d'une trame verte et permettant de se déplacer sous couvert arboré (Beaudoin *et al.*, 2017). Les aménagements végétalisés devraient toutefois respecter certaines règles de sécurité, comme assurer une bonne visibilité des lieux afin d'éviter de créer des environnements propices à la flânerie, au vandalisme ou à divers crimes (Green City Partnerships, 2019). Ainsi, plusieurs options sont envisageables afin de favoriser le transport actif :

- Créer des bandes ou des pistes cyclables;
- Proposer un système de vélo-partage;
- Sécuriser les espaces piétonniers (saillies de trottoir, signalisation, traverses);
- Créer des corridors piétonniers;
- Élargir les trottoirs;
- Végétaliser les espaces pour les rendre plus agréables à marcher;
- Proposer davantage de mobilier urbain pour le repos;
- Installer des supports à vélo dans des endroits stratégiques (à proximité des commerces, etc.) (Écohabitation, 2014b).

### 5.5.3 CLIMATISATION PASSIVE

En 2017, plus de la moitié des ménages québécois (56 %) ont déclaré posséder un climatiseur (tous types confondus) (Statistique Canada, 2019). Dans les régions métropolitaines de recensement, Gatineau, Montréal et Trois-Rivières comptaient les proportions les plus élevées de ménages disposant d'un des différents types de climatiseurs, soit respectivement 75 %, 70 % et 65 %, tandis que cette proportion ne dépassait pas 41 % dans les autres régions métropolitaines de recensement (Bustinza, 2021). Selon une étude réalisée auprès de plus de 3 000 répondants en provenance du Québec et de l'Ontario, le statut de propriété serait associé au fait de posséder un appareil de climatisation, les propriétaires étant plus susceptibles d'en posséder un (76 %) que les locataires (57 %) (Laliberté *et al.*, 2016). Au Canada, de 1990 à 2015, la consommation d'énergie attribuable à la climatisation des locaux dans le secteur commercial et institutionnel est passée de 30,3 à 55,3 pétajoules (Ressources naturelles Canada, s. d.). La climatisation des domiciles et des véhicules est en hausse et devient presque une norme dans certaines régions. Il existe des solutions de remplacement moins énergivores et plus durables pour rafraîchir l'air intérieur des bâtiments. En effet, il est possible de recourir à différentes techniques de climatisation passive afin de rafraîchir un bâtiment qui n'a pas été conçu pour se protéger des températures très chaudes.

#### 5.5.3.1. Utilisation de la ventilation naturelle

La ventilation naturelle se produit par l'introduction (passage de l'air extérieur vers l'intérieur) et l'exfiltration d'air (passage de l'air intérieur vers l'extérieur) (Leclerc *et al.*, 2006). Elle s'effectue via les ouvertures et interstices, comme les fenêtres, les portes, les conduits, les joints, les cheminées et les prises électriques, retrouvés dans l'enveloppe des bâtiments (Panzhauser *et al.*, 1993, cité dans Poulin *et al.*, 2016).

Il existe deux types de ventilation naturelle, soit la ventilation croisée et la ventilation à tirage naturel (ou « surventilation nocturne »). La ventilation croisée s'effectue en ouvrant les fenêtres ou les portes situées sur des murs opposés, ce qui permet aux courants d'air de circuler dans les pièces. Plus la différence de température entre l'air extérieur et intérieur est grande, plus la capacité de rafraîchissement est optimisée (Leclerc *et al.*, 2006). Le vent, de même que sa direction, influence également le rafraîchissement obtenu (Santé Canada, 2018). Il a été observé, lors de la vague de chaleur de 2003 en Europe, que la surmortalité a été plus importante dans les appartements à orientation unique ne permettant pas une ventilation croisée (Déoux et Déoux, 2004).

La technique de ventilation à tirage naturel requiert de laisser l'air frais entrer par des ouvertures préférablement situées dans le bas de la façade nord du bâtiment (air plus frais) et de laisser sortir l'air chaud par une ouverture située dans le haut du bâtiment. Ce différentiel de température crée un **effet de cheminée** et permet une ventilation verticale et un renouvellement de l'air plus rapide. En plus du différentiel de température (effet local), l'effet de cheminée est également lié à la différence de pression atmosphérique entre le bas et le haut (Santé Canada, 2018). Cette surventilation nocturne offre des gains de fraîcheur uniquement dans les endroits où l'air extérieur est plus frais que l'air intérieur durant la nuit. Par cette technique, la température de l'air intérieur peut ainsi être réduite de quelques degrés (Salomon et Aubert, 2007).

En été comme en hiver, la ventilation naturelle peut rendre plus difficile la gestion de l'humidité relative (Santé Canada, 2018). De même, en saison estivale, lorsqu'il fait très chaud le jour, l'ouverture des fenêtres n'est pas indiquée, sauf si elle est pratiquée la nuit lorsque la température s'est rafraîchie. Le fait de ventiler naturellement durant la nuit peut également limiter l'introduction dans le bâtiment de contaminants extérieurs qui sont présents en concentrations moindres durant cette période (Poulin *et al.*, 2016).

Afin de favoriser la ventilation naturelle dans un nouveau bâtiment, l'architecte doit étudier le régime local des vents dominants. Un bâtiment placé dans un angle de 45° par rapport au vent permettra des surpressions et des dépressions optimales favorisant la ventilation. Des dispositifs tels que des déflecteurs peuvent également être ajoutés au bâtiment pour modifier l'effet des vents et faciliter la ventilation (Liébard et De Herde, 2005). L'augmentation de l'étanchéité des bâtiments peut limiter les possibilités de ventilation naturelle passive (non contrôlée par les occupants). De même, l'efficacité de la ventilation naturelle volontaire (contrôlée par l'humain, par exemple par l'ouverture des fenêtres) dépend fortement des conditions météorologiques et climatiques et est donc difficilement contrôlable. En raison de son caractère aléatoire, il est suggéré de jumeler la ventilation naturelle avec la ventilation mécanique afin d'obtenir des débits d'air acceptables à longueur d'année (Leclerc *et al.*, 2006).

### 5.5.3.2. Utilisation de la ventilation mécanique

L'étanchéité accrue des habitations actuelles limite les infiltrations naturelles d'air frais (taux de renouvellement insuffisant), particulièrement pendant les périodes de chaleur. Les stratégies prenant en compte la ventilation mécanique permettraient d'assurer un débit de ventilation plus uniforme, comparativement à la ventilation naturelle seule (Leclerc *et al.*, 2006). La ventilation mécanique requiert un système qui utilise un ou des ventilateurs pour extraire régulièrement l'air intérieur vicié des pièces et diluer les contaminants s'y trouvant par l'introduction d'air provenant de l'extérieur (Anctil *et al.*, 2021). L'évaluation préalable des bâtiments au regard des éléments à mettre en place afin d'assurer une ventilation optimisée doit être réalisée par des experts dans le domaine, notamment en fonction de la vocation du bâtiment et de son mode d'occupation (Anctil *et al.*, 2021). Le système de ventilation mécanique peut limiter l'introduction de contaminants extérieurs lorsque requis, en actionnant le mode recirculation et en maintenant les fenêtres fermées (Sherman et Matson, 2013, Ilacqua *et al.*, 2015, cité dans Gervais *et al.*, 2016). Pour assurer une bonne efficacité de ces systèmes de ventilation mécanique, ils doivent être bien conçus et installés. De même, il est primordial de les utiliser convenablement et de les entretenir adéquatement (Anctil *et al.*, 2021).

#### **Les systèmes à simple extraction**

Les systèmes à simple extraction sont parmi les plus utilisés dans les habitations canadiennes. Afin que ces systèmes puissent être efficaces à l'échelle de l'habitation, un système de distribution de l'air doit fonctionner en parallèle. Bien que les systèmes d'extraction centrale soient plus complets que les ventilateurs distincts de salle de bain ou de cuisine, ils sont rarement utilisés dans les maisons individuelles au Canada, notamment en raison de leur installation plus complexe et plus coûteuse. Il est à noter qu'étant donné le déplacement d'air plus important, les systèmes d'extraction centrale augmentent également le risque de refoulement et peuvent favoriser l'infiltration des gaz souterrains, comme le radon (Santé Canada, 2018).

#### **Les systèmes à simple alimentation**

Les systèmes à simple alimentation ne sont que rarement utilisés au Canada et ne sont pas recommandés dans les habitations neuves qui sont plus étanches (Santé Canada, 2018).

## Les systèmes équilibrés

S'il faut simultanément introduire et évacuer de l'air dans l'habitation avec des débits d'un même ordre de grandeur, un système équilibré est préférable.

Les systèmes de ventilation équilibrés sans récupération de chaleur sont dotés de deux ventilateurs, l'un introduisant l'air dans l'habitation, l'autre l'évacuant à l'extérieur.

Les systèmes de ventilation équilibrés à récupération de chaleur sont divisés en deux catégories : les ventilateurs récupérateurs de chaleur et les ventilateurs récupérateurs d'énergie. Ils permettent tous deux le transfert de la chaleur de l'air évacué à l'air admis. Un échange d'humidité entre l'air plus humide et l'air plus sec est également possible avec le ventilateur récupérateur d'énergie (Santé Canada, 2018).

Le tableau 7 présente les différents systèmes de ventilation mécanique utilisés dans les habitations canadiennes.

**Tableau 7**      **Systèmes de ventilation mécanique utilisés en territoire canadien**

Types de système	Caractéristiques	Exemples
<b>Systèmes à simple extraction</b>	<p><i>Avantages</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Élimination à la source des polluants intérieurs des zones les plus contaminées ou les plus humides;</li> <li>▪ Installation facile, système simple, relativement bon marché et nécessitant peu d'entretien;</li> <li>▪ Ventilation silencieuse avec des appareils de qualité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ventilateurs d'extraction de salles de bain;</li> <li>▪ Hottes de cuisine à évacuation;</li> <li>▪ Appareils électroménagers pouvant extraire un volume d'air important;</li> <li>▪ Ventilateurs raccordés ensemble ou plusieurs pièces raccordées à un seul ventilateur d'extraction (extraction centrale).</li> </ul>
	<p><i>Inconvénients</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Utilisation sporadique impliquant une ventilation de courte durée;</li> <li>▪ Ventilation limitée aux pièces où sont installés les ventilateurs d'extraction;</li> <li>▪ Dépressurisation dans l'habitation pouvant favoriser l'infiltration de gaz souterrains ou le refoulement dans les appareils de combustion munis d'un conduit de fumée;</li> <li>▪ Introduction d'air de compensation par des entrées non contrôlées (p. ex., fissures) pouvant favoriser l'introduction de polluants extérieurs;</li> <li>▪ Utilisation excessive en hiver pouvant engendrer des coûts de chauffage élevés.</li> </ul>	
<b>Systèmes à simple alimentation</b>	<p><i>Avantages</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bonne efficacité lorsque le taux de ventilation requis est faible;</li> <li>▪ Nécessitent peu d'entretien et sont peu coûteux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conduit de distribution d'air sans moteur, raccordé au conduit de reprise du générateur d'air chaud.</li> </ul>
	<p><i>Inconvénients</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Expulsion d'air chaud et humide pouvant engendrer de la condensation et des problèmes de moisissures;</li> <li>▪ Ventilation généralement inadéquate.</li> </ul>	

**Tableau 7** Systèmes de ventilation mécanique utilisés en territoire canadien (suite)

Types de système	Caractéristiques	Exemples
<b>Systèmes équilibrés (combinant extraction et alimentation)</b>	<p><b>Sans récupération de chaleur :</b> <i>Avantages</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Peuvent inclure une boîte de mélange permettant le transfert de chaleur de l'air vicié à l'air neuf.</li> </ul> <p><i>Inconvénients</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Détermination difficile du volume d'air introduit et évacué au même moment;</li> <li>▪ Sujet au gel et à la condensation en hiver.</li> </ul> <p><b>À récupération de chaleur :</b> <i>Avantages</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transfert de la chaleur de l'air vicié à l'air neuf en hiver;</li> <li>▪ Ajustement du taux de ventilation;</li> <li>▪ Dégivrage possible en hiver;</li> <li>▪ Utilisation de ventilateurs écoénergétiques permettant de réduire les coûts de fonctionnement;</li> <li>▪ Systèmes les plus rentables fonctionnant sans interruption;</li> <li>▪ Maintien de faibles taux d'humidité en hiver;</li> <li>▪ Flexibilité en matière d'emplacement pour l'extraction et l'admission d'air;</li> <li>▪ Relativement silencieux;</li> <li>▪ Utilisation possible comme ventilateur récupérateur de chaleur l'hiver, et comme ventilateur récupérateur d'énergie l'été.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Échangeur d'air;</li> <li>▪ Ventilateur récupérateur de chaleur raccordé aux conduits du générateur de chaleur;</li> <li>▪ Ventilateur récupérateur de chaleur à conduits distincts;</li> <li>▪ Ventilateur récupérateur d'énergie.</li> </ul>
<b>Systèmes équilibrés (combinant extraction et alimentation) (suite)</b>	<p><i>Inconvénients</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dépressurisation importante lorsque les mécanismes de dégivrage bloquent le fonctionnement du ventilateur de soufflage;</li> <li>▪ Nécessitent un système de distribution d'air à travers l'habitation;</li> <li>▪ Coûts d'acquisition et de pose plus élevés;</li> <li>▪ Fonctionnement pouvant être complexe et panneaux de commande moins intuitifs;</li> <li>▪ Requièrent plus d'entretien.</li> </ul>	

Source : Santé Canada (2018).

Les systèmes à simple extraction sont parmi les plus utilisés dans les habitations canadiennes. Bien que les systèmes d'extraction centrale soient plus complets que les ventilateurs distincts de salle de bain ou de cuisine, ils sont rarement utilisés dans les maisons individuelles au Canada, notamment en raison de leur installation plus complexe et plus coûteuse (Santé Canada, 2018).

S'il faut simultanément introduire et évacuer de l'air dans l'habitation, un système équilibré est préférable (Santé Canada, 2018).

#### 5.5.3.3. Utilisation de ventilateurs électriques

Les ventilateurs électriques peuvent amener un effet bénéfique sur le confort thermique des occupants, car ils permettent l'accélération du déplacement de l'air et la perte de chaleur au niveau de la peau via les processus de convection et d'évaporation. Il est à noter qu'à partir d'une température élevée (> 35 °C), où la température de l'air est supérieure à celle de la peau, l'efficacité des ventilateurs électriques serait toutefois limitée et pourrait plutôt augmenter la charge thermique

des individus. Les ventilateurs électriques, de même que les climatiseurs électriques, devraient être utilisés de façon combinée avec des mesures passives d'atténuation de la chaleur (p. ex., utilisation de stores et de pare-soleil) afin de favoriser un rafraîchissement plus efficace et possiblement de réduire les besoins en climatisation (Potvin et Leclerc, 2021).

#### 5.5.3.4. Installation de systèmes géothermiques

Les systèmes géothermiques peuvent être utilisés autant pour le chauffage que la climatisation des bâtiments. Ces systèmes sont basés sur le principe qu'à une certaine profondeur (de 6 à 10 mètres), la température de la terre est relativement constante (de 8 à 10 °C), car elle n'est pas influencée par les variations de température à la surface terrestre. Il en résulte que la température du sous-sol terrestre est plus chaude que celle de l'air en période hivernale, et plus fraîche que celle de l'air pendant la saison estivale. Les systèmes de géothermie sont composés d'un échangeur de chaleur souterrain, d'une pompe à chaleur et d'un système de distribution de chaleur. La consommation d'un kilowatt par la pompe permettrait de produire en moyenne de 3 à 5 kilowatts d'énergie. En effet, l'exploitation de la terre comme point de source et de rejet de la chaleur permet d'atteindre des coefficients de performance élevés (rapport énergie produite et puissance électrique consommée) (Écohabitation, 2012a). Le système est coûteux (variant de 20 000 à 40 000\$ pour une maison de taille moyenne) et il peut être nécessaire d'adapter le système de distribution de la chaleur ou de la fraîcheur dans une habitation existante. De même, les coûts d'installation du circuit souterrain peuvent varier selon la nature du sol (Hydro-Québec, 2021b).

### GAINS DE FRAÎCHEUR ET AUTRES BÉNÉFICES LIÉS À LA CLIMATISATION PASSIVE

**+** De façon générale, lorsque les températures à l'intérieur d'un bâtiment se situent dans la zone de confort (voir section 3.2.1), aucun mouvement d'air minimum n'est nécessaire afin d'assurer le confort thermique (Charbonneau et Douville, 2004). Les courants d'air, lorsque dirigés au niveau de la tête et des jambes (p. ex., chevilles, pieds), peuvent causer de l'inconfort. Il est donc préférable que la direction du vent soit contrôlable par l'occupant (Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, 2021). De façon générale, plus la vitesse de l'air augmente, plus l'effet de rafraîchissement est élevé. Il est à noter que lorsque la vitesse de l'air dépasse 0,2 mètre par seconde, la température peut être augmentée jusqu'à 3 °C au-dessus de la zone de confort; la vitesse de l'air ne devrait donc pas excéder 0,8 mètre par seconde (Charbonneau et Douville, 2004).

## 5.6 Synthèse

Le tableau 8 reprend les principales mesures de lutte contre les ICU qui se retrouvent dans la présente revue de la littérature et en dégagent les principaux avantages et les inconvénients, de façon non exhaustive.

**Tableau 8** Tableau synthèse des différentes mesures de lutte contre les ICU

Mesures	Zone de réduction de la chaleur	Avantages complémentaires	Inconvénients
<b>Verdissement</b>			
Commun à toutes les mesures de verdissement	S.O.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Amélioration de la qualité de l'air</li> <li>▪ Amélioration de la qualité de l'eau et rétention d'eau</li> <li>▪ Incitation aux loisirs</li> <li>▪ Préservation de la biodiversité</li> <li>▪ Amélioration de l'esthétisme</li> <li>▪ Réduction de la consommation d'énergie</li> <li>▪ Divers bénéfiques pour la santé</li> <li>▪ Réduction du bruit</li> <li>▪ Séquestration du carbone</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Potentiel allergène</li> </ul>
Aménagement d'espaces verts urbains	Ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ S.O.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nécessité d'un espace suffisant pour le déploiement des racines</li> </ul>
Plantation ponctuelle d'arbres et de végétation	Bâtiment, ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ S.O.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nécessité d'un espace suffisant pour le déploiement des racines</li> </ul>
Végétalisation des stationnements	Ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ S.O.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nécessité d'un espace suffisant pour le déploiement des racines</li> </ul>
Végétalisation du pourtour des bâtiments	Bâtiment, ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ S.O.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nécessité d'un espace suffisant pour le déploiement des racines</li> </ul>
Installation de murs végétaux	Bâtiment, ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Protection de l'enveloppe des bâtiments</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entretien plus complexe en surface verticale</li> <li>▪ Murs vivants : coûts d'entretien élevés (système d'irrigation, éléments de support pour culture et substrat)</li> </ul>
Conception de toits verts	Bâtiment, ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Protection du toit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nécessité d'un toit plat ou à faible pente permettant d'en supporter le poids</li> <li>▪ Possible nécessité de ventilation nocturne</li> <li>▪ Toits verts intensifs : lourds, coûteux, entretien régulier requis</li> </ul>
<b>Infrastructures urbaines durables</b>			
Choix de matériaux réfléchissants (incluant les toits blancs)	Bâtiment, ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diminution des coûts de climatisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Besoin de nettoyage pour préserver l'albédo élevé</li> <li>▪ Possibilité d'éblouissement (pour les toits en pente)</li> </ul>

**Tableau 8** Tableau synthèse des différentes mesures de lutte contre les ICU (suite)

Mesures	Zone de réduction de la chaleur	Avantages complémentaires	Inconvénients
<b>Infrastructures urbaines durables (suite)</b>			
Choix de revêtements de couleur pour toits à haute réflectivité solaire	Bâtiment, ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diminution des coûts de climatisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>S.O.</li> </ul>
Isolation et étanchéité des bâtiments	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contrôle de l'humidité</li> <li>Réduction de la consommation d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diminution de la ventilation naturelle (non contrôlée par l'humain)</li> </ul>
Maximisation de l'inertie thermique	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de la consommation d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>S.O.</li> </ul>
Utilisation de vitrages performants	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de la consommation d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>S.O.</li> </ul>
Ajout de protections solaires (volets, auvents, pare-soleil, etc.)	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de la consommation d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>S.O.</li> </ul>
Choix de pavés à haut albédo	Ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>S.O.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perte de réflectivité avec le temps</li> </ul>
Préconisation de la morphologie urbaine aérée	Ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration de la qualité de l'air</li> <li>Incitation au transport actif</li> <li>Incitation aux loisirs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>S.O.</li> </ul>
Aménagement d'espaces bleus	Population, ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incitation aux loisirs</li> <li>Amélioration de l'esthétisme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Augmentation de la propagation du son (grands espaces bleus)</li> </ul>
Installation d'aires de rafraîchissement	Population	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incitation aux loisirs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensibilisation des populations vulnérables à prévoir pour encourager l'utilisation</li> </ul>
Utilisation de protection solaire dans les zones publiques	Population	<ul style="list-style-type: none"> <li>Protection contre les rayons UV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>S.O.</li> </ul>
Choix des matériaux dans les parcs	Ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration de la qualité de l'air et de l'eau</li> <li>Rétention d'eau</li> <li>Incitation aux loisirs</li> <li>Préservation de la biodiversité</li> <li>Amélioration de l'esthétisme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Accumulation de chaleur pour certains matériaux (p. ex., gazon synthétique)</li> </ul>
<b>Gestion durable des eaux pluviales</b>			
Plantation d'arbres et installation de toits verts		<ul style="list-style-type: none"> <li>Se référer à la section verdissement</li> </ul>	

**Tableau 8** Tableau synthèse des différentes mesures de lutte contre les ICU (suite)

Mesures	Zone de réduction de la chaleur	Avantages complémentaires	Inconvénients
<b>Gestion durable des eaux pluviales (suite)</b>			
Choix de revêtements perméables	Bâtiment, ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réduction du ruissellement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Certains types ne conviennent pas aux passages de véhicules lourds, à l'épandage de sable l'hiver ou aux épisodes de gel-dégel</li> <li>▪ Entretien nécessaire</li> </ul>
Aménagement de jardins pluviaux	Bâtiment, ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Amélioration de la qualité de l'eau et de la rétention d'eau</li> <li>▪ Préservation de la biodiversité</li> <li>▪ Amélioration de l'esthétisme</li> <li>▪ Faible coût</li> <li>▪ Entretien minimal lorsque bien conçu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Choix d'un emplacement tenant compte de l'eau de ruissellement des terrains avoisinants</li> </ul>
Conception de bassins de rétention	Ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Amélioration de la qualité de l'eau et rétention d'eau</li> <li>▪ Incitation aux loisirs</li> <li>▪ Préservation de la biodiversité</li> <li>▪ Amélioration de l'esthétisme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ S.O.</li> </ul>
Installation de tranchées de rétention	Ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Amélioration de la qualité de l'eau et de la rétention d'eau</li> <li>▪ Occupe peu d'espace</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entretien régulier requis</li> <li>▪ Peu approprié pour certains sites industriels et commerciaux</li> </ul>
Installation de puits d'infiltration	Ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Amélioration de la qualité de l'eau et de la rétention d'eau</li> <li>▪ Entretien minimal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ S.O.</li> </ul>
<b>Réduction de la chaleur anthropique</b>			
Utilisation adéquate de l'éclairage artificiel et optimisation de la lumière naturelle	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réduction de la consommation d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disposition dans un point de dépôt, car contient du mercure (lampes fluocompactes seulement)</li> <li>▪ Utilisation de protection solaire afin de protéger les occupants du rayonnement solaire direct (lumière naturelle)</li> </ul>
Utilisation adéquate des appareils électroniques et électriques	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réduction de la consommation d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ S.O.</li> </ul>

**Tableau 8** Tableau synthèse des différentes mesures de lutte contre les ICU (suite)

Mesures	Zone de réduction de la chaleur	Avantages complémentaires	Inconvénients
<b>Réduction de la chaleur anthropique (suite)</b>			
Densification des centres urbains et limitation de l'étalement urbain Encouragement de la mixité des usages Aménagement axé sur les transports actif et collectif	Ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Amélioration de la qualité de l'air</li> <li>▪ Incitation aux loisirs</li> <li>▪ Réduction des émissions de GES</li> <li>▪ Réduction de la consommation d'énergie</li> <li>▪ Offre divers bénéfiques pour la santé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ S.O.</li> </ul>
Utilisation de la ventilation naturelle	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Amélioration de la qualité de l'air intérieur (ventilation effectuée durant la nuit)</li> <li>▪ Réduction de la consommation d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Efficacité uniquement lorsque l'air extérieur est plus frais que l'air intérieur</li> <li>▪ Efficacité uniquement lorsque les logements ne sont pas à orientation unique (ventilation croisée)</li> <li>▪ Contrôle difficile de l'humidité relative</li> <li>▪ Possible réduction de l'efficacité en raison de l'augmentation de l'étanchéité des bâtiments (ventilation naturelle passive [non contrôlée par les occupants])</li> <li>▪ Utilisation fortement dépendante des conditions météorologiques (ventilation naturelle volontaire [contrôlée par l'humain])</li> </ul>
Utilisation de la ventilation mécanique	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Amélioration de la qualité de l'air intérieur</li> </ul>	<p>Systèmes à simple extraction :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ventilation généralement de courte durée et limitée aux pièces où les appareils sont installés</li> <li>▪ Infiltration possible de gaz souterrains et de polluants extérieurs ou le refoulement dans les appareils de combustion</li> </ul> <p>Systèmes à simple alimentation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Problèmes de moisissures possibles</li> <li>▪ Ventilation généralement inadéquate</li> </ul>

**Tableau 8** Tableau synthèse des différentes mesures de lutte contre les ICU (suite)

Mesures	Zone de réduction de la chaleur	Avantages complémentaires	Inconvénients
<b>Réduction de la chaleur anthropique (suite)</b>			
Utilisation de la ventilation mécanique (suite)		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪</li> </ul>	<p>Systèmes équilibrés sans récupération de chaleur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Détermination difficile du volume d'air introduit et évacué au même moment</li> <li>▪ Possibilité de gel et de condensation en hiver</li> </ul> <p>Systèmes équilibrés avec récupération de chaleur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nécessité d'un système de distribution d'air à travers l'habitation</li> <li>▪ Fonctionnement complexe</li> <li>▪ Entretien plus demandant</li> <li>▪ Dépressurisation importante possible dans certaines circonstances</li> </ul>
Utilisation de ventilateurs électriques	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Amélioration de la qualité de l'air intérieur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Efficacité limitée lorsque la température de l'air est supérieure à 35 °C</li> </ul>
Installation de systèmes géothermiques	Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réduction de la consommation d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Coût du système élevé et coûts variables des travaux de forage selon la nature du sol</li> <li>▪ Adaptation du système de distribution de chaleur-fraîcheur parfois nécessaire dans une habitation existante</li> </ul>

## 6 Études de cas et expériences du Plan d'action sur les changements climatiques

### 6.1 Études de cas

Cette section présente diverses études de cas décrivant l'implantation d'initiatives concrètes menées au Québec et visant la réduction des ICU. Pour chacune des études de cas, les mesures de lutte contre les ICU utilisées, le contexte ayant mené au projet, la description du projet, l'entretien nécessaire de même que les retombées et les cobénéfices y sont décrits. Le coût total des projets est présenté pour la plupart d'entre eux. Les études de cas fournissent également un aperçu des éléments ayant facilité l'implantation des mesures et ayant favorisé la réussite des projets. Ces études de cas ont été documentées par le biais d'entrevues menées auprès des responsables de chacun de ces projets.

#### 6.1.1 LE STATIONNEMENT DE L'ARÉNA RODRIGUE-GILBERT, À MONTRÉAL

##### MESURES DE LUTTE CONTRE LES ICU UTILISÉES

Plantation d'arbres, gestion des eaux pluviales, pavés perméables, transport actif (garage à vélo), transport électrique (bornes de recharge), mutualisation des espaces.

##### Contexte



Crédit photo : Rousseau Lefebvre. Source : <https://www.rousseau-lefebvre.com/fr/arena-rodrigue-gilbert/>.

En 2018, dans la foulée des travaux effectués à l'aréna Rodrigue-Gilbert de l'arrondissement Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles à Montréal, Rousseau-Lefebvre et Tetra Tech, en collaboration avec une équipe de la ville, ont été mandatés pour réaménager le stationnement afin de le rendre plus écologique. Pour ce faire, le projet visait à intégrer les bonnes pratiques de gestion des eaux pluviales (biorétention, revêtement perméable), à augmenter la biodiversité et à prévoir des éléments d'interprétation. En amont, une réflexion a été amorcée sur sa redéfinition dans la trame urbaine, son utilisation en dehors des heures d'achalandage de l'aréna (p. ex., le jour) et les installations qui permettraient de lutter contre les changements climatiques, notamment les ICU, et s'y adapter.

Ce projet a été réalisé pour répondre aux besoins de la communauté. Ainsi, l'arrondissement a encouragé la discussion entre toutes les parties prenantes dès le début du projet afin de connaître les différents besoins et d'apporter des ajustements avant le commencement des travaux.

### **Description du projet**

Plusieurs arbres ont été plantés et environ 20 % du stationnement a été aménagé à l'aide de pavé perméable. Une fosse de plantation ainsi que des îlots de verdure, traditionnels ou en biorétention, ont également été aménagés afin d'améliorer la gestion des eaux pluviales et valoriser la biodiversité. Les îlots de verdure en biorétention permettent l'infiltration de l'eau de pluie en agissant comme un bassin de biorétention et en stockant l'excédent d'eau.

Afin de promouvoir les déplacements alternatifs n'utilisant pas d'énergie fossile, un garage à vélo ainsi qu'un chemin d'accès piétonnier sécurisé ont été aménagés. De plus, quatre places de stationnement ont été munies de bornes de recharge pour les véhicules électriques.

### **Entretien**

L'entretien du stationnement est réalisé par la ville. À l'exception de la première année d'implantation, les végétaux ne nécessitent que très peu d'entretien, ceux-ci ayant été choisis dans ce but. Seule une taille de temps à autre suffit. Pour les pavés perméables, puisque ce sont les joints entre les pavés qui permettent l'infiltration de l'eau, ils doivent être entretenus pour éviter l'obstruction des pores. Néanmoins, même si les pores des joints sont en partie bouchés, ces pavés ont une grande capacité de rétention (1 millilitre par heure) et sont donc toujours efficaces.

### **Retombées et cobénéfices**

Le réaménagement du stationnement de l'aréna Rodrigue-Gilbert a comporté des améliorations entre autres sur le plan du verdissement, de la biodiversité, de la gestion des eaux pluviales ainsi que des transports actif et alternatif. Bien qu'aucune mesure de température n'ait été effectuée depuis la fin des travaux, l'endroit est devenu plus agréable et le projet a embelli le quartier et amélioré la qualité du milieu de vie. De plus, avec une partie du stationnement couvert d'un revêtement perméable, la gestion des eaux de pluie s'est améliorée puisqu'une partie de ces eaux de surface est directement retenue sur place, ce qui diminue la charge en eau dans les canalisations de la ville.

Le projet inclut aussi un volet pédagogique, avec la mise en place dans le stationnement de trois panneaux d'interprétation sur la gestion des eaux de pluie, la biodiversité et les changements climatiques. De plus, une partie du stationnement peut être transformé temporairement pour des activités ponctuelles publiques et sportives dans le but de favoriser la création et les liens sociaux.

Ce stationnement a reçu la certification « stationnement écoresponsable » par le Conseil régional de l'environnement de Montréal en 2018.

➔ Coût total du projet : 1 800 000 \$

Pour en savoir plus sur le projet, consulter le

<https://stationnementecoresponsable.com/2018/12/06/arena-rodrigue-gilbert/>.

## 6.1.2 LE TOIT VERT DU COLLÈGE DE ROSEMONT, À MONTRÉAL

### MESURES DE LUTTE CONTRE LES ICU UTILISÉES

Toit vert, toits blancs.

#### Contexte

En 2007, le Collège de Rosemont a installé 10 000 pieds carrés de toiture végétale afin de lutter contre le phénomène d'ICU. Le projet avait différents objectifs reliés à la réduction de la chaleur, à une meilleure gestion des eaux pluviales de même qu'à l'amélioration de la qualité de l'air, de la biodiversité et de l'esthétisme.

#### Description du projet

Le toit vert du Collège de Rosemont a été recouvert d'un matelas de sedum pré-cultivé, une plante dite « grasse » ou « succulente ». Ces plantes stockent l'eau dans leurs feuilles et agissent comme bassin de rétention. Elles ont aussi une grande capacité d'adaptation puisqu'elles résistent bien à la sécheresse, aux maladies et aux parasites, en plus d'agir comme un filtre en retenant les poussières urbaines et le pollen.

#### Entretien

Le sedum utilisé pour le toit vert nécessite peu d'entretien. Un peu de désherbage et de fertilisant de temps en temps suffisent. Bien que cette plante soit résistante à la sécheresse, la toiture de l'école est irriguée en période de forte chaleur pour assurer sa pérennité. Ces entretiens sont réalisés directement par le collège et n'engendrent aucun coût supplémentaire, à l'exception de l'achat du fertilisant.

#### Retombées et cobénéfices

Les plantes du toit agissent comme un bassin de rétention des eaux de pluie. Ainsi, moins d'eaux usées sont déversées dans les égouts de la ville et, le cas échéant, puisqu'elles ont été filtrées par les végétaux de la toiture, elles sont plus propres. De plus, la toiture verte permet de diminuer la chaleur à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment et de réduire par la même occasion les coûts de climatisation. Elle permet également de purifier l'air en captant le CO<sub>2</sub> et favorise la biodiversité.

L'emplacement choisi pour cet aménagement étant visible depuis la bibliothèque vitrée du collège, il rend le milieu de vie plus agréable pour les utilisateurs.



Crédit photo : Toits vertige. Source : <http://toitsvertige.com/portfolio/institutionnel/>.

Un volet éducatif a également été mis en œuvre. Des panneaux pédagogiques sur la thématique des toits verts ont été installés à l'intérieur de la bibliothèque afin de sensibiliser les élèves sur le sujet.

Pour en savoir plus sur le projet, consulter le <https://www.crosemont.qc.ca/developpement-durable/vert-jusque-sur-les-toits/>.

## LA RÉGLEMENTATION EN VIGUEUR À ROSEMONT–LA-PETITE-PATRIE



En 2011, des mesures réglementaires visant à lutter contre les ICU ont été ajoutées au règlement de zonage de l'arrondissement de Rosemont–La-Petite-Patrie, à Montréal. Ce règlement indique que, lors de la réfection d'une toiture ou de la construction d'un nouveau bâtiment, si le toit a une pente inférieure à 2 unités à la verticale pour 12 unités à l'horizontale (2 : 12), la toiture doit être obligatoirement végétalisée, blanche ou recouverte d'un matériau à fort indice de réflectance solaire (au moins 78). Pour respecter ce règlement, toutes les toitures qui ont dû être rénovées au Collège de Rosemont sont soit devenues vertes (5 %), soit blanches (80 %). Depuis, la majorité des arrondissements ont emboîté le pas en favorisant les toitures blanches ou végétales pour lutter contre les ICU.

Pour en savoir plus sur les nouvelles mesures, consulter le [Règlement d'urbanisme de l'arrondissement Rosemont–La-Petite-Patrie](#) de la Ville de Montréal et les [Mesures visant la réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain dans Rosemont–La Petite-Patrie](#) sur le site de Ressources naturelles Canada.

### 6.1.3 LA COUR DE L'ÉCOLE SAINT-PIERRE, À ALMA

#### MESURES DE LUTTE CONTRE LES ICU UTILISÉES

Plantation d'arbres et de végétaux, agriculture urbaine, retrait d'asphalte.

#### Contexte

La cour de l'école Saint-Pierre, située à Alma au Saguenay–Lac-Saint-Jean, a été réaménagée en juin 2019. Ce projet est né grâce à une enseignante et à une paysagiste bénévole, toutes deux désirant faire de cette cour un milieu plus agréable à vivre. En amont du projet, elles ont constaté un problème de captation des eaux de surface et la présence d'un ICU dans la cour d'école. De plus, un déséquilibre de température dans le bâtiment en raison de l'orientation des locaux et du chauffage central occasionnait un inconfort pour les élèves et le personnel. En effet, les salles de classe situées au sud et exposées au soleil pouvaient atteindre plus de 30 °C dès le mois de mars. L'ouverture des fenêtres orientées sud ne permettait pas de maintenir une température confortable; les classes au sud restaient trop chaudes et celles au nord, trop froides.

Un plan d'aménagement du terrain de l'école a été conçu bénévolement afin de créer « l'école du futur sans gazon ». Le projet a été approuvé par la direction et le corps enseignant. Une campagne de sociofinancement a été lancée afin de récolter des dons en argent et en matériaux. Le budget initial était de 30 000 \$. Les citoyens et les entreprises locales se sont mobilisés dans le projet, permettant d'amasser 135 000 \$, ce qui a permis de grossir le gabarit des végétaux du projet initial et la qualité des matériaux. Puisque la cour d'école a coûté environ 100 000 \$, l'excédent a été placé dans un fonds pour la formation des élèves et l'entretien, si nécessaire.

#### Description du projet

Les travaux ont commencé par le retrait de 27 000 pieds carrés de gazon. Afin de ne pas faire usage d'herbicide et de rendre le projet le plus écologique possible, le gazon a été retiré à l'aide de bois fragmenté utilisé comme paillis pour l'étouffer. Ensuite, 1 340 arbres, arbustes et vivaces ont été plantés pour apporter de l'ombre et permettre une meilleure gestion des eaux de surface. Des zones sans plantation ont tout de même été conservées pour permettre aux enfants de faire des glissades en hiver. Enfin, le projet est aussi un jardin nourricier, pour 35 % du couvert végétal.

Un sentier boisé a remplacé près de 4 000 pieds carrés d'asphalte en plein centre de la cour d'école. Celui-ci a été entouré de végétaux (principalement des lilas) pour créer de l'intimité, embaumer l'air et réduire le bruit environnant.

#### Entretien

La taille des arbres et des arbustes est réalisée une fois l'an, au printemps, par des élèves volontaires de 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> année ayant suivi une formation de jardinier averti, le tout sous la supervision d'un paysagiste. Dès la première année, cette formation a intéressé 90 jeunes. Ainsi, l'entretien des végétaux n'occasionne pas de coûts supplémentaires pour l'école. Cette formation permet aussi d'assurer la pérennité du projet et est offerte aussi bien aux élèves qu'aux



Crédit photo : Claude Bouchard, Radio-Canada. Source : <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1306769/projet-verdissement-terrain-etablissement-scolaire>.

parents. De même, des clôtures à neige sont installées l'hiver afin d'éviter le piétinement des plantations.

### DES ARBRES JUDICIEUSEMENT CHOISIS

**+** Afin d'obtenir un couvert végétal le plus rapidement possible, des ormes Accolade, de grands arbres à croissance ultra rapide, ont été privilégiés et plantés de façon stratégique pour aider à rafraîchir les locaux. Depuis les aménagements réalisés en juin 2019, les effets positifs des ombrières devraient se faire ressentir dans les classes puisque ces arbres grandissent de 1,5 à 2 mètres par an.

D'autres facteurs ont également été pris en compte dans le choix des arbres. Par exemple, le bouleau a été évité pour son pollen irritant, mais aussi parce que son écorce s'exfolie, rendant l'arrachage de l'écorce très tentant pour les enfants. Quant aux noisetiers, étant à une hauteur accessible pour les enfants, ils ont été évités en raison des allergies aux noix. Ainsi, des noyers et des marronniers, dont les fruits sont moins accessibles, ont été plantés. De plus, pour réduire les effets d'une possible infestation à une espèce en particulier, des essences variées ont été choisies.

### Retombées et cobénéfices

Le projet ayant été réalisé il y a peu de temps, il n'est pas encore possible de constater les impacts sur la température à l'intérieur des classes et dans la cour d'école. Toutefois, une baisse de température est attendue et aurait ainsi un impact sur les coûts de climatisation et de chauffage du bâtiment. Bien que les arbres soient encore jeunes, il est déjà possible de constater une amélioration sur le plan de la gestion des eaux lors de fortes pluies; l'eau ne s'accumule plus dans la cour d'école. Enfin, les arbres plantés permettent de capter le carbone, de purifier l'air autour de l'école et d'embellir le quartier. Quant au retrait du gazon, il a permis de réduire le bruit engendré par la tonte, ainsi que de diminuer les coûts d'entretien et l'émission de GES.

Le projet amenait également une dimension pédagogique, car les talus de gazon ont fait place à cinq classes extérieures. Du granite, du bois et du paillis ont été fournis gratuitement pour la construction de chaises, de bancs et de tables.

Des visites de la cour d'école avec les enseignants et les élèves ont été réalisées la première année afin de les familiariser aux essences d'arbres plantés, à l'attrait de chaque secteur (sentier boisé, classe extérieure sur les talus) et à la vision future de la cour. Aujourd'hui, les élèves se sont imprégnés de leur nouvelle cour et la dynamique de l'école a changé. Aucun vandalisme ou aucune destruction de végétaux n'a été enregistré. Les élèves se sont réapproprié la cour et les endroits autrefois déserts sont maintenant occupés, alors qu'auparavant, tous les jeunes s'attroquaient aux mêmes endroits.

Le fait d'avoir impliqué les jeunes et leur famille a permis de créer un lien d'appartenance au milieu. Le jour de la plantation, 284 bénévoles sont venus prêter main-forte, et des entreprises locales étaient également présentes pour offrir le dîner et des rafraîchissements. De plus, depuis la fin du projet, la cour d'école est beaucoup plus fréquentée, créant ainsi un lieu de partage et d'échange pour la communauté.

La cour de l'école Saint-Pierre est un projet innovateur et rassembleur qui a augmenté la cohésion sociale au sein d'Alma. C'est la première cour d'école sans gazon du Québec, ce qui fait la fierté des résidents et, surtout, des élèves. Ce projet a permis d'améliorer la qualité du milieu de vie et de sensibiliser les élèves à leur environnement. Grâce à lui, la Ville d'Alma a reçu le 1<sup>er</sup> prix de verdissement des Fleurons du Québec en 2019.

## LE CONSEIL DE LA PAYSAGISTE BÉNÉVOLE



« Il faut faire au cas par cas et en fonction de ce qu'on a. Ici, le projet s'est agrandi au fur et à mesure grâce à l'implication de toute la communauté. Mon conseil serait d'impliquer au maximum les citoyens et les entreprises locales en collaborant avec eux pour recycler leurs chutes de matériaux. »

→ Coût total du projet : 100 000 \$

### 6.1.4 LA CONSTRUCTION DES HABITATIONS SAINTE-GERMAINE-COUSIN, À MONTRÉAL

#### MESURES DE LUTTE CONTRE LES ICU UTILISÉES

Toit vert, toiture à albédo élevé, plantation d'arbres, géothermie, conception écoénergétique.

#### Contexte

L'ancienne église Sainte-Germaine-Cousin, à Montréal, a été conservée et restaurée afin d'y héberger un centre de la petite enfance et d'y construire une résidence composée de chambres et de logements pour les personnes âgées autonomes ou en perte d'autonomie. Le site de l'église se trouvait en plein ICU, étant situé dans un secteur de la ville fortement minéralisé et avec une faible canopée.

#### Description du projet

Pour réduire l'empreinte écologique du projet, des matériaux locaux et naturels (p. ex., lin, jute) ont été privilégiés. Du béton Contempra a été choisi au lieu du ciment Portland afin de limiter les émissions de CO<sub>2</sub> de 10 %, permettant une économie de 72 tonnes de CO<sub>2</sub> pour l'ensemble du projet.

Un toit vert ainsi qu'une terrasse verte accessible ont été aménagés sur une partie du toit afin de limiter le phénomène d'ICU et d'optimiser la gestion des eaux pluviales du bâtiment en retenant une partie de l'eau de pluie, en plus d'améliorer l'isolation de la toiture. L'autre partie du toit a été recouverte d'une peinture claire à fort indice de réflectance solaire. Enfin, des îlots végétalisés ont été aménagés dans le stationnement et autour du bâtiment, apportant ainsi de l'ombre et permettant de purifier l'air.



Crédit photo : Rayside Labossière. Source : <https://www.construireavecclimat.org/etudes-de-cas/habitations-sainte-germaine-cousin/>

En ce qui concerne la climatisation, elle a été considérée comme essentielle compte tenu de la clientèle vulnérable à la chaleur, dans le but d'assurer santé et confort. Toutefois, de façon à limiter le bilan carbone du projet et à réduire les coûts de climatisation, seules les parties communes ont été climatisées. De plus, un système de climatisation par géothermie a été choisi pour limiter le phénomène d'ICU, souvent accéléré avec une climatisation standard. Ainsi, 28 puits de 430 pieds de profondeur ont été installés pour alimenter le système de climatisation et de chauffage à air pulsé. Quoiqu'assez coûteux, ce système permet de réduire les coûts de chauffage et de climatisation de

50 à 65 %, assurant ainsi un retour sur investissement rapide. Les fenêtres du bâtiment ont été pensées pour maximiser l'utilisation de la lumière naturelle et ainsi contribuer à réduire les coûts d'électricité. De plus, le bâtiment a été conçu pour répondre aux normes de performance énergétique Novoclimat.

Les travaux ont pris fin en 2015.

### **Entretien**

L'entretien n'occasionne pas de coût supplémentaire pour l'habitation. Une seule tonte a été réalisée en 5 ans sur une partie de la toiture.

### **Retombées et cobénéfices**

Les locataires se sont approprié les lieux, et la terrasse sur le toit est fréquemment utilisée, de même que les espaces verts situés autour du bâtiment. En plus de créer de la fraîcheur pour les résidents, ce projet permet une mixité et un échange multigénérationnel puisqu'il regroupe autant les plus jeunes que les plus âgés.

Ce projet, mettant de l'avant la mixité générationnelle et des composantes durables et écologiques, a amélioré la qualité de vie des résidents et a revitalisé le quartier. Ainsi, il a permis de réduire la vulnérabilité des résidents en rendant leur milieu de vie plus riche et agréable. Le projet promeut le recyclage de bâtiments.

➔ Coût total du projet : 35 000 000 \$

Pour en savoir plus sur le projet, consulter le <https://www.construireavecclimate.org/etudes-de-cas/habitations-sainte-germaine-cousin/> ou le [http://www.rayside.qc.ca/?portfolio\\_page=sainte-germaine-cousin](http://www.rayside.qc.ca/?portfolio_page=sainte-germaine-cousin).

### 6.1.5 LE STATIONNEMENT DE L'HÔPITAL DE SAINT-EUSTACHE

#### MESURES DE LUTTE CONTRE LES ICU UTILISÉES

Plantation d'arbres et de végétaux, revêtement perméable à albédo élevé, transport actif (ombre, abri à vélos, espaces sécurisés pour piétons et cyclistes).

#### Contexte

Dans le cadre des travaux de réfection de son stationnement, l'Hôpital de Saint-Eustache, en collaboration avec la Société québécoise des infrastructures et le Centre de santé et de services sociaux du Lac-des-Deux-Montagnes, a mis en œuvre des solutions d'adaptation afin d'atténuer les effets des ICU. Plus précisément, les objectifs suivants ont été ciblés :

- Réduire l'effet des ICU en aménageant des zones d'ombre et des îlots de verdure;
- Favoriser la rétention d'eau par l'intégration de stratégies de gestion des eaux pluviales et diminuer les eaux de ruissellement dans le réseau municipal;
- Favoriser le transport actif en créant des aménagements pour les déplacements sécuritaires des piétons et des cyclistes.

#### Description du projet

Pour répondre à ces objectifs, le stationnement a d'abord été verdi par l'ajout d'arbres et l'intégration de bandes de plantation entre certaines places de stationnement. Ensuite, environ 10 % du sol a été remplacé par un pavage clair perméable, favorisant ainsi l'infiltration de l'eau dans le sol et réduisant l'accumulation de chaleur. De plus, un bassin de rétention ouvert a été aménagé afin de stocker l'eau. Enfin, une allée sécurisée pour les piétons, avec une partie couverte permettant de faire de l'ombre, et un abri à vélos relié à la piste cyclable ont été aménagés. Des espaces sécurisés pour les vélos et les piétons ont aussi été construits, réduisant ainsi les émissions de GES et diminuant l'utilisation de la voiture.

#### Entretien

Pour assurer la pérennité du projet, des essences d'arbres et de vivaces résistantes et ne nécessitant que peu d'entretien ont été privilégiées. De plus, la structure de l'abri ayant été fabriquée en métal et en acier, aucun entretien n'est nécessaire. Les coûts de l'entretien réalisé par l'hôpital n'ont donc pas significativement augmenté depuis l'avant-projet.

#### Retombées et cobénéfices

Avant et après la réalisation des travaux, des mesures de température de surface ont été enregistrées. Ces mesures n'ayant pas forcément été prises dans les mêmes conditions météorologiques, les résultats s'avèrent peu concluants. De plus, celles-ci ont été prises alors que les arbres n'avaient pas atteint leur pleine maturité, ne laissant pas suffisamment de recul pour estimer les impacts sur la chaleur. Cependant, les effets à long terme de ces mesures sur l'ombre et la chaleur devraient être concluants.

Par ailleurs, avant et après les travaux, un sondage a été mené auprès des patients, des visiteurs et du personnel du centre hospitalier. Les différents usagers se sont avérés satisfaits des nouveaux aménagements et ont trouvé le stationnement plus sécuritaire et agréable.

Ce projet a donc bonifié la qualité du milieu de vie et, surtout, l'expérience de visite en améliorant le confort des usagers dans le stationnement. Il aura contribué à augmenter la surface perméable du stationnement, permettant ainsi de filtrer et d'évacuer davantage les eaux de pluie et, par conséquent, d'alléger les rejets dans le réseau municipal d'égout. De plus, les arbres augmentent le couvert végétal, apportent de l'ombre et réduisent la température dans le stationnement, le rendant plus agréable lors de fortes chaleurs. Ce stationnement encourage également la mobilité durable par l'aménagement d'espaces sécurisés pour les vélos et les piétons, réduisant ainsi les émissions de GES en diminuant l'utilisation de la voiture.

➔ Coût total du projet : 3 500 000 \$



Piste cyclable

Abri à vélos

Crédit photo : Mon climat, ma santé. Source : <http://www.monclimatmasante.qc.ca/le-centre-hospitalier-de-saint-eustache.aspx>.

## 6.1.6 LE VERDISSEMENT DE L'INSTITUT DE RÉADAPTATION EN DÉFICIENCE PHYSIQUE DE QUÉBEC, À QUÉBEC

### MESURES DE LUTTE CONTRE LES ICU UTILISÉES

Toiture à albédo élevé, plantation d'arbres et de végétaux, végétalisation du pourtour du bâtiment.

#### Contexte

Afin de lutter contre les ICU, le Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux de la Capitale-Nationale, appuyé par Nature Québec, a réalisé plusieurs projets de verdissement. L'Institut de réadaptation en déficience physique de Québec étant situé à proximité d'un carrefour urbain très achalandé et d'une autoroute, des travaux de verdissement ont été entrepris. Un comité composé de Nature Québec et du Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux de la Capitale-Nationale a été mis en place pour la conception et la réalisation du projet.

#### Description du projet

Le projet a commencé en 2018 par la réfection de 25 % de la toiture. Une membrane en PVC blanc à haute réflectance a été installée sur l'un des toits; les autres portions de toits seront remplacées par un revêtement semblable lorsque leur durée de vie sera atteinte. L'option du toit végétalisé a dû être écartée puisque la structure du bâtiment ne permettait pas de supporter un tel poids.



Crédit photo : Milieux de vie en santé. Source : <https://milieuxdevieensante.org/projet/irdpq/>.

Par la suite, une prairie urbaine traversée par un parcours piétonnier a été aménagée. Une deuxième phase du projet permettra de rendre ce parcours accessible aux fauteuils roulants. La prairie est composée d'un combiné de graminées et de légumineuses (lin, trèfle, etc.) qui améliorent la qualité du sol en augmentant sa teneur en carbone et qui attirent les pollinisateurs. Ces différentes plantes permettent ainsi d'augmenter la biodiversité sur le site.

Plus de 200 arbres, arbustes et plantes ont été placés sur le pourtour de la prairie et du bâtiment. Ces diverses plantations permettent d'atténuer le phénomène d'ICU, mais aussi de purifier l'air et de diminuer le bruit et la poussière générée par la circulation. La prairie urbaine permet également de retenir l'eau, ce qui améliore la gestion des eaux de pluie. Enfin, elle permet de concurrencer l'herbe à poux, une plante allergène et envahissante qui représente un enjeu sanitaire au Québec.

#### Entretien

Le nettoyage de la toiture est réalisé par le Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux et s'effectue chaque année au printemps et à l'automne. Une inspection annuelle est également réalisée par l'entreprise l'ayant installée. Lors de cette inspection, si une déficience est observée, des corrections sont apportées directement par l'entreprise sans générer de coût supplémentaire (contrat avec garantie de 10 ans).

Pour ce qui est de la prairie urbaine et des plantations, aucun entretien particulier n'est réalisé, excepté la tonte du parcours piétonnier effectué par un paysagiste. Cet entretien ne représente pas de coût supplémentaire pour l'Institut de réadaptation en déficience physique de Québec par rapport à l'avant-projet.

### **Retombées et cobénéfices**

Depuis la réalisation de ce projet, aucune mesure de température n'a été effectuée. Cependant, la toiture qui a été refaite offre une meilleure isolation que l'ancienne, diminuant a priori les pertes de chaleur l'hiver et permettant de garder la fraîcheur l'été. Les coûts de climatisation et de chauffage devraient donc diminuer. De plus, les différents arbres devraient, à maturité, contribuer davantage à réduire la température, autant à l'extérieur qu'à l'intérieur des bâtiments. Le lieu est également plus agréable et plus propice à l'activité physique.

➔ Coût total du projet : environ 750 000 \$ (100 000 \$ pour la végétation et 650 000 \$ pour la toiture)

Pour plus d'information sur le projet, consulter le <https://milieuxdevieensante.org/projet/irdpq/>.

## 6.2 Expériences du Plan d'action sur les changements climatiques

### 6.2.1 PLAN D'ACTION SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES 2006-2012

De 2010 à 2014, l'INSPQ a soutenu des projets de lutte contre les ICU, menés par différents partenaires, permettant une diminution de l'impact des changements climatiques sur la santé des populations vulnérables. Les projets attendus devaient viser spécifiquement la mise en œuvre d'une mesure ou d'un ensemble de mesures favorisant le rafraîchissement en milieu urbain. Ces mesures comprenaient, de manière générale, la densification de la végétation et l'aménagement de rues piétonnes, de stationnements, d'aires de jeux, de cours d'école, de services de garde publics (garderies, centres de la petite enfance), de places publiques et de bâtiments fréquentés par des populations vulnérables (p. ex., coopératives d'habitation, centres pour personnes âgées). À la suite de trois appels de propositions, plus d'une quarantaine de projets ont été réalisés et financés dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques (PACC 2006-2012) du gouvernement du Québec.

Le tableau 9 présente quelques statistiques de réalisation.

Une carte résumant l'ensemble des projets peut être consultée sur le site Web [Mon climat, ma santé](#).

**Tableau 9** Statistiques des projets de lutte contre les îlots de chaleur urbains réalisés dans le cadre du PACC 2006-2012

Réalisations	Statistiques
Types de projet	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 17 cours d'école</li> <li>▪ 7 ruelles vertes</li> <li>▪ 8 places fraîcheur</li> <li>▪ 10 stationnements</li> <li>▪ 5 centres de la petite enfance</li> <li>▪ 4 offices municipaux d'habitation</li> </ul>
Plantations	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 3 000 arbres</li> <li>▪ 26 000 arbustes/plantes grimpantes, vivaces et annuelles</li> </ul>
Toiture	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 600 mètres carrés de toiture verte (4 projets)</li> <li>▪ 65 000 mètres carrés de toiture blanche (2 projets)</li> </ul>
Agriculture urbaine	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plus de 1 500 bacs d'agriculture urbaine (11 projets)</li> </ul>
Retrait d'asphalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 40 000 mètres carrés d'asphalte</li> </ul>

Statistiques compilées par l'équipe Changements climatiques de l'INSPQ.

### 6.2.2 PLAN D'ACTION SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES 2013-2020

À la suite de l'expérience du PACC 2006-2012, deux projets ont été amorcés en 2015 pour densifier la végétation de quartiers afin de lutter contre les ICU. C'est ainsi qu'ont vu le jour le programme *Milieus de vie en santé*, porté par Nature Québec, et la campagne ILEAU, portée par le Conseil régional de l'environnement de Montréal. Depuis 2015, ces deux initiatives ont permis la réalisation de près de 300 projets de verdissement et la plantation de plus de 30 000 végétaux. De plus, une importante campagne de sensibilisation des décideurs et de la population a été mise en marche dès le lancement des projets.

Huit nouveaux projets ont été amorcés au printemps 2020 afin de transposer les apprentissages dans un nombre grandissant de villes au Québec. Ces projets se termineront en décembre 2022.

Le tableau 10 détaille les dix projets mis en œuvre dans le cadre du programme de verdissement du PACC 2013-2020.

**Tableau 10 Projets de lutte contre les îlots et les archipels de chaleur urbains en cours dans le cadre du PACC 2013-2020**

Ville	Organisme porteur	Nom du projet	Site Web
Drummondville	Conseil régional de l'environnement du Centre-du-Québec	Coup de fraîcheur	<a href="https://crecq.qc.ca/wp-content/uploads/2020/11/Fiche_CoupeFraicheur_2020.pdf">https://crecq.qc.ca/wp-content/uploads/2020/11/Fiche_CoupeFraicheur_2020.pdf</a>
Gatineau	Conseil régional de l'environnement et du développement durable de l'Outaouais	Vivre en vert	<a href="https://www.vivreenvert.ca/">https://www.vivreenvert.ca/</a>
Laval	Canopée, le réseau des bois de Laval	Île en vert	<a href="https://www.reseaucanopee.org/fr/ile-en-vert/">https://www.reseaucanopee.org/fr/ile-en-vert/</a>
Montréal (est)	Conseil régional de l'environnement de Montréal	ILEAU	<a href="https://ileau.ca/">https://ileau.ca/</a>
Montréal (centre-nord)	Ville en vert	Vert le nord	<a href="https://villeenvert.ca/vert-le-nord/">https://villeenvert.ca/vert-le-nord/</a>
Montréal (centre-sud)	Regroupement des éco-quartiers	Verdir le sud	<a href="https://www.eco-quartiers.org/verdir-le-sud">https://www.eco-quartiers.org/verdir-le-sud</a>
Québec	Nature Québec	Milieus de vie en santé	<a href="https://milieuxdevieensante.org/">https://milieuxdevieensante.org/</a>
Repentigny	Comité Écologique du Grand Montréal	Verdir pour l'avenir	<a href="https://cegm.ca/projets/verdir-pour-lavenir/">https://cegm.ca/projets/verdir-pour-lavenir/</a>
Saguenay	Eurêko	Canopée et biodiversité Saguenay	<a href="https://eureko.ca/services/canopee-et-biodiversite-saguenay">https://eureko.ca/services/canopee-et-biodiversite-saguenay</a>
Sherbrooke	Conseil régional de l'environnement de l'Estrie	Vent de fraîcheur sur l'est	<a href="https://www.environnementestrie.ca/priorites/lurgence-climatique/vent-de-fraicheur-sur-lest/">https://www.environnementestrie.ca/priorites/lurgence-climatique/vent-de-fraicheur-sur-lest/</a>

Compilé par l'équipe Changements climatiques de l'INSPQ.

## 7 Limites

### Littérature

La plupart des bases de données disponibles pour effectuer la recherche dans la littérature scientifique étaient axées sur les aspects santé des ICU. De ce fait, il est possible que certains articles d'intérêt quant aux mesures de lutte contre les ICU n'aient pas été captés.

En termes d'efficacité des mesures de lutte contre les ICU, l'absence d'un standard dans la mesure de la température de l'air pour analyser les stratégies d'atténuation des ICU mises en œuvre peut poser problème. En effet, bien que la température de l'air à une élévation de 2 mètres soit largement utilisée comme mesure de l'intensité des ICU jusqu'à présent, des mesures de la température de l'air prises à des élévations différentes sont fréquemment rapportées dans la littérature. De même, certaines études rapportent les différences de températures maximales, tandis que d'autres mentionnent plutôt les différences de températures moyennes.

À l'échelle des bâtiments, l'ampleur des performances thermiques dépend fortement de l'orientation des murs, de leur taille, des caractéristiques du bâtiment, des espèces végétales et du type de substrat. Cette grande variation dans la collecte des données complexifie la comparaison des performances des mesures de lutte contre les ICU.

La présente revue de la littérature n'avait pas pour objectif de cibler les coûts reliés à chacune des mesures. Les coûts étant excessivement variables d'une région à l'autre et d'une année à l'autre, il sera important pour le lecteur désireux de mettre en place l'une ou plusieurs des mesures décrites de se renseigner auprès des experts de sa région.

De plus, les auteures n'étant ni architectes, ni paysagistes, ni ingénieures, leur interprétation des résultats des différentes études n'engage qu'elles-mêmes.

Enfin, cette revue de la littérature n'aborde pas les outils législatifs et réglementaires pouvant encadrer la mise en place de mesures de lutte contre les ICU, bien que les auteures reconnaissent qu'une implication grandissante des gouvernements et des responsables de la planification urbaine permettra d'atteindre plus rapidement des bénéfices liés à la mise en œuvre opérationnelle.

### Études de cas

Des mesures de température de surface ont été enregistrées pour une seule étude de cas, mais n'ont pas été prises dans les règles de l'art; ces mesures n'ayant pas forcément été effectuées dans les mêmes conditions météorologiques avant et après les aménagements, les résultats s'avèrent peu concluants. De plus, celles-ci ont été prises alors que les arbres n'avaient pas atteint leur pleine maturité, ne laissant pas suffisamment de recul pour estimer leur impact sur la chaleur.



## 8 Conclusion

Dans de nombreuses zones urbaines du Québec, la concentration des routes, des bâtiments et de toute autre infrastructure construite avec des matériaux à forte capacité d'absorption de chaleur amène un effet d'ICU. Cet effet est accentué par le manque de végétation, créant ainsi des microclimats locaux distincts de ceux des zones en périphérie urbaine. Les matériaux urbains imperméables et à bas albédo qui composent en grande partie les villes, comme l'asphalte et certains types de béton, réduisent l'effet de rafraîchissement possible par évaporation et augmentent l'apport de rayonnement solaire. La morphologie urbaine, notamment par la densité des milieux bâtis et les rues étroites qui les composent, peut aussi accroître ce phénomène. De plus, le dégagement de chaleur anthropique en milieu urbain contribue à l'ICU, qui à son tour exacerbe l'impact des vagues de chaleur. En raison de l'augmentation des températures engendrée par les changements climatiques, le stress thermique déjà important sera amené à s'amplifier dans les prochaines années. Les arbres urbains sont eux-mêmes menacés par les changements climatiques, par une croissance urbaine sans précédent et par de nouveaux ravageurs et maladies émergentes.

Étant donné que les connaissances scientifiques sont en constante évolution concernant les meilleures mesures de lutte contre les ICU à mettre en place, la présente mise à jour de la publication de 2009 a permis de rendre plus actuelle l'information concernant les pratiques utilisées et potentiellement applicables en contexte québécois. Plusieurs aspects ont été bonifiés en tenant compte des recherches les plus récentes. Les études de cas viennent également compléter la revue en apportant des exemples concrets de mise en œuvre de projets de lutte contre les ICU afin d'encourager la réalisation de ce type d'initiatives et d'inspirer les acteurs de l'environnement bâti. La présente revue de la littérature constitue donc un outil auquel les professionnels des directions de santé publique, les gestionnaires immobiliers du réseau de la santé et des services sociaux du gouvernement, de même que les intervenants de terrain des organismes à but non lucratif et du secteur municipal peuvent se référer afin de contribuer à protéger la santé des populations les plus vulnérables contre les effets néfastes de la chaleur accablante accentuée par les ICU.

Il ressort de la revue de la littérature que différentes mesures permettent de réduire l'effet d'ICU et ses différents impacts environnementaux (air, eau, demande énergétique) et sanitaires. Bien que, d'un point de vue de confort thermique, la climatisation soit une façon de réduire les conséquences attribuables à la chaleur sur les populations vulnérables, d'autres mesures applicables aux bâtiments peuvent être envisagées afin de mieux adapter les villes aux changements climatiques à long terme. De plus, en tenant compte du contexte particulier dans lequel les mesures de lutte contre les ICU sont implantées, il est admis qu'elles sont plus efficaces lorsqu'utilisées en combinaison et en complémentarité les unes avec les autres.

Le verdissement urbain modère les températures de façon active via le processus d'évapotranspiration, et de façon passive en créant des zones ombragées. En termes de distance et d'intensité de l'effet de rafraîchissement, les grands parcs urbains arrivent au premier rang. Différents types de végétation peuvent être utilisés dans le cadre d'une démarche de densification de la végétation, les bénéfiques des arbres s'alliant avec ceux de la végétation basse et des arbustes. Une densification globale de la végétation à l'échelle des villes permet d'engendrer un impact intéressant sur la fraîcheur urbaine. Les arbres et les arbustes peuvent non seulement être plantés dans des espaces publics afin de créer des îlots de fraîcheur urbains, mais aussi en bordure de rue ou sur le pourtour des bâtiments. De plus, lorsque la structure du bâtiment le permet, des toitures végétales (autant intensives qu'extensives) peuvent être installées. En plus de réduire l'effet d'ICU, les toits verts permettent une meilleure gestion des eaux pluviales. Les murs sains des bâtiments peuvent également être végétalisés, notamment par l'ajout de plantes grimpances. Les caractéristiques

d'économie d'énergie, d'isolation thermique, d'ombrage et d'évapotranspiration mettent en évidence le rôle clé des toits verts et des murs végétaux dans la performance thermique globale des bâtiments. Ces interventions permettent une diminution de la température intérieure des bâtiments en raison de l'isolation que procure la végétation, qui permet de garder la chaleur à l'extérieur en été et à l'intérieur en hiver.

L'augmentation de l'albédo des villes favorise le rafraîchissement en réfléchissant une grande quantité de rayonnement solaire. Les surfaces réfléchissantes ont ainsi une température de surface inférieure à celle des revêtements traditionnels et relâchent moins de chaleur nocturne. Autant les bâtiments (toitures et murs) que les infrastructures routières ou les revêtements de sol peuvent être ainsi adaptés, permettant de réduire la température de surface, mais aussi, en ce qui concerne les bâtiments, la température intérieure des logements. Ce bénéfice est d'autant plus appréciable dans les logements situés dans les quartiers centraux, soumis aux fortes chaleurs en raison de la densité de construction. De même, les populations qui y habitent sont souvent plus vulnérables, en raison d'une moins grande capacité d'adaptation. Les habitations et les commerces peuvent également être adaptés avec différents types de pare-soleil pour limiter l'entrée de soleil et l'accumulation de chaleur dans les bâtiments.

Les espaces bleus peuvent être à la fois une source de rafraîchissement (due à l'évaporation) ou de chaleur (due à l'inertie thermique), en plus de produire de la vapeur d'eau amenant un inconfort thermique dans certaines circonstances. L'influence de la géométrie et de la diversité des espaces bleus urbains nécessite plus de recherche. Alors que l'eau qui s'écoule a un effet de rafraîchissement plus important que l'eau stagnante, l'eau dispersée comme celle d'une fontaine a le plus grand effet de rafraîchissement. Des installations de rafraîchissement dans les villes permettent aussi d'apporter de la fraîcheur à la population.

Le fait de limiter l'imperméabilisation des sols améliore la gestion des eaux pluviales tant sur le plan qualitatif que quantitatif. En diminuant le ruissellement, l'eau infiltrée dans les sols peut rafraîchir l'air ambiant par évaporation. Différentes options peuvent être utilisées, comme le jardin pluvial, la tranchée de rétention, le bassin de rétention ou le puits d'infiltration. L'utilisation de matériaux perméables et la plantation de végétaux contribueront également à réduire l'effet d'ICU par leur potentiel de rétention d'eau.

Il est également essentiel de tenir compte des enjeux liés à la chaleur urbaine dans l'architecture et l'urbanisme à une échelle qui va des bâtiments individuels aux villes entières, notamment en amorçant une réflexion visant à transformer les agglomérations pour les rendre plus denses et permettre aux citoyens de privilégier les transports collectif et actif. De même, certaines modifications aux habitudes de consommation peuvent être encouragées afin de privilégier les appareils électroniques et électriques à faible émission de chaleur et à faible consommation énergétique, tout comme les habitudes d'utilisation de ces appareils.

En matière de santé publique, l'effet d'ICU peut se mesurer en termes d'impacts sur la santé de la population. Depuis 20 ans, chaque nouvelle année apporte son lot de records de chaleur, et les projections tendent à montrer que la situation ne va pas en s'améliorant. Les vagues de chaleur des dernières années ont montré tout l'impact des ICU sur les hospitalisations et les transports en ambulance, mais aussi sur la mortalité. Les populations les plus vulnérables à la chaleur n'ont pas toujours la capacité physique, mentale, financière ou sociale de s'adapter aux journées de forte chaleur. En effet, bien que certaines caractéristiques viennent définir des strates de la population plus sensibles à la chaleur (comme l'âge et l'état de santé), leur exposition (p. ex., vivre dans un ICU) et leur capacité d'adaptation (p. ex., habiter un logement climatisé) viennent également déterminer

leur vulnérabilité en période de forte chaleur. Ainsi, une personne de 65 ans disposant de la climatisation dans sa résidence d'un quartier verti sera beaucoup moins vulnérable qu'une personne de 50 ans habitant un logement surchauffé d'un quartier central fortement minéralisé. Cet état de situation met l'accent sur la nécessité pour les municipalités de connaître leur territoire et leur population pour se doter de stratégies de lutte contre les ICU dans les quartiers où l'impact positif sur la santé de la population se fera le plus rapidement sentir. Pour que les choix effectués soient pérennes et qu'ils soient porteurs d'acceptabilité sociale, ils doivent s'effectuer en collaboration avec les différents professionnels (architectes, ingénieurs, urbanistes, paysagistes) selon les réalités propres à chaque situation, de concert avec les organismes communautaires du milieu et avec l'appui des citoyens. Les réflexions doivent également prendre en considération la question de l'entretien des infrastructures afin d'en assurer une qualité, une efficacité et une durée de vie utile optimale.

Cette revue fait ressortir le vaste éventail de mesures pouvant être mises de l'avant et le caractère multidisciplinaire de la lutte contre les ICU. Les auteures de cette revue ne sauraient prétendre à l'exhaustivité de cette dernière. À cet effet, des revues systématiques ciblées pour chacune des catégories pourraient être développées, incluant une recherche des coûts réels pour la mise en œuvre de ces mesures au Québec, ainsi que la valeur économique des cobénéfices engendrés par ces travaux. En effet, la question économique est un facteur qui mériterait une recherche plus spécifique, puisqu'elle constitue à la fois un levier et un frein à l'implantation de ces mesures. Cette revue amène également une réflexion quant à la nécessité de briser les silos existants entre les organisations gouvernementales et de multiplier les occasions d'échanges entre les différents professionnels afin de favoriser le partage de connaissances et d'expériences. Adapter les villes et les bâtiments pour limiter l'effet d'ICU est indispensable d'un point de vue de santé publique et engendre de nombreux cobénéfices à la fois sanitaires, sociaux, environnementaux et économiques. C'est par la collaboration d'un vaste réseau d'acteurs que pourra s'accélérer la transformation des villes québécoises.



## 9 Références

- Aflaki, A., Mirnezhad, M., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Omrany, H., Wang, Z.-H. et Akbari, H. (2017). Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong. *Cities*, 62, 131-145. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.003>
- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. (2012). *Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain*. <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/dossiers/786-guide-lutte-icu.pdf>
- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. (2021). *20 solutions pour réduire sa consommation d'électricité*. <https://agirpourlatransition.ademe.fr/particuliers/maison/economies-deenergie/20-solutions-reduire-consommation-deelectricite>
- 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*, 70(3), 295-310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)
- Akbari, H. (2005). *Energy saving potentials and air quality benefits of urban heat Island Mitigation*. Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://escholarship.org/content/qt4qs5f42s/qt4qs5f42s.pdf>
- Akbari, H. et Konopacki, S. (2004). Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto, Canada. *Energy*, 29(2), 191-210. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2003.09.004>
- Akbari, H., Berdahl, P., Levinson, R., Miller, S.W.W., Desjarlais, A. (2006). *Cool color roofing materials*. California Energy Commission.
- Akbari, H., Cartalis, C., Kolokotsa, D., Muscio, A., Pisello, A. L., Rossi, F., Santamouris, M., Synnef, A., Wong, N. H. et Zinzi, M. (2015). Local climate change and urban heat island mitigation techniques – the state of the art. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(1), 1-16. <https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1111934>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2010). *Thermal environmental conditions for human occupancy*. <http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2015/11/ASHRAE-55-2010.pdf>
- Ampatzidis, P. et Kershaw, T. (2020). A review of the impact of blue space on the urban microclimate. *Science of the Total Environment*, 730, 139068. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139068>
- Anctil, G., Huot, C., Leclerc, J.-M., Perron, S. et Poulin, P. (2021). *Document d'appui destiné au Comité consultatif sur la transmission de la COVID-19 en milieux scolaires et en milieux de soins et sur le rôle de la ventilation*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/3097-transmission-covid-19-milieux-scolaires-soins-ventilation-covid19.pdf>
- Anquez, P. et Herlem, A. (2011). *Les îlots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal : causes, impacts et solutions*. Université du Québec à Montréal. [https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND\\_RPP\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PDF-ILOTS.PDF](https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND_RPP_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PDF-ILOTS.PDF)
- Aram, F., Higuera García, E., Solgi, E. et Mansournia, S. (2019). Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon*, 5(4), e01339. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01339>

- Armstrong, M. M., Elmahdy, A. H., Swinton, M. C. et Parekh, A. (2008). Sélection de vitrages de fenêtres de type résidentiel pour un rendement énergétique optimal. *Solution constructive*, 71, 9.
- Asaeda, T., Ca, V. T. et Wake, A. (1996). Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. *Atmospheric Environment*, 30(3), 413-427. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00140-5](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00140-5)
- Association provinciale des constructeurs d'habitations du Québec. (2008). *Le guide des options écologues, une exclusivité de l'APCHQ : des options claires pour construire vert*.
- Balling, R. C., Gober, P. et Jones, N. (2008). Sensitivity of residential water consumption to variations in climate: An intraurban analysis of Phoenix, Arizona: climate and water use. *Water Resources Research*, 44(10). <https://doi.org/10.1029/2007WR006722>
- Bass, B., Liu, K. K. Y. et Baskaran, B. A. (2003). *Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas*. National Research Council of Canada. <https://doi.org/10.4224/20386110>
- Beaudoin, M. et Gosselin, P. (2016). An effective public health program to reduce urban heat islands in Quebec, Canada. *Pan American Journal of Public Health*, 40(3), 160-166.
- Beaudoin, M. et Levasseur, M.-E. (2017). *Verdir les villes pour la santé de la population : revue de la littérature*. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2265>
- Bélanger, D., Gosselin, P., Bustinza, R. et Campagna, C. (2019). *Changements climatiques et santé : prévenir, soigner et s'adapter*. Presses de l'Université Laval.
- Bélanger, D., Gosselin, P., Valois, P. et Abdous, B. (2015). Neighbourhood and dwelling characteristics associated with the self-reported adverse health effects of heat in most deprived urban areas: A cross-sectional study in 9 cities. *Health & Place*, 32, 8-18. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2014.12.014>
- Bennicelli, C., Craig-St-Louis, C. et Paradis, D. (2019). *Planifier pour le climat : intégrer la réduction des émissions de gaz à effet de serre des transports à la planification en aménagement et en urbanisme*. Vivre en Ville.
- Berardi, U. (2016). The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings*, 121, 217-229. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.021>
- Bernier, A.-M. (2011). *Les plantes grimpantes : une solution rafraîchissante*. Centre d'écologie urbaine de Montréal. <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2219252>
- Besir, A. B. et Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(Part 1), 915-939.
- Bevilacqua, P., Mazzeo, D., Bruno, R. et Arcuri, N. (2017). Surface temperature analysis of an extensive green roof for the mitigation of urban heat island in southern mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 150, 318-327. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.081>
- Bobes-Jesus, V., Pascual-Muñoz, P., Castro-Fresno, D. et Rodriguez-Hernandez, J. (2013). Asphalt solar collectors: A literature review. *Applied Energy*, 102, 962-970. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.08.050>

- Bolund, P. et Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29(2), 293-301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
- Bonin-Guillaume, S. (2005). Évaluation d'un appareil de brumisation en poste fixe dans un lieu de vie d'un établissement pour personnes âgées dépendantes. *La revue de gériatrie*, 30(9), 641-650.
- Boucher, I. (2010). *La gestion durable des eaux de pluie*. Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire. [http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/amenagement\\_territoire/urbanisme/guide\\_gestion\\_eaux\\_pluie\\_complet.pdf](http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/amenagement_territoire/urbanisme/guide_gestion_eaux_pluie_complet.pdf)
- Bourque, A. et Simonet, G. (2008). *Vivre avec les changements climatiques au Canada*. Ouranos. [https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportBourque2008\\_FR.pdf](https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportBourque2008_FR.pdf)
- Brattebo, B. O. et Booth, D. B. (2003). Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water Research*, 37(18), 4369-4376. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00410-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00410-X)
- Broadbent, A. M., Coutts, A. M., Tapper, N. J. et Demuzere, M. (2018a). The cooling effect of irrigation on urban microclimate during heatwave conditions. *Urban Climate*, 23, 309-329. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.05.002>
- Broadbent, A. M., Coutts, A. M., Tapper, N. J., Demuzere, M. et Beringer, J. (2018b). The microscale cooling effects of water sensitive urban design and irrigation in a suburban environment. *Theoretical et Applied Climatology*, 134(1-2), 1-23. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2241-3>
- Bureau de normalisation du Québec. (2013). *Lutte aux îlots de chaleur urbains : aménagement des aires de stationnement : guide à l'intention des concepteurs*. Gouvernement du Québec.
- Bustanza, R. (2021). *Fréquentation des endroits publics climatisés et des piscines publiques lors de chaleur extrême dans un contexte de pandémie*. Institut national de santé publique du Québec. [document interne]
- Bustanza, R. et Demers-Bouffard, D. (2021). *Mesures d'adaptation à la chaleur*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2792>
- Bustanza, R., Lebel, G., Gosselin, P., Bélanger, D. et Chebana, F. (2013). Health impacts of the July 2010 heat wave in Québec, Canada. *BMC Public Health*, 13(1), 56. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-56>
- Ca, V. T., Asaeda, T. et Abu, E. M. (1998). Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energy and Buildings*, 29(1), 83-92. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(98\)00032-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(98)00032-2)
- CAA-Québec. (2021). *Le vitrage, un allié trop souvent ignoré*. <https://www.caaquebec.com/fr/a-la-maison/conseils/capsules-conseils/conseil/show/sujet/le-vitrage-un-allie-trop-souvent-ignore/>
- Camirand, H., Baulne, J. et Traoré, I. (2016). *L'enquête québécoise sur la santé de la population 2014-2015 : pour en savoir plus sur la santé des Québécois*. Institut de la statistique du Québec.
- Canuel Ouellet, O. (2017). *Analyse du comportement thermique des surfaces à l'aide de l'imagerie aéroportée infrarouge thermique (TABI-1800) et hyperspectrale (CASI-1500) dans l'optique de minimiser l'intensité des îlots de chaleur urbains sur l'île de Montréal* [Mémoire de maîtrise]. Université du Québec à Montréal. <https://archipel.uqam.ca/10533/>
- Cappe, M. (2003). *Péage urbain : l'exemple de Londres en Angleterre*. Infrastructures Canada.

- Carter, T. et Keeler, A. (2008). Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management*, 87(3), 350-363.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.024>
- Castleton, H. F., Stovin, V., Beck, S. B. M. et Davison, J. B. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*, 42(10), 1582-1591.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.004>
- Cavayas, F. et Baudouin, Y. (2008). *Étude des biotopes urbains et périurbains de la CMM*. Conseil régional de l'environnement de Laval.
- Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail. (2021). *Fiches d'information Réponses SST : Confort thermique au bureau*. Gouvernement du Canada.  
[https://www.cchst.ca/oshanswers/phys\\_agents/thermal\\_comfort.html](https://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/thermal_comfort.html)
- Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services. (2011). *Analyse du cycle de vie des impacts environnementaux découlant de l'implantation de mesures d'atténuation d'îlots de chaleur urbains*.  
[https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1322\\_ACVImpactsEnvironImplanMesuresAttenullotsChaleurUrbains.pdf](https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1322_ACVImpactsEnvironImplanMesuresAttenullotsChaleurUrbains.pdf)
- Charbonneau, J.-Y. et Douville, S. (2004). *Confort thermique à l'intérieur d'un établissement*. Commission de la santé et de la sécurité du travail.
- Charlesworth, S. M. (2010). A review of the adaptation and mitigation of global climate change using sustainable drainage in cities. *Journal of Water and Climate Change*, 1(3), 165-180.  
<https://doi.org/10.2166/wcc.2010.035>
- Charoenkit, S. et Yiemwattana, S. (2016). Living walls and their contribution to improved thermal comfort and carbon emission reduction: A review. *Building & Environment*, 105, 82-94.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.031>
- City of Portland. (2020). *2020 Stormwater Management Manual*.  
<https://www.portland.gov/bes/stormwater/swmm>
- Coma, J., Pérez, G., Solé, C., Castell, A. et Cabeza, L. F. (2016). Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Renewable Energy*, 85, 1106-1115.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.074>
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2020). *Stratégie métropolitaine de lutte contre l'agrigle du frêne 2014-2024 : Bilan des activités 2019*. [https://cmm.qc.ca/wp-content/uploads/2020/08/Strategie\\_agrigle\\_du\\_frene\\_Bilan\\_2019\\_VF.pdf](https://cmm.qc.ca/wp-content/uploads/2020/08/Strategie_agrigle_du_frene_Bilan_2019_VF.pdf)
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2021). *Outils statistiques interactifs*.  
<http://observatoire.cmm.qc.ca/observatoire-grand-montreal/outils-statistiques-interactifs/>
- Conseil régional de l'environnement de Montréal. (2010). *Guide sur le verdissement Pour les propriétaires institutionnels, commerciaux et industriels : Contrer les îlots de chaleur urbains*.  
<https://cremtl.org/sites/default/files/upload/documents/publications/guideverdissementici.pdf>
- Conseil régional de l'environnement de Montréal. (2019). *Guide pour des plantations résilientes dans les emprises autoroutières*.  
[https://cremtl.org/sites/default/files/upload/documents/publications/2019-04-13\\_verdissement\\_guide\\_plantations\\_emprises\\_mtg\\_comprese.pdf](https://cremtl.org/sites/default/files/upload/documents/publications/2019-04-13_verdissement_guide_plantations_emprises_mtg_comprese.pdf)

- Coste, R. et Noel-Letendre, G. (2019). *Guide de mise en oeuvre d'un stationnement écoresponsable : Pratiques d'aménagement et réglementations municipales des aires de stationnement en surface au Québec*. Conseil régional de l'environnement de Montréal.
- Courgey, S. et Oliva, J.-P. (2012). *La conception bioclimatique : des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*. Terre vivante.
- Coutts, A., Beringer, J. et Tapper, N. (2010). Changing urban climate and CO<sub>2</sub> emissions: implications for the development of policies for sustainable cities. *Urban Policy and Research*, 28(1), 27-47. <https://doi.org/10.1080/08111140903437716>
- Credit valley Conservation et Toronto and Region Conservation. (2010). *Low impact development stormwater management planning and design guide*. [https://cvc.ca/wp-content/uploads/2014/04/LID-SWM-Guide-v1.0\\_2010\\_1\\_no-appendices.pdf](https://cvc.ca/wp-content/uploads/2014/04/LID-SWM-Guide-v1.0_2010_1_no-appendices.pdf)
- Dagenais, D., Paquette, S., Thomas, I. et Fuamba, M. (2014). *Implantation en milieu urbain de systèmes végétalisés de contrôle à la source des eaux pluviales dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques : balisage des pratiques québécoises, canadiennes et internationales et développement d'un cadre d'implantation pour les municipalités du Sud du Québec*. Ouranos. [https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportDagenais2013\\_FR.pdf](https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportDagenais2013_FR.pdf)
- David, M. (2017). *Aménagements de gestion de l'eau sur la propriété : analyse multicritère pour une implantation citoyenne*. Université de Sherbrooke. [https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/10654/David\\_Maude\\_MEnv\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/10654/David_Maude_MEnv_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- De Carolis, L. (2012). *The urban heat island effect in Windsor, ON: An assessment of vulnerability and mitigation strategies*. City of Windsor. [https://www.citywindsor.ca/residents/environment/environmental-master-plan/documents/urban%20heat%20island%20report%20\(2012\).pdf](https://www.citywindsor.ca/residents/environment/environmental-master-plan/documents/urban%20heat%20island%20report%20(2012).pdf)
- Delisle, F., Leblond, V., Paradis, J. et Rioux, C. (2020). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2018 et leur évolution depuis 1990*. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2018/inventaire1990-2018.pdf>
- DeNardo, J. C., Jarrett, A. R., Manbeck, H. B., Beattie, D. J. et Berghage, R. D. (2005). Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs. *Transactions of the ASAE*, 48(4), 1491-1496. <https://doi.org/10.13031/2013.19181>
- Déoux, S. et Déoux, P. (2004). *Le guide de l'habitat sain : habitat qualité santé pour bâtir une santé durable*. Medieco éditions.
- Dimoudi, A. et Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*, 35(1), 69-76. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00081-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00081-6)
- Dong, Y., Varquez, A. C. G. et Kanda, M. (2017). Global anthropogenic heat flux database with high spatial resolution. *Atmospheric Environment*, 150, 276-294. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.040>
- Donovan, G. H., Butry, D. T., Michael, Y. L., Prestemon, J. P., Liebhold, A. M., Gatzliolis, D. et Mao, M. Y. (2013). The relationship between trees and human health: evidence from the spread of the emerald ash borer. *American Journal of Preventive Medicine*, 44(2), 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2012.09.066>

- Dunnett, N. et Kingsbury, N. (2007). *Toits et murs végétaux*. Éditions du Rouergue.
- Dunnett, N. et Kingsbury, N. (2008). *Planting green roofs and living walls* (Rev. and updated ed., 2nd ed.). Timber Press.
- Écohabitation. (2012a). *Comprendre la géothermie*.  
<https://www.ecohabitation.com/guides/1558/comprendre-la-geothermie/>
- Écohabitation. (2012b). *Quelle est la proportion de surface vitrée nécessaire dans une maison ?*  
<https://www.ecohabitation.com/guides/2659/quelle-est-la-proportion-de-surface-vitree-necessaire-dans-une-maison/>
- Écohabitation. (2014a). *Des politiques à mettre en place pour une meilleure gestion de l'énergie, une proximité, la mixité des usages et des déplacements actifs*.  
<https://www.ecohabitation.com/guides/2923/mesures-de-reduction-de-la-chaleur-anthropique/>
- Écohabitation. (2014b). *L'accès à la mobilité active*.  
<https://www.ecohabitation.com/guides/2929/laces-a-la-mobilite-active/>
- Écohabitation. (2017a). *La mixité fonctionnelle et la proximité*.  
<https://www.ecohabitation.com/guides/2930/la-mixite-fonctionnelle-et-la-proximite/>
- Écohabitation. (2017b). *Les toits verts réduisent les coûts de climatisation et de chauffage*.  
<https://www.ecohabitation.com/guides/1794/les-toits-verts-reduisent-les-couts-de-climatisation-et-de-chauffage/>
- Écohabitation. (2018). *Palmarès des fenêtres performantes*.  
<https://www.ecohabitation.com/guides/1210/palmares-des-fenetres-performantes/>
- Écohabitation. (2020a). *Éviter la surchauffe solaire grâce à des éléments extérieurs*.  
<https://www.ecohabitation.com/guides/2803/eviter-la-surchauffe-solaire-grace-a-des-elements-exterieurs/>
- Écohabitation. (2020b). *Les volets roulants, une excellente réponse au froid sibérien*.  
<https://www.ecohabitation.com/guides/1396/les-volets-roulants-une-excellente-reponse-au-froid-siberien/>
- Écohabitation. (2020c). *Toits blancs : une alternative pour diminuer les changements climatiques*.  
<https://www.ecohabitation.com/guides/1760/toits-blancs-une-alternative-pour-diminuer-les-changements-climatiques/>
- Écohabitation. (2021). *Comment laisser croître une vigne tout en minimisant les risques de dommages*. <https://www.ecohabitation.com/discussions/1103/mur-vegetal-comment-laisser-croitre-une-vigne-tout-en-minimisant-les-risques-de-dommages/>
- Ekren, E. (2017). Advantages and risks of vertical gardens. *Bartn Orman Fakultesi Dergisi*, 19(1), 51-57.
- Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., Noordwijk, M. van, Creed, I. F., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D. V., Tobella, A. B., Ilstedt, U., Teuling, A. J., Gebrehiwot, S. G., Sands, D. C., Muys, B., Verbist, B., ... Sullivan, C. A. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43, 51-61.  
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>

- English, P., Fitzsimmons, K., Hoshiko, S., Kim, T., G. Margolis, H., E. McKone, T., Rotkin-Ellman, M., Solomon, G., Trent, R. et Ross, Z. (2007). *Public health impacts of climate change in California: community vulnerability assessments and adaptation strategies: report No. 1 : heat-related illness and mortality, Information for the Public Health Network in California*. California Department of Public Health.
- Enríquez, E., Fuertes, V., Cabrera, M. J., Soares, J., Muñoz, D. et Fernández, J. F. (2017). New strategy to mitigate urban heat island effect: Energy saving by combining high albedo and low thermal diffusivity in glass ceramic materials. *Solar Energy*, 149, 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.04.011>
- Environnement et changement climatique Canada. (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*. [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2019/eccc/En4-368-2019-fra.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2019/eccc/En4-368-2019-fra.pdf)
- Fernández, F. J., Alvarez-Vázquez, L. J., García-Chan, N., Martínez, A. et Vázquez-Méndez, M. E. (2015). Optimal location of green zones in metropolitan areas to control the urban heat island. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 289, 412-425. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2014.10.023>
- Filho, W. L., Icaza, L. E., Emanche, V. O. et Al-Amin, A. Q. (2017). An evidence-based review of impacts, strategies and tools to mitigate urban heat islands. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1600. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121600>
- Filmpourvitre.com. (2021a). *Film anti-UV*. <https://www.film-pour-vitre.com/299-film-anti-uv>
- Filmpourvitre.com. (2021b). *Film solaire*. [https://www.film-pour-vitre.com/286-film-solaire#description\\_rich](https://www.film-pour-vitre.com/286-film-solaire#description_rich)
- Fischetti, M. (2008). Living cover. *Scientific American*, 298(5), 104-105. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0508-104>
- Flanagan, K., Branchu, P. et Gromaire, M.-C. (2017). Les ouvrages de biorétention : synthèse des guides internationaux de conception et de maintenance des filtres plantés pour le traitement à la source des eaux de ruissellement urbaines. *Techniques Sciences Méthodes*, 12, 89-126. <https://doi.org/10.1051/tsm/201712089>
- Fouad, A. O. (2007). *Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics : étude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec* [Mémoire de maîtrise en science de l'architecture]. Université Laval. <https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/19770>
- Francis, L. F. M. et Jensen, M. B. (2017). Benefits of green roofs: a systematic review of the evidence for three ecosystem services. *Urban Forestry & Urban Greening*, 28, 167-176. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.015>
- Francoeur, X., Dupras, J., Dagenais, D. et Messier, C. (2018). *La fin du gazon : comment complexifier les espaces verts du Grand Montréal pour s'adapter aux changements globaux* [Mémoire]. Fondation David Suzuki. <https://fr.davidsuzuki.org/publication-scientifique/la-fin-du-gazon-ou-et-comment-complexifier-les-espaces-verts-du-grand-montreal-pour-sadapter-aux-changements-globaux/>
- Franti, T. G. et Rodie, S. N. (2013). *Conception d'un jardin de pluie : guide pour choisir l'emplacement et les dimensions*. University of Nebraska. [https://drive.google.com/file/d/1bIpHXNnIEQ\\_ONRza1tn-2r\\_AmUYjpapD/view](https://drive.google.com/file/d/1bIpHXNnIEQ_ONRza1tn-2r_AmUYjpapD/view)

- Frazer, L. (2005). Paving paradise: The peril of impervious surfaces. *Environmental Health Perspectives*, 113(7). <https://doi.org/10.1289/ehp.113-a456>
- Gachon, P., Bussi eres, L., Gosselin, P., Raphoz, M., Bustinza, R., Martin, P., Dueymes, G., Gosselin, D., Labrecque, S., Jeffers, S. et Yagouti, A. (2016). *Guide pour l'identification des seuils d'alertes aux canicules au Canada bas es sur les données probantes*. Université du Québec   Montréal.
- Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R. et Ord o nez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 749-758. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>
- Gendron-Bouchard, J.-P. (2013). *Analyse des outils administratifs et des mesures de lutte aux îlots de chaleur dans les milieux de vie des communautés thermiquement vulnérables à Montréal* [Essai]. Université de Sherbrooke. [https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais\\_2\\_013/Gendron-Bouchard JP\\_2014-01-21\\_01.pdf](https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2_013/Gendron-Bouchard JP_2014-01-21_01.pdf)
- Gervais, M.-C., Laliberté, C. et Lajoie, P. (2016). *Mesures d'adaptation à la chaleur, confort thermique et qualité de l'air intérieur dans l'habitation : synthèse des connaissances*. Institut national de santé publique du Québec. [https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/2147\\_adaptation\\_chaleur\\_confort\\_qualite\\_air.pdf](https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/2147_adaptation_chaleur_confort_qualite_air.pdf)
- Giguère, M. (2009). Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains revue de littérature. Institut national de santé publique du Québec. <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2007095>
- Gilbert, J. K. et Clausen, J. C. (2006). Stormwater runoff quality and quantity from asphalt, paver, and crushed stone driveways in Connecticut. *Water Research*, 40(4), 826-832. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.12.006>
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R. et Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115-133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Golden, J. S. et Kaloush, K. E. (2006). Mesoscale and microscale evaluation of surface pavement impacts on the urban heat island effects. *International Journal of Pavement Engineering*, 7(1), 37-52. <https://doi.org/10.1080/10298430500505325>
- Government of Western Australia. (2011). *Natural grass vs synthetic turf : study report*. <https://www.turfgrasssod.org/files/file/0dec5d5c-71e0-40d3-91ef-255dc258ce61>
- Grand Lyon communauté urbaine. (2010). *Les revêtements alv olaires : r f rentiel conception et gestion des espaces publics*. [https://www.grandlyon.com/fileadmin/user\\_upload/media/pdf/voirie/referentiel-espaces-publics/20091201\\_gl\\_referentiel\\_espaces\\_publics\\_materiaux\\_revetements\\_alveolaires.pdf](https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/voirie/referentiel-espaces-publics/20091201_gl_referentiel_espaces_publics_materiaux_revetements_alveolaires.pdf)
- Gravel, M.-A. (2014). *Regard sur la mobilité de la population québécoise*. Institut de la statistique du Québec. <https://statistique.quebec.ca/fr/fichier/regard-sur-la-mobilite-de-la-population-quebecoise.pdf>
- Green City Partnerships. (2019). *Best management practices for crime prevention through environmental design in natural landscapes*. [https://www.greenSeattle.org/wp-content/uploads/2019/02/CPTED-in-Natural-Areas-Final-Draft-Feb-2018\\_web.pdf](https://www.greenSeattle.org/wp-content/uploads/2019/02/CPTED-in-Natural-Areas-Final-Draft-Feb-2018_web.pdf)

- Green Roofs for Healthy Cities. (2019). *2019 Annual Green Roof Industry Survey*. <https://static1.squarespace.com/static/58e3eefc2994ca997dd56381/t/5d9e0f082012f31031312490/1570639629893/GreenRoofIndustrySurvey2019ExecutiveSummary.pdf>
- Gromke, C., Blocken, B., Janssen, W., Merema, B., van Hooff, T. et Timmermans, H. (2015). CFD analysis of transpirational cooling by vegetation: Case study for specific meteorological conditions during a heat wave in Arnhem, Netherlands. *Building and Environment*, 83, 11-26. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.022>
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2015). *Changements climatiques 2014 : rapport de synthèse*.
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J. et Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, 584-585. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>
- Hathway, E. A. et Sharples, S. (2012). The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study. *Building and Environment*, 58, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.06.013>
- Heat Island Group. (2021). *Cool pavements*. <https://heatisland.lbl.gov/coolscience/cool-pavements>
- Heisler, G. M., Grimmond, S., Grant, R. H. et Souch, C. (1994). Investigation of the influence of Chicago's urban forests on wind and air temperature within residential neighborhoods. *General Technical Report NE*, 186, 19-40. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9503860>
- Hollmuller, P., Lachal, B. M. et Zraggen, J.-M. (2005). Rafraîchissement de bâtiments par déphasage thermique contrôlé. Dans *Conférence internationale Energie solaire et bâtiment, CISBAT 2005*. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:18079>
- Honjo, T. et Takakura, T. (1990). Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas. *Energy and Buildings*, 15(3-4), 443-446. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(90\)90019-F](https://doi.org/10.1016/0378-7788(90)90019-F)
- Hosseini, M. et Akbari, H. (2016). Effect of cool roofs on commercial buildings energy use in cold climates. *Energy and Buildings*, 114, 143-155. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.050>
- Hydro-Québec. (2021a). *Éclairage à DEL*. <https://www.hydroquebec.com/residentiel/mieux-consommer/eclairage/del.html>
- Hydro-Québec. (2021b). *Systèmes géothermiques*. <https://www.hydroquebec.com/residentiel/mieux-consommer/fenêtres-chauffage-climatisation/geothermie.html>
- Ihara, T. (2006). *Energy conservation and urban heat island mitigation effects by solar reflective coating to an automobile*. International workshop on countermeasures to urban heat islands, Tokyo, Japon.
- Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E. et Bounoua, L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, 114(3), 504-513. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.008>
- Institut de la statistique du Québec. (2019). *Perspectives démographiques du Québec et des régions, 2016-2066. Édition 2019*. [www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/perspectives/perspectives-2016-2066.pdf](http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/perspectives/perspectives-2016-2066.pdf)

- Ip, K., Lam, M. et Miller, A. (2010). Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy. *Building and Environment*, 45(1), 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.003>
- Jacques, L. et Kosatsky, T. (2005). Commentaires faisant suite à la parution de l'article « Vague de chaleur et climatisation » de Gilles Dixsaut. *Bulletin d'information en santé environnementale*.
- Johnston, J., Newton, J., & Greater London Authority. (2004). *Building green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements*. Greater London Authority. [http://www.london.gov.uk/mayor/strategies/biodiversity/docs/Building\\_Green\\_main\\_text.pdf](http://www.london.gov.uk/mayor/strategies/biodiversity/docs/Building_Green_main_text.pdf)
- Kleerekoper, L., Esch, M. van et Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Special Issue: Climate Proofing Cities.*, 64, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.004>
- Konopacki, S., Gartland, L., Akbari, H. et Rainer, I. (1998). *Demonstration of energy savings of cool roofs*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Koyama, T., Yoshinaga, M., Hayashi, H., Maeda, K. et Yamauchi, A. (2013). Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls. *Building and Environment*, 66, 96-103. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.020>
- Laaidi, M., Chinet, T. et Aegerter, P. (2011). Allergies au pollen, pollution et climat : revue de la littérature. *Revue Française d'Allergologie*, 51(7), 622-628. <https://doi.org/10.1016/j.reval.2011.05.004>
- Lachance, G., Baudouin, Y. et Guay, F. (2006). Étude des îlots de chaleur montréalais dans une perspective de santé publique. *Bulletin d'information en santé environnementale*.
- Lagurgue, X., Mayrand, F. et Clergeau, P. (2019). Typologie de l'implantation de la flore spontanée en ville dense, regard croisé écologue-architecte. *Vertigo*, 19(2), 1-32. <https://doi.org/10.4000/vertigo.25986>
- Lai, A., Maing, M. et Ng, E. (2017). Observational studies of mean radiant temperature across different outdoor spaces under shaded conditions in densely built environment. *Building and Environment*, 114, 397-409. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.034>
- Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K. et Chen, Q. (2019). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of the Total Environment*, 661, 337-353. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>
- Lakshmi, V., Zehrhuhs, D. et Jackson, T. (2000). *Observations of land surface temperature and its relationship to soil moisture during SGP99*. Dans : IGARSS 2000. IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Taking the Pulse of the Planet: The Role of Remote Sensing in Managing the Environment, Honolulu, HI, USA (vol. 3, p. 1256-1258). <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2000.858085>
- Laliberté, C., Dubé, M., Gervais, M.-C. et Lajoie, P. (2016). *Comportements d'adaptation à la chaleur dans l'habitation au Québec et en Ontario*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2123>
- Larose, J., Boulay, P., Sigal, R. J., Wright, H. E. et Kenny, G. P. (2013). Age-related decrements in heat dissipation during physical activity occur as early as the age of 40. *PLoS ONE*, 8(12), e83148. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083148>

- Lavolette, J. (2020). *L'état de l'automobile au Québec : constats, tendances et conséquences*. Fondation David Suzuki. [https://fr.davidsuzuki.org/wp-content/uploads/sites/3/2020/10/Rapport\\_Fondation-David-Suzuki-Final-Part1-Dependance-auto-10.2020.pdf](https://fr.davidsuzuki.org/wp-content/uploads/sites/3/2020/10/Rapport_Fondation-David-Suzuki-Final-Part1-Dependance-auto-10.2020.pdf)
- Leal Filho, W., Echevarria Icaza, L., Neht, A., Klavins, M. et Morgan, E. A. (2018). Coping with the impacts of urban heat islands. A literature based study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1140-1149. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.086>
- Lebel, G., Dubé, M. et Bustinza, R. (2019). Surveillance des impacts des vagues de chaleur extrême sur la santé au Québec à l'été 2018. *Bulletin d'information en santé environnementale*. <https://www.inspq.qc.ca/bise/surveillance-des-impacts-des-vagues-de-chaleur-extreme-sur-la-sante-au-quebec-l-ete-2018>
- Leclerc, J.-M., Schnebelen, M. et Lajoie, P. (2006). *La ventilation des bâtiments d'habitation : impacts sur la santé respiratoire des occupants : avis*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/559>
- Levasseur, M.-E. et Leclerc, J.-M. (2017). *Paramètres de confort*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/qualite-de-l-air-et-salubrite-intervenir-ensemble-dans-l-habitation-au-quebec/qualite-de-l-air-et-salubrite/parametres-de-confort>
- Levasseur, M.-E., Beaudoin, M., Gauthier, M., Poulin, P., Prisca Samba, C. et Robitaille, É. (2020). *Logement de qualité*. Institut national de santé publique du Québec. [https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2655\\_logement\\_qualite.pdf](https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2655_logement_qualite.pdf)
- Levinson, R., Berdahl, P. et Akbari, H. (2005). *How to design a cool nonwhite coating*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Li, C., Cao, Y., Zhang, M., Wang, J., Liu, J., Shi, H. et Geng, Y. (2015). Hidden benefits of electric vehicles for addressing climate change. *Scientific reports*, 5, 9213. <https://doi.org/10.1038/srep09213>
- Li, H., Harvey, J. T., Holland, T. J. et Kayhanian, M. (2013). The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management. *Environmental Research Letters*, 8(1), 015023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015023>
- Liébard, A. et De Herde, A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. Le Moniteur.
- Liu, K. et Bass, B. (2005). *Performance of green roof systems*. National Research Council Canada.
- Liu, K.K.Y. (2002). *Energy efficiency and environmental benefits of rooftop gardens*. National Research Council Canada.
- Lontorfos, V., Efthymiou, C. et Santamouris, M. (2018). On the time varying mitigation performance of reflective geoengineering technologies in cities. *Renewable Energy: An International Journal*, 115, 926-930. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.033>
- Luxmoore, D. A., Jayasinghe, M. T. R. et Mahendran, M. (2005). Mitigating temperature increases in high lot density sub-tropical residential developments. *Energy and Buildings*, 37(12), 1212-1224. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.12.017>

- Macfarlane, R., Carrasco, C., Alam, Y. et Archbold, J. (2015). *Health impact assessment of the use of artificial turf in toronto*. Toronto Public Health. [https://www.toronto.ca/wp-content/uploads/2017/11/9180-HIA\\_on\\_Artificial\\_Turf\\_Summary\\_Report\\_Final\\_2015-04-01.pdf](https://www.toronto.ca/wp-content/uploads/2017/11/9180-HIA_on_Artificial_Turf_Summary_Report_Final_2015-04-01.pdf)
- Mahmoodzadeh, M., Mukhopadhyaya, P. et Valeo, C. (2020). Effects of extensive green roofs on energy performance of school buildings in four North American climates. *Water*, 12(1), 6. <https://doi.org/10.3390/w12010006>
- Mailhot, A. et Duchesne, S. (2005). Impacts et enjeux liés aux changements climatiques en matière de gestion des eaux en milieu urbain. *Vertigo*, Hors-série 2. <https://doi.org/10.4000/vertigo.1931>
- McEvoy, D., Lindley, S. et Handley, J. (2006). Adaptation and mitigation in urban areas: synergies and conflicts. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer*, 159(4), 185-191. <https://doi.org/10.1680/muen.2006.159.4.185>
- McGregor, G. R., Bessemoulin, P., Ebi, K. L., Menne, B. (2015). *Vagues de chaleur et santé : guide pour l'élaboration de systèmes d'alerte*. Organisation météorologique mondiale et Organisation mondiale de la Santé. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3370](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3370)
- McNitt, A. S., Petrunak, D. M. et Serensits, T. J. (2007). *Temperature amelioration of synthetic turf surfaces through irrigation*. Pennsylvania State University. <https://plantscience.psu.edu/research/centers/ssrc/documents/temperature-irrigation.pdf>
- McPherson, E. G. (1994). Cooling urban heat islands with sustainable landscapes. Dans : R.H. Platt, R.A. Rowntree et P.C. Muick (dir.), *The ecological city: preserving and restoring urban biodiversity* (p. 151-171). University of Massachusetts Press.
- McPherson, E. G. et Muchnick, J. (2005). Effects of street tree shade on asphalt concrete pavement performance. *Journal of Arboriculture*, 31(6): 303-310.
- Mcpherson, G., Simpson, J., Peper, P. J., Maco, S. E. et Xiao, Q. (2005). Municipal forest benefits and costs in five US cities. *Journal of Forestry*, 103, 411-416.
- Mentens, J., Raes, D. et Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>
- Messier, C. (2020). *Infrastructures vertes : développement d'une stratégie multi-échelle basée sur la complexité et la résilience en milieu urbain*. Ouranos. <https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportMessier2020.pdf>
- Milošević, D. D., Bajšanski, I. V. et Savić, S. M. (2017). Influence of changing trees locations on thermal comfort on street parking lot and footways. *Urban Forestry et Urban Greening*, 23, 113-124. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.011>
- Milwaukee Metropolitan Sewerage District. (2020). *2020 Facilities Plan : State of the Art Report*. [https://www.mmsd.com/application/files/7914/8225/4683/SR\\_Chapter\\_4.pdf](https://www.mmsd.com/application/files/7914/8225/4683/SR_Chapter_4.pdf)
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2020). *Le Québec revoit sa réglementation sur les halocarbures pour diminuer davantage les émissions de gaz à effet de serre*. Gouvernement du Québec. <https://www.quebec.ca/nouvelles/actualites/details/le-quebec-revoit-sa-reglementation-sur-les-halocarbures-pour-diminuer-davantage-les-emissions-de-gaz/>

- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2021a). *2017 : 10e année la plus chaude au Québec depuis 1915*. Gouvernement du Québec. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/Faits-saillants/2017/bilan.htm#:~:text=2017%20%3A%2010e%20ann%C3%A9e%20la,la%20normale%20du%20si%C3%A8cle%20dernier>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2021b). *Les halocarbures*. Gouvernement du Québec. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/air/halocarbures/index.htm>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs et ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire. (s. d.). *Guide de gestion des eaux pluviales*. Gouvernement du Québec. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide-gestion-eaux-pluviales.pdf>
- Missios, P., Banting, D., Doshi, H., Li, J., Au, A., Currie, B. et Verrati, M. (2005). *Report on the environmental benefits and costs of green roof technology for the city of Toronto*. Ryerson University.
- Mohajerani, A., Bakaric, J. et Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522-538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>
- Moisan, C. (2013). *Stratégie d'assainissement et de valorisation des bassins de rétention des eaux pluviales de la ville de Montréal* [Essai]. Université de Sherbrooke. [https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais\\_2013/Moisan\\_C\\_2013-10-08\\_.pdf](https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2013/Moisan_C_2013-10-08_.pdf)
- Monterusso, M. A., Rowe, D. B. et Rugh, C. L. (2005). Establishment and Persistence of Sedum spp. and Native Taxa for Green Roof Applications. *HortScience*, 40(2), 391-396. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.2.391>
- Morakinyo, T. E., Balogun, A. A. et Adegun, O. B. (2013). Comparing the effect of trees on thermal conditions of two typical urban buildings. *Urban Climate*, 3, 76-93. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.04.002>
- Moran, A., Hunt, B. et Smith, J. (2005). *Hydrologic and water quality performance from green roofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina*. The 3 annual international greening rooftops for sustainable communities conference, awards and trade show, Washington, DC (United States), 4-6 May 2005.
- Nazarnia, N., Schwick, C. et Jaeger, J. A. G. (2016). Accelerated urban sprawl in Montreal, Quebec City, and Zurich: Investigating the differences using time series 1951–2011. *Ecological Indicators*, 60, 1229-1251. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.020>
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A. et Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33(7), 719-729. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00062-7)
- Nikolopoulou, M. (2004). *Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach : RUROS - Rediscovering the urban realm and open spaces*. Center for Renewable Energy Sources.

- Nowak, D. J. et Van den Bosch, M. (2019). Les effets des arbres et de la forêt sur la qualité de l'air et la santé humaine dans et autour des zones urbaines. *Santé Publique*, S1(HS), 153. <https://doi.org/10.3917/spub.190.0153>
- O'Malley, C., Piroozfar, P., Farr, E. R. P. et Pomponi, F. (2015). Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis. *Sustainable Cities and Society*, 19, 222-235. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.05.009>
- O2D Environnement. (2017). *5 conseils pour parking végétalisé assurant sa pérennité*. <https://www.o2d-environnement.com/observatoires/conseils-parking-vegetalise/>
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K. K. Y. et Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems : ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 57(10), 823-833. <https://doi.org/10.1641/B571005>
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Oke, T. R. (2009). *Boundary layer climates* (2. ed., reprinted). Routledge.
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A. et Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Organisation mondiale de la Santé. (2021). *Gardez la tête froide cet été pour protéger votre santé*. <https://www.euro.who.int/fr/health-topics/environment-and-health/Climate-change/news/news/2021/5/keep-cool-this-summer-to-protect-your-health>
- Ottelé, M. (2011). *The green building envelope: vertical greening*. TU Delft. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A1e38e393-ca5c-45af-a4fe-31496195b88d>
- Ouranos. (2010). *Savoir s'adapter aux changements climatiques*. [https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportDesjarlais2010\\_FR.pdf](https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportDesjarlais2010_FR.pdf)
- Ouranos. (2015). *Vers l'adaptation : synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec*. <https://www.ouranos.ca/synthese-2015/>
- Ouranos. (2020). *Portraits climatiques*. <https://www.ouranos.ca/portraits-climatiques/#/>
- Paquette, A. (2016). *Repenser le reboisement : guide stratégique pour l'augmentation de la canopée et de la résilience de la forêt urbaine de la région métropolitaine de Montréal*. Jour de la Terre. <https://www.biopolis.ca/wp-content/uploads/2016/10/Repenser-le-reboisement.pdf>
- Paquette, A. et Cameron, E. (s.d.). *L'approche fonctionnelle*. Ouranos. <https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/GuideCameronPaquette.pdf>
- Paquette, A., Sousa-Silva, R., Maure, F., Cameron, E., Belluau, M. et Messier, C. (2021). Praise for diversity: A functional approach to reduce risks in urban forests. *Urban Forestry & Urban Greening*, 62, 127157. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127157>
- Paroli, R. et Gallagher, J. (2008). Les toits verts, les toits blancs et les toits haute performance : distinguer les faits de la fiction. *Archives des publications du CNRC*, 16(1), 1-4.
- Perini, K. et Rosasco, P. (2013). Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, 70, 110-121. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.012>

- Perini, K., Bazzocchi, F., Croci, L., Magliocco, A. et Cattaneo, E. (2017). The use of vertical greening systems to reduce the energy demand for air conditioning. Field monitoring in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 143, 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.036>
- Perrin, G. (2020). *Rafraîchissement urbain et confort d'été : lutter contre les canicules*. DUNOD.
- Peters, E. B., McFadden, J. P. et Montgomery, R. A. (2010). Biological and environmental controls on tree transpiration in a suburban landscape. *Journal of Geophysical Research*, 115(G4), G04006. <https://doi.org/10.1029/2009JG001266>
- Pigeon, G., Lemonsu, A., Masson, V. et Hidalgo, J. (2008). De l'observation du microclimat urbain à la modélisation intégrée de la ville. *La Météorologie*, 8(62), 39. <https://doi.org/10.4267/2042/19174>
- Pilon, B., Tyner, J., Yoder, D. et Buchanan, J. (2019). The effect of pervious concrete on water quality parameters: a case study. *Water*, 11(2), 263. <https://doi.org/10.3390/w11020263>
- Pinho, A., Pedro, J. B. et Coelho, A. B. (2003, 9 novembre). *The influence of the built environment in microclimatic variations*. 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Santiago, Chile.
- Pisello, A. L., Piselli, C. et Cotana, F. (2015). Thermal-physics and energy performance of an innovative green roof system: The cool-green roof. *Solar Energy*, 116, 337-356. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.03.049>
- Potvin, S. et Leclerc, J.-M. (2021). *COVID-19 Utilisation des climatiseurs et des ventilateurs électriques lors des vagues de chaleur*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/3034-climatiseurs-ventilateurs-milieux-scolaires-garde-camps-jour-covid19.pdf>
- Poulin, P., Levasseur, M.-E., Huppé, V. (2016). *Mesures d'adaptation pour une saine qualité de l'air intérieur dans un contexte de changements climatiques : revue de littérature*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2194>
- Qin, Y. (2015). A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 445-459. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.177>
- Radhi, H., Sharples, S. et Assem, E. (2015). Impact of urban heat islands on the thermal comfort and cooling energy demand of artificial islands—A case study of AMWAJ Islands in Bahrain. *Sustainable Cities and Society*, 19, 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.07.017>
- Rahman, M. A., Stratopoulos, L. M. F., Moser-Reischl, A., Zölch, T., Häberle, K.-H., Rötzer, T., Pretzsch, H. et Pauleit, S. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. *Building & Environment*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106606>
- Raji, B., Tenpierik, M. J. et van den Dobbelsteen, A. (2015). The impact of greening systems on building energy performance: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 610-623. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.011>
- Rancourt, G. (2019). *En route vers des environnements bâtis favorables à la mobilité durable : actes de la journée thématique tenue dans le cadre des 22<sup>es</sup> Journées annuelles de santé publique (JASP)*. Institut national de santé publique du Québec. [https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2610\\_environnement\\_batis\\_mobilite\\_durable.pdf](https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2610_environnement_batis_mobilite_durable.pdf)

- Rayfield, B., Dupras, J., Francoeur, X., Dumitru, M., Dagenais, D., Vachon, J., Paquette, A., Lechowicz, M., Messier, C. et Gonzalez, A. (2016). *Les infrastructures vertes : un outil d'adaptation aux changements climatiques pour le grand Montréal*. Fondation David Suzuki. <https://www.deslibris.ca/ID/248812>
- Raymond, E.L., Bouchard, A. et Gagnon, V. (2006). *La gestion du risque de chaleur accablante ou extrême dans l'agglomération de Montréal*. Ville de Montréal.
- Reeves, F. (2011). *Planète Cœur : santé cardiaque et environnement*. Éditions MultiMondes.
- Ressources naturelles Canada. (2004). *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques*. Gouvernement du Canada. [https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/perspective/pdf/report\\_f.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/perspective/pdf/report_f.pdf)
- Ressources naturelles Canada. (2014). *Vitrages à gain solaire faible et à gain solaire élevé*.
- Ressources naturelles Canada. (2020). *Climatiseurs individuels*. Gouvernement du Canada. <https://www.nrcan.gc.ca/efficacite-energetique/efficacite-energetique-pour-les/information-sur-les-produits/equipement-de-climatisation-de-v/climatiseurs-individuels/16176>
- Ressources naturelles Canada. (s. d.). *Consommation d'énergie dans le secteur commercial et institutionnel*. Gouvernement du Canada. <https://oee.nrcan.gc.ca/publications/statistiques/evolution/2015/commercial.cfm>
- Robitaille, É., Lavoie, M., Lapointe, G., Labonté, N., Chaussé, K., Campagna, C., Smargiassi, A., Laplante, L., Allard, R. et Martin, R. (2017). *Politique de mobilité durable : perspectives de santé publique*. Institut national de santé publique du Québec. [https://www.inspq.gc.ca/sites/default/files/publications/2293\\_memoire\\_mobilite\\_durable.pdf](https://www.inspq.gc.ca/sites/default/files/publications/2293_memoire_mobilite_durable.pdf)
- Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Romm, J. J. et Pomerantz, M. (1998). Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*, 28(1), 51-62. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00063-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00063-7)
- Rosenzweig, C., Solecki, W. D., Parshall, L., Chopping, M., Pope, G. et Goldberg, R. (2005). Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey. *Environmental Hazards*, 6(1), 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.12.001>
- Rosso, F., Pisello, A. L., Cotana, F. et Ferrero, M. (2016). On the thermal and visual pedestrians' perception about cool natural stones for urban paving: A field survey in summer conditions. *Building and Environment*, 107, 198-214. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.07.028>
- Rushton, B. T. (2001). Low-impact parking lot design reduces runoff and pollutant loads. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(3), 172-179. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2001\)127:3\(172\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2001)127:3(172))
- Rydin, Y., Bleahu, A., Davies, M., Dávila, J. D., Friel, S., De Grandis, G., Groce, N., Hallal, P. C., Hamilton, I., Howden-Chapman, P., Lai, K.-M., Lim, C., Martins, J., Osrin, D., Ridley, I., Scott, I., Taylor, M., Wilkinson, P. et Wilson, J. (2012). Shaping cities for health: complexity and the planning of urban environments in the 21st century. *The Lancet*, 379(9831), 2079-2108. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60435-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60435-8)
- S. J. Yang, Ran, G. P., Zhang, W. et Wang, Z. H. (2020). The cooling effect of an urban lake landscape on the urban heat island: a case study in Jinan, China. *Applied Ecology & Environmental Research*, 18(2), 2197-2211. [https://doi.org/10.15666/aeer/1802\\_21972211](https://doi.org/10.15666/aeer/1802_21972211)

- Salomon, T. et Aubert, C. (2007). *Fraicheur sans clim' : le guide des alternatives écologiques*.
- Sandifer, S. et Givoni, B. (2002). *Thermal effects of vines on wall temperatures, comparing laboratory and field collected data*. SOLAR 2002; including proceedings of 31st ASES annual conference, proceedings of 27th national passive solar conference.
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682-703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Santamouris, M., Ding, L., Fiorito, F., Oldfield, P., Osmond, P., Paolini, R., Prasad, D. et Synnefa, A. (2017). Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects. *Solar Energy*, 154, 14-33. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.12.006>
- Santamouris, M., Synnefa, A. et Karlessi, T. (2011). Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*, 85(12), 3085-3102. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023>
- Santé Canada. (2012). *Élaboration de systèmes d'avertissement et d'intervention en cas de chaleur afin de protéger la santé : guide des pratiques exemplaires*. Gouvernement du Canada.
- Santé Canada. (2018). *La ventilation et le milieu intérieur*. Gouvernement du Canada. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/ventilation-milieu-interieur.html>
- Santé Canada. (2020). *Réduire les îlots de chaleur urbains pour protéger la santé au Canada*. Gouvernement du Canada. <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/services/health/publications/healthy-living/reducing-urban-heat-islands-protect-health-canada/Reducing-Urban-Heat-FR.pdf>
- Scherba, A., Sailor, D. J., Rosenstiel, T. N. et Wamser, C. C. (2011). Modeling impacts of roof reflectivity, integrated photovoltaic panels and green roof systems on sensible heat flux into the urban environment. *Building and Environment*, 46(12), 2542-2551. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.012>
- Scotland, G. (2008). *Health impact assessment of greenspace: A Guide*. Greenspace Scotland.
- Selbig, W. R. et Buer, N. (2018). *Hydraulic, water-quality, and temperature performance of three types of permeable pavement under high sediment loading conditions*. U.S. Geological Survey.
- Shashua-Bar, L. et Hoffman, M. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings*, 31, 221-235.
- Silva, C. M., Gomes, M. G. et Silva, M. (2016). Green roofs energy performance in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 116, 318-325. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.012>
- Skelhorn, C., Lindley, S. et Levermore, G. (2014). The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, 121, 129-140. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.012>
- Smargiassi, A., Goldberg, M. S., Plante, C., Fournier, M., Baudouin, Y. et Kosatsky, T. (2009). Variation of daily warm season mortality as a function of micro-urban heat islands. *Journal of Epidemiology et Community Health*, 63(8), 659-664. <https://doi.org/10.1136/jech.2008.078147>

- Société canadienne d'hypothèques et de logement. (2011). *Un jardin pluvial pour mieux gérer les eaux de ruissellement dans votre cour*. Gouvernement du Canada. [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2011/schl-cmhc/nh18-24/NH18-24-53-2011-fra.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/schl-cmhc/nh18-24/NH18-24-53-2011-fra.pdf)
- Société internationale d'arboriculture Québec. (s. d.). *Mythes et réalités sur les soins à apporter aux arbres*. <https://www.siaq.org/l-arboriculture/mythes-et-realites/>
- Soudoudi, S., Zhang, H., Chi, X., Müller, F. et Li, H. (2018). The influence of spatial configuration of green areas on microclimate and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.002>
- Solecki, W. D., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J. et Wiencke, M. (2005). Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Environmental Hazards*, 6(1), 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.12.002>
- Sookhan, N., Margolis, L. et Scott MacIvor, J. (2018). Inter-annual thermoregulation of extensive green roofs in warm and cool seasons: Plant selection matters. *Ecological Engineering*, 123, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.08.016>
- Sousa-Silva, R., Smargiassi, A., Kneeshaw, D., Dupras, J., Zinszer, K. et Paquette, A. (2021). Strong variations in urban allergenicity riskscapes due to poor knowledge of tree pollen allergenic potential. *Scientific Reports*, 11(1), 10196. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89353-7>
- Sousa-Silva, R., Smargiassi, A., Paquette, A., Kaiser, D. et Kneeshaw, D. (2020). Exactly what do we know about tree pollen allergenicity? *The Lancet Respiratory Medicine*, 8(3), e10. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(19\)30472-2](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(19)30472-2)
- Statistique Canada. (2019). *Climatiseurs*. Gouvernement du Canada. <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/cv.action?pid=3810001901>
- Sternberg, T., Viles, H. et Cathersides, A. (2011). Evaluating the role of ivy (*Hedera helix*) in moderating wall surface microclimates and contributing to the bioprotection of historic buildings. *Building and Environment*, 46(2), 293-297. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.017>
- Stojanovic, N., Veselinovic, M., Petrov, D., Petrovic, J., Tesic, M. et Lisica, A. (2019). The impact of plant cover and dendrological structure of roadside green spaces on microclimate in the urban environment. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(10), 7609-7620.
- Sun, D. et Pinker, R. T. (2004). Case Study of soil moisture effect on land surface temperature retrieval. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 1(2), 127-130. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2004.824749>
- Susca, T. (2019). Green roofs to reduce building energy use? A review on key structural factors of green roofs and their effects on urban climate. *Building & Environment*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106273>
- Susca, T., Gaffin, S. R. et Dell'Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159(8-9), 2119-2126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>
- Synnefa, A., Santamouris, M. et Apostolakis, K. (2007). On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 81, 488-497. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.08.005>

- Taha, H. (1997a). Modeling the impacts of large-scale albedo changes on ozone air quality in the South Coast Air Basin. *Atmospheric Environment*, 31(11), 1667-1676. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(96\)00336-6](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(96)00336-6)
- Taha, H. (1997b). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25(2), 99-103. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)00999-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1)
- Taha, H., Konopacki, S. et Gabersek, S. (1996). *Modeling the meteorological and energy effects of urban heat islands and their mitigation: a 10 region study, report LBNL-44222*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Targino, A. C., Coraiola, G. C. et Krecl, P. (2019). Green or blue spaces? Assessment of the effectiveness and costs to mitigate the urban heat island in a Latin American city. *Theoretical and Applied Climatology*, 136(3-4), 971-984. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2534-1>
- Termium Plus. (2021). *Outgoing longwave radiation*. Gouvernement du Canada. [https://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra&i=1&srchtxt=Outgoing+longwave+radiation&index=alt&codom2nd\\_wet=1#resultres](https://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra&i=1&srchtxt=Outgoing+longwave+radiation&index=alt&codom2nd_wet=1#resultres)
- Toronto Cancer Prevention Coalition. (2010). *Shade Guidelines*. [https://www1.publichealthgreybruce.on.ca/Portals/0/Topics/FamilyHealth/Sunsense/shade\\_guidelines.pdf](https://www1.publichealthgreybruce.on.ca/Portals/0/Topics/FamilyHealth/Sunsense/shade_guidelines.pdf)
- Touchaei, A. G. et Akbari, H. (2015). Evaluation of the seasonal effect of increasing albedo on urban climate and energy consumption of buildings in Montreal. *Urban Climate*, 14, 278-289. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.007>
- Touchaei, A.G. et Wang, Y. (2015). Characterizing urban heat island in Montreal (Canada)—Effect of urban morphology. *Sustainable Cities and Society*, 19, 395-402. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.03.005>
- Transition énergétique Québec. (2021a). *Appareils électroniques*. Gouvernement du Québec. <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/residentiel/conseils-pratiques/appareils-electroniques>
- Transition énergétique Québec. (2021b). *Appareils ménagers*. Gouvernement du Québec. <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/residentiel/conseils-pratiques/appareils-menagers>
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. (2019). *Pavement thermal performance and contribution to urban and global climate*. US government. [https://www.fhwa.dot.gov/pavement/sustainability/articles/pavement\\_thermal.cfm](https://www.fhwa.dot.gov/pavement/sustainability/articles/pavement_thermal.cfm)
- United Nations Environment Programme et International Energy Agency. (2020). *Cooling emissions and policy synthesis report*. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/33094/CoolRep.pdf?sequence=1&etisAllowed=y>
- United States Environmental Protection Agency. (1997). *Conservation design for stormwater management : a design approach to reduce stormwater impacts from land development and achieve multiple objectives related to land use*. US government.
- United States Environmental Protection Agency. (2007). *Reducing stormwater costs through low impact development (LID) strategies and practices*. US government.

- United States Environmental Protection Agency. (2008). *Reducing urban heat islands: compendium of strategies, urban heat island basics*. US government.
- United States Environmental Protection Agency. (2012). *Reducing urban heat islands: compendium of strategies*. US government. [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-05/documents/reducing\\_urban\\_heat\\_islands\\_ch\\_5.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_5.pdf)
- Vaillancourt, C. (2018). *Impact hydrologique du pavage perméable en milieu urbain au Québec* [Mémoire]. Institut national de la recherche scientifique.
- Valladares-Rendón, L. G., Schmid, G. et Lo, S.-L. (2017). Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of façade shading systems. *Energy & Buildings*, 140, 458-479. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.073>
- Valois, P., Talbot, D., Renaud, J.-S., Caron, M. et Bouchard, D. (2018). *Suivi de l'adaptation à la chaleur chez les personnes habitant dans les dix villes les plus peuplées du Québec*. Observatoire québécois de l'adaptation aux changements climatiques, Université Laval. [http://www.monclimatmasante.qc.ca/Data/Sites/1/publications/OQACC-008\\_Rapport\\_etude\\_1.2\\_T2.pdf](http://www.monclimatmasante.qc.ca/Data/Sites/1/publications/OQACC-008_Rapport_etude_1.2_T2.pdf)
- Vergriete, Y. et Labrecque, M. (2007). *Rôle des arbres et des plantes grimpantes en milieu urbain : revue de littérature et tentative d'extrapolation au contexte montréalais*. Conseil régional de l'environnement de Montréal.
- Ville de Québec. (2021). *Distribution de l'eau potable*. [https://www.ville.quebec.qc.ca/citoyens/propriete/eau/eau\\_potable\\_distribution.aspx](https://www.ville.quebec.qc.ca/citoyens/propriete/eau/eau_potable_distribution.aspx)
- Vivre en Ville. (2004). *Vers des collectivités viables*.
- Vivre en Ville. (2013). *Transit-oriented development (TOD)*. <http://collectivitesviables.org/articles/transit-oriented-development-tod.aspx>
- Vivre en Ville. (s. d.). *Mixité des activités*. <http://collectivitesviables.org/articles/mixite-des-activites.aspx>
- Völker, S., Baumeister, H., Claßen, T., Hornberg, C. et Kistemann, T. (2013). Evidence for the temperature-mitigating capacity of urban blue space : a health geographic perspective. *Erdkunde*, 67(04), 355-371. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2013.04.05>
- Voogt, J. (2002). Urban heat island. *Encyclopedia of global environmental change*, 3, 660-666.
- Vox, G., Blanco, I. et Schettini, E. (2018). Green facades to control wall surface temperature in buildings. *Building & Environment*, 129, 154-166. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.002>
- Wang, G., Macera, C. A., Scudder-Soucie, B., Schmid, T., Pratt, M., Buchner, D. et Heath, G. (2004). Cost analysis of the built environment: the case of bike and pedestrian trials in Lincoln, Neb. *American Journal of Public Health*, 94(4), 549-553. <https://doi.org/10.2105/AJPH.94.4.549>
- Wang, Y. et Akbari, H. (2014). Effect of sky view factor on outdoor temperature and comfort in Montreal. *Environmental Engineering Science*, 31(6), 272-287. <https://doi.org/10.1089/ees.2013.0430>
- Watkins, R., Palmer, J. et Kolokotroni, M. (2007). Increased temperature and intensification of the urban heat island: Implications for human comfort and urban design. *Built Environment*, 33(1), 85-96.

- Wendel, A. M., Dannenberg, A. L. et Frumkin, H. (2008). Designing and building healthy places for children. *International Journal of Environment and Health*, 2(3/4), 338. <https://doi.org/10.1504/IJENVH.2008.020927>
- Widera, B. (2015). Bioclimatic architecture. *Journal of Civil Engineering and Architecture Research*, 2, 567-578.
- Widerynski, S., Schramm, P., Conlon, K., Noe, R., Grossman, E., Hawkins, M., Nayak, S., Roach, M. et Hilts, A.S. (2017). *The use of cooling centers to prevent heat-related illness: summary of evidence and strategies for implementation. Climate and health technical report series*. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/climateandhealth/docs/UseOfCoolingCenters.pdf>
- Winkelman, T. J. (2005). *The Illinois whitetopping experience: A practical approach*. International Conference on Best Practices for Ultrathin and Thin Whitetoppings. <https://trid.trb.org/view/758367>
- World Meteorological Organization. (2020). *WMO statement on the state of the global climate in 2019*. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10211](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211)
- Yang, J., Santamouris, M., Lee, S. et Deb, C. (2016). *Decrease the anthropogenic heat in University Campus through advanced energy consumption management and retrofitting strategies*. 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island.
- Yang, J., Wang, Z.-H. et Kaloush, K. E. (2015). Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a 'silver bullet' for mitigating urban heat island? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 830-843. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.092>
- Younger, M., Morrow-Almeida, H. R., Vindigni, S. M. et Dannenberg, A. L. (2008). The Built Environment, Climate Change, and Health. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(5), 517-526. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.08.017>
- Yu, Z., Guo, Q. et Sun, R. (2015). Impacts of urban cooling effect based on landscape scale: a review. *The Journal of Applied Ecology*, 26(2), 636-642.
- Yu, Z., Yang, G., Zuo, S., Jørgensen, G., Koga, M. et Vejre, H. (2020). Critical review on the cooling effect of urban blue-green space: A threshold-size perspective. *Urban Forestry et Urban Greening*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126630>
- Zaid, S. M., Perisamy, E., Hussein, H., Myeda, N. E. et Zainon, N. (2018). Vertical Greenery system in urban tropical climate and its carbon sequestration potential: A review. *Ecological Indicators*, 91, 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.086>
- Zhou, Y. et Shepherd, J. M. (2010). Atlanta's urban heat island under extreme heat conditions and potential mitigation strategies. *Natural Hazards*, 52(3), 639-668. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9406-z>
- Ziter, C. D., Pedersen, E. J., Kucharik, C. J. et Turner, M. G. (2019). Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(15), 7575-7580. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817561116>



## **Annexe 1**

### **Stratégie de recherche documentaire**



## Stratégie de recherche

La présente revue de la littérature visait à recenser les principales mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains (ICU) potentiellement applicables dans un contexte québécois. Elle est constituée de publications issues de la littérature scientifique et de la littérature grise. Une stratégie de recherche documentaire a été conçue, avec l'aide d'une bibliothécaire de l'INSPQ.

### Littérature scientifique

Pour la littérature scientifique, six bases de données ont été interrogées en date du 6 juillet 2020 : Embase, Global Health (via la plateforme de recherche Ovid) ainsi que Medline, Environment Complete, Health Policy Reference Center (via la plateforme EBSCO) et Science direct. La recherche a été lancée afin de repérer des articles rédigés en anglais ou en français de 2009 à 2020 qui traitaient de mesures de lutte contre les ICU pouvant s'appliquer dans un contexte québécois. Aucune restriction en ce qui concerne l'étendue géographique n'a été appliquée au moment de lancer la recherche.

Les termes de recherche utilisés pour repérer les articles pertinents se rapportaient aux deux principaux concepts de l'objet de la recherche documentaire, c'est-à-dire les ICU (concept 1) et les mesures de lutte contre les ICU (concept 2). Une liste de termes (mots-clés) a été formulée pour chacun des concepts, à la fois dans un vocabulaire libre (langage naturel) et dans un vocabulaire contrôlé (descripteurs provenant d'un thésaurus), et combinés à l'aide d'opérateurs booléens (AND, OR) et d'opérateurs de proximité (ADJn). Ces mots-clés ont été recherchés dans les titres, les résumés et les mots-clés déterminés par les auteurs des articles. Les divers algorithmes de consultation des bases de données sont présentés aux tableaux 1 à 6.

Ce sont 4 487 articles qui ont été repérés à la suite de la recherche documentaire dans la littérature scientifique. Après élimination des doublons (985 articles), ce sont 3 502 articles qui ont été évalués en deux étapes sur la base de critères d'inclusion et d'exclusion.

Dans un premier temps, pour qu'un article puisse être retenu, le titre ou le résumé devait traiter des ICU et minimalement évoquer au moins une mesure de lutte contre les ICU. Les articles s'intéressant aux effets des ICU sur la santé humaine ou animale ont été exclus. À la suite de cette première évaluation, 1 003 articles ont été jugés admissibles. De ce nombre, 35 revues de la littérature et 968 articles originaux ont été retenus.

Dans un deuxième temps, une lecture intégrale des articles jugés admissibles a été faite. Parmi les 35 revues de la littérature repérées, 9 ont été exclues puisqu'elles ne traitaient pas principalement des mesures de lutte contre les ICU; 7 revues n'ont pas été conservées puisqu'elles étaient axées sur le développement de technologies et n'abordaient pas le lien ou l'efficacité en termes de réduction de l'ICU, 1 autre revue a été exclue puisqu'elle traitait de l'élaboration d'un protocole afin d'améliorer les revues systématiques en lien avec le verdissement et la santé humaine et ne faisait pas mention des mesures de lutte contre les ICU et, enfin, une dernière revue a été exclue puisqu'elle était axée sur les impacts des ICU sur la santé. Ainsi, ce sont 23 revues de la littérature qui ont été conservées, puisqu'elles traitaient des ICU et évoquaient minimalement une mesure de lutte contre les ICU.

Étant donné le nombre important d'articles originaux (n = 968) retenus à la suite de la première évaluation, il a été convenu avec une bibliothécaire de l'INSPQ de procéder à l'évaluation des 23 revues de la littérature retenues afin de déterminer la revue jugée de meilleure qualité et de réaliser une recherche complémentaire à travers les articles originaux pour compléter les années manquantes en fonction de la date de publication de cette revue (voir le processus d'évaluation des

revues à l'annexe 2). À la suite de l'évaluation des revues, une lecture intégrale des articles originaux publiés à partir de 2017, soit l'année associée à la revue jugée de meilleure qualité, a été effectuée.

Parmi les 968 articles originaux jugés admissibles à la suite de la première évaluation basée sur le titre et le résumé, 503 articles correspondaient à la période de 2017 à 2020. Pour ce deuxième tri, les articles pour lesquels le contexte climatique était différent de celui du Québec (non tempéré) (n = 180), ceux qui n'étaient pas axés sur les mesures de lutte contre les ICU (n = 87) et ceux s'intéressant principalement aux impacts des ICU sur la santé (n = 10) ont été exclus. Au total, 208 articles originaux abordant principalement la question des mesures de lutte contre les ICU applicables dans un contexte québécois ont ainsi été retenus aux fins des travaux. De ce nombre, seuls les articles originaux qui apportaient des éléments non préalablement décelés dans les revues de la littérature ont été conservés (n = 32).

En tout, ce sont 55 études (23 revues de la littérature et 32 articles originaux) qui ont été retenues pour les travaux.

### **Littérature grise**

La recherche documentaire a également inclus différentes sources de la littérature grise, qui ont été utilisées pour compléter les informations concernant l'efficacité des mesures de lutte contre les ICU et mettre à jour les données globales. Les moteurs de recherche Google et Google Scholar, de même que certains sites gouvernementaux d'intérêt (Lawrence Berkeley National Laboratory, United States Environmental Protection Agency, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) ont été interrogés grâce à des requêtes. Les termes de recherche ont été essentiellement les mêmes que ceux utilisés pour le repérage des articles provenant de la littérature scientifique. Des mots-clés, tant en anglais qu'en français, ont été associés à ces concepts. Des guillemets ont été appliqués lorsque le terme à rechercher était constitué de plus d'un mot (p. ex., « urban heat »). Cette façon de faire a permis de procéder à une recherche exacte du mot-clé entre guillemets.

Des requêtes ont par la suite été élaborées, en français et en anglais, en appliquant des codes pour raffiner la recherche. Par exemple, « intitle » a permis d'effectuer des recherches uniquement dans le titre des notices de Google. Afin d'éviter de consulter plusieurs fois la même notice, les termes de recherche pour un même concept ont été liés avec le booléen « OR ». L'opérateur « AND » a quant à lui été représenté par un espace entre les différents concepts. La recherche a été affinée à la période 2009-2021 à l'aide des paramètres avancés de Google. La consultation des résultats pour chacune des requêtes lancées s'est arrêtée lorsque les résultats n'apparaissaient plus pertinents.

**Tableau 1 Stratégie de recherche lancée dans Embase (Ovid)**

#	Concepts	Requêtes	Résultats
1	Concept 1	((island* OR urban) adj3 heat) OR ((urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) adj3 (fresh OR thermal))).ti,ab,kw.	963
2	Concept 1	((street OR urban) adj3 canyon*) OR ((urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) adj3 (climate OR microclimate OR "micro-climate")).ti,ab,kw.	1399
3	Concept 1	(heat OR solar OR sun OR temperature OR thermal OR UV OR UVR OR ultraviolet OR ultra-violet OR weather).ti,ab,kw.	1,148,333
4	Concept 1	((episode* OR event* OR wave*) adj3 heat).ti,ab,kw.	2,419
5	Concept 1	(urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns).ti,ab,kw.	384,774
6	Liaison concept 1	1 OR (2 AND 3) OR (4 AND 5)	1,574
7	Concept 2a :	(adapt* OR fight* OR intervention* OR limit* OR measure* OR mitigat* OR (plan N1 action*) OR policy OR policies OR program OR programs OR programme* OR reduc* OR strateg*).ti,ab,kw.	11,637,185
8	Liaison 1+2	6 adj6 7	402
9	Concept 2 : <u>MESURES DE VEGETALISATION</u>	("ecosystem service*" OR (green adj3 (area* OR building* OR infrastructure* OR roof* OR space* OR structure* OR wall*)) OR greenroof* OR (living adj (cover* OR wall*)) OR (roof* adj3 (benefit* OR garden* OR vegetation)) OR shadow* OR shading* OR tree OR trees OR (urban adj3 (forest* OR greening OR park OR parks)) OR vegetation*).ti,ab,kw.	206,568
10	Concept 2 : <u>INFRASTRUCTURES URBAINES DURABLES</u>	(albedo OR architecture OR bikeabilit* OR ((cool OR reflective OR white) adj roof*) OR ((built OR urban OR design*) adj2 (environment* OR surrounding* OR infrastructure* OR surrounding* OR form)) OR ((climate-proof OR eco OR ecologic* OR resilient OR sustainable OR friendly) adj6 (city OR cities OR neighbo#rhood*)) OR concrete OR cooling OR pedestrian OR "solar reflectance" OR ((urban OR city OR cities OR town OR towns OR municipalit*) adj3 (design* OR development* OR form* OR planning* OR sprawl* OR landscaping OR land-use* OR landuse* OR environment* OR infrastructure* OR sprawl*)) OR (white adj3 (surface OR coating)) OR walkabilit* OR woonerf*).ti,ab,kw.	221,692
11	Concept 2 : <u>GESTION DES EAUX PLUVIALES PERMÉABILITÉ DU SOL</u>	(asphalt OR demineralization OR ((permeable OR porous) adj pavement*) OR ((stormwater OR rainwater OR water) adj3 (manag* OR infiltrat*)) OR "pluvial garden").ti,ab,kw.	16,544
12	Concept 2 : <u>RÉDUCTION DE LA CHALEUR ANTHROPHIQUE</u>	("cool car*" OR (energy adj3 (efficiency OR heating OR cooling)) OR (vehicule* adj2 emission adj2 reduc*) OR ((active OR public OR mass OR infrastructure*) adj3 transport*) OR ((anthropogenic OR human-made) adj heat) OR ((natural OR urban) adj ventilation) OR "transit oriented development").ti,ab,kw.	32,829
13	Liaison 1+2	<b>6 AND (9 OR 10 OR 11 OR 12)</b>	754
14	Liaison	<b>8 OR 13</b>	917
15	Limite temps	limit 14 to yr=2009-2020	749
16	Limite langues	15 and (french or English).lg.	725
17	Sauf études animales	16 not ((animal/ not exp human/) or (arthropod* or avian or bird* or fish or fishes or herbivore* or insect* or mice or mosquito* or mouse or rat or rats or snake* or spider*).ti.)	<b>698</b>

**Tableau 2 Stratégie de recherche lancée dans Global Health (Ovid)**

#	Concepts	Requêtes	Résultats
1	Concept 1	((island* OR urban) adj3 heat) OR ((urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) adj3 (fresh OR thermal)).ti,ab,id.	462
2	Concept 1	((street OR urban) adj3 canyon*) OR ((urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) adj3 (climate OR microclimate OR "micro-climate")).ti,ab,id.	393
3	Concept 1	(heat OR solar OR sun OR temperature OR thermal OR UV OR UVR OR ultraviolet OR ultra-violet OR weather).ti,ab,id.	164,025
4	Concept 1	((episode* OR event* OR wave*) adj3 heat).ti,ab,id.	839
5	Concept 1	(urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns).ti,ab,id.	161,705
6	Liaison concept 1	1 OR (2 AND 3) OR (4 AND 5)	787
7	Concept 2a	(adapt* OR fight* OR intervention* OR limit* OR measure* OR mitigat* OR (plan N1 action*) OR policy OR policies OR program OR programs OR programme* OR reduc* OR strateg*).ti,ab,id.	1,414,290
8	Liaison 1+2	6 adj6 7	229
9	Concept 2 : <u>MESURES DE VEGETALISATION</u>	("ecosystem service*" OR (green adj3 (area* OR building* OR infrastructure* OR roof* OR space* OR structure* OR wall*)) OR greenroof* OR (living adj (cover* OR wall*)) OR (roof* adj3 (benefit* OR garden* OR vegetation)) OR shadow* OR shading* OR tree OR trees OR (urban adj3 (forest* OR greening OR park OR parks)) OR vegetation*).ti,ab,id.	36,550
10	Concept 2 : <u>INFRASTRUCTURES URBAINES</u>	(albedo OR architecture OR bikeabilit* OR ((cool OR reflective OR white) adj roof*) OR ((built OR urban OR design*) adj2 (environment* OR surrounding* OR infrastructure* OR surrounding* OR form)) OR ((climate-proof OR eco OR ecologic* OR resilient OR sustainable OR friendly) adj6 (city OR cities OR neighbo#rhood*)) OR concrete OR cooling OR pedestrian OR "solar reflectance" OR ((urban OR city OR cities OR town OR towns OR municipalit*) adj3 (design* OR development* OR form* OR planning* OR sprawl* OR landscaping OR land-use* OR landuse* OR environment* OR infrastructure* OR sprawl*)) OR (white adj3 (surface OR coating)) OR walkabilit* OR woonerf*).ti,ab,id.	23,640
11	Concept 2 : <u>GESTION DES EAUX PLUVIALES PERMÉABILITÉ DU SOL</u>	(asphalt OR demineralization OR ((permeable OR porous) adj pavement*) OR ((stormwater OR rainwater OR water) adj3 (manag* OR infiltrat*)) OR "pluvial garden*").ti,ab,id.	5,842
12	Concept 2 : <u>RÉDUCTION DE LA CHALEUR ANTHROPHIQUE</u>	("cool car*" OR (energy adj3 (efficiency OR heating OR cooling)) OR (vehicule* adj2 emission adj2 reduc*) OR ((active OR public OR mass OR infrastructure*) adj3 transport*) OR ((anthropogenic OR human-made) adj heat) OR ((natural OR urban) adj ventilation) OR "transit oriented development").ti,ab,id.	4,233
13	Liaison 1+2	<b>6 AND (9 OR 10 OR 11 OR 12)</b>	396
14	Liaison	<b>8 OR 13</b>	472
15	Limite temps	limit 14 to yr=2009-2020	427
16	Limite langues	15 and (french or English).lg.	411
17	Sauf études animales	16 not ((animals/ not man/) or (arthropod* or avian or bird* or fish or fishes or herbivore* or insect* or mice or mosquito* or mouse or rat or rats or snake* or spider*).ti.)	<b>405</b>

**Tableau 3 Stratégie de recherche lancée dans Medline (EBSCO)**

#	Concepts	Requêtes	Résultats
1	Concept 1	<b>TI</b> (((island* OR urban) N2 heat) OR ((urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) N2 (fresh OR thermal))) OR <b>AB</b> (((island* OR urban) N2 heat) OR ((urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) N2 (fresh OR thermal)))	731
2	Concept 1	<b>TI</b> (((street OR urban) N2 canyon*) OR ((urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) N2 (climate OR microclimate OR "micro-climate"))) OR <b>AB</b> (((street OR urban) N2 canyon*) OR ((urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) N2 (climate OR microclimate OR "micro-climate")))	887
3	Concept 1	<b>TI</b> (heat OR solar OR sun OR temperature OR thermal OR UV OR UVR OR ultraviolet OR ultra-violet OR weather) OR <b>AB</b> (heat OR solar OR sun OR temperature OR thermal OR UV OR UVR OR ultraviolet OR ultra-violet OR weather)	1,143,171
4	Concept 1	<b>TI</b> ((episode* OR event* OR wave*) N2 heat) OR <b>AB</b> ((episode* OR event* OR wave*) N2 heat)	2,227
5	Concept 1	<b>TI</b> (urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) OR <b>AB</b> (urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns)	312,279
6	Liaison concept 1	S1 OR (S2 AND S3) OR (S4 AND S5)	1,252
7	Concept 2a	<b>TI</b> (adapt* OR fight* OR intervention* OR limit* OR measure* OR mitigat* OR (plan N1 action*)) OR policy OR policies OR program OR programs OR programme* OR reduc* OR strateg*) OR <b>AB</b> (adapt* OR fight* OR intervention* OR limit* OR measure* OR mitigat* OR (plan N1 action*)) OR policy OR policies OR program OR programs OR programme* OR reduc* OR strateg*)	8,991,180
8	Liaison 1+2	S6 N5 S7	329
9	Concept 2 : <u>MESURES DE VEGETALISATION</u>	<b>TI</b> ("ecosystem service*" OR (green N2 (area* OR building* OR infrastructure* OR roof* OR space* OR structure* OR wall*)) OR greenroof* OR (living W1 (cover* OR wall*)) OR (roof* N2 (benefit* OR garden* OR vegetation)) OR shadow* OR shading* OR tree OR trees OR (urban N2 (forest* OR greening OR park OR parks)) OR vegetation*) OR <b>AB</b> ("ecosystem service*" OR (green N2 (area* OR building* OR infrastructure* OR roof* OR space* OR structure* OR wall*)) OR greenroof* OR (living W1 (cover* OR wall*)) OR (roof* N2 (benefit* OR garden* OR vegetation)) OR shadow* OR shading* OR tree OR trees OR (urban N2 (forest* OR greening OR park OR parks)) OR vegetation*)	177,132
10	Concept 2 : <u>INFRASTRUCTURES URBAINES</u>	<b>TI</b> (albedo OR architecture OR bikeabilit* OR ((cool OR reflective OR white) W1 roof*) OR ((built OR urban OR design*) N1 (environment* OR surrounding* OR infrastructure* OR surrounding* OR form)) OR ((climate-proof OR eco OR ecologic* OR resilient OR sustainable OR friendly) N5 (city OR cities OR neighbo#rhood*)) OR concrete OR cooling OR pedestrian OR "solar reflectance" OR ((urban OR city OR cities OR town OR towns OR municipalit*) N2 (design* OR development* OR form* OR planning* OR sprawl* OR landscaping OR land-use* OR landuse* OR environment* OR infrastructure* OR sprawl*)) OR (white N2 (surface OR coating)) OR walkabilit* OR woonerf*) OR <b>AB</b> (albedo OR architecture OR bikeabilit* OR ((cool OR reflective OR white) W1 roof*) OR ((built OR urban OR design*) N1 (environment* OR surrounding* OR infrastructure* OR surrounding* OR form)) OR ((climate-proof OR	204,545

**Tableau 3 Stratégie de recherche lancée dans Medline (EBSCO) (suite)**

#	Concepts	Requêtes	Résultats
10	Concept 2 : <u>INFRASTRUCTURES URBAINES (suite)</u>	eco OR ecologic* OR resilient OR sustainable OR friendly) N5 (city OR cities OR neighbo#rhood*) OR concrete OR cooling OR pedestrian OR "solar reflectance" OR ((urban OR city OR cities OR town OR towns OR municipalit*) N2 (design* OR development* OR form* OR planning* OR sprawl* OR landscaping OR land-use* OR landuse* OR environment* OR infrastructure* OR sprawl*)) OR (white N2 (surface OR coating)) OR walkabilit* OR woonerf*)	
11	Concept 2 : <u>GESTION DES EAUX PLUVIALES PERMÉABILITÉ DU SOL</u>	TI (asphalt OR demineralization OR ((permeable OR porous) W1 pavement*) OR ((stormwater OR rainwater OR water) N2 (manag* OR infiltrat*)) OR "pluvial garden*") OR AB (asphalt OR demineralization OR ((permeable OR porous) W1 pavement*) OR ((stormwater OR rainwater OR water) N2 (manag* OR infiltrat*)) OR "pluvial garden*")	13,712
12	Concept 2 : <u>RÉDUCTION DE LA CHALEUR ANTHROPHIQUE</u>	TI ("cool car*" OR (energy N2 (efficiency OR heating OR cooling)) OR (vehicule* N1 emission N1 reduc*) OR ((active OR public OR mass OR infrastructure*) N2 transport*) OR ((anthropogenic OR human-made) W1 heat) OR ((natural OR urban) W1 ventilation) OR "transit oriented development") OR AB ("cool car*" OR (energy N2 (efficiency OR heating OR cooling)) OR (vehicule* N1 emission N1 reduc*) OR ((active OR public OR mass OR infrastructure*) N2 transport*) OR ((anthropogenic OR human-made) W1 heat) OR ((natural OR urban) W1 ventilation) OR_"transit oriented development")	31,234
13	Liaison 1+2	<b>S6 AND (S9 OR S10 OR S11 OR S12)</b>	613
14	Liaison	<b>S8 OR S13</b>	733
15	Limite temps	S14 AND (DT 2009-2020)	665
16	Limite langues	S15 AND LA (English OR French)	642
17	Sauf études animales	S16 NOT (MH (animals+ NOT humans+) OR TI (arthropod* OR avian OR bird* OR fish OR fishes OR herbivore* OR insect* OR mice OR mosquito* OR mouse OR rat OR rats OR snake* OR spider*))	<b>604</b>

**Tableau 4 Stratégie de recherche lancée dans Environment Complete (EBSCO)**

#	Concepts	Requêtes	Résultats
1	Concept 1	<b>TI</b> (((island* OR urban) N2 heat) OR ((urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) N2 (fresh OR thermal))) OR <b>AB</b> (((island* OR urban) N2 heat) OR ((urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) N2 (fresh OR thermal))) OR <b>DE</b> "URBAN heat islands"	3,037
2	Concept 1	<b>TI</b> (((street OR urban) N2 canyon*) OR ((urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) N2 (climate OR microclimate OR "micro-climate"))) OR <b>AB</b> (((street OR urban) N2 canyon*) OR ((urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) N2 (climate OR microclimate OR "micro-climate"))) OR <b>DE</b> "URBAN heat islands"	2,949
3	Concept 1	<b>TI</b> (heat OR solar OR sun OR temperature OR thermal OR UV OR UVR OR ultraviolet OR ultra-violet OR weather) OR <b>AB</b> (heat OR solar OR sun OR temperature OR thermal OR UV OR UVR OR ultraviolet OR ultra-violet OR weather)	527,283
4	Concept 1	<b>TI</b> ((episode* OR event* OR wave*) N2 heat) OR <b>AB</b> ((episode* OR event* OR wave*) N2 heat)	2,400

**Tableau 4 Stratégie de recherche lancée dans Environment Complete (EBSCO) (suite)**

#	Concepts	Requêtes	Résultats
5	Concept 1	TI (urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns) OR AB (urban OR city OR cities OR neighbo#rhood* OR town OR towns)	182,051
6	Liaison concept 1	S1 OR (S2 AND S3) OR (S4 AND S5)	4,067
7	Concept 2a	TI (adapt* OR fight* OR intervention* OR limit* OR measure* OR mitigat* OR (plan N1 action*) OR policy OR policies OR program OR programs OR programme* OR reduc* OR strateg*) OR AB (adapt* OR fight* OR intervention* OR limit* OR measure* OR mitigat* OR (plan N1 action*) OR policy OR policies OR program OR programs OR programme* OR reduc* OR strateg*)	1,584,489
8	Liaison 1+2	S6 N5 S7	2,680
9	Concept 2 : <u>MESURES DE VEGETALISATION</u>	TI ("ecosystem service*" OR (green N2 (area* OR building* OR infrastructure* OR roof* OR space* OR structure* OR wall*)) OR greenroof* OR (living W1 (cover* OR wall*)) OR (roof* N2 (benefit* OR garden* OR vegetation)) OR shadow* OR shading* OR tree OR trees OR (urban N2 (forest* OR greening OR park OR parks)) OR vegetation*) OR AB ("ecosystem service*" OR (green N2 (area* OR building* OR infrastructure* OR roof* OR space* OR structure* OR wall*)) OR greenroof* OR (living W1 (cover* OR wall*)) OR (roof* N2 (benefit* OR garden* OR vegetation)) OR shadow* OR shading* OR tree OR trees OR (urban N2 (forest* OR greening OR park OR parks)) OR vegetation*)	220,467
10	Concept 2 : <u>INFRASTRUCTURES URBAINES</u>	TI (albedo OR architecture OR bikeabilit* OR ((cool OR reflective OR white) W1 roof*) OR ((built OR urban OR design*) N1 (environment* OR surrounding* OR infrastructure* OR surrounding* OR form)) OR ((climate-proof OR eco OR ecologic* OR resilient OR sustainable OR friendly) N5 (city OR cities OR neighbo#rhood*)) OR concrete OR cooling OR pedestrian OR "solar reflectance" OR ((urban OR city OR cities OR town OR towns OR municipalit*) N2 (design* OR development* OR form* OR planning* OR sprawl* OR landscaping OR land-use* OR landuse* OR environment* OR infrastructure* OR sprawl*)) OR (white N2 (surface OR coating)) OR walkabilit* OR woonerf*) OR AB (albedo OR architecture OR bikeabilit* OR ((cool OR reflective OR white) W1 roof*) OR ((built OR urban OR design*) N1 (environment* OR surrounding* OR infrastructure* OR surrounding* OR form)) OR ((climate-proof OR eco OR ecologic* OR resilient OR sustainable OR friendly) N5 (city OR cities OR neighbo#rhood*)) OR concrete OR cooling OR pedestrian OR "solar reflectance" OR ((urban OR city OR cities OR town OR towns OR municipalit*) N2 (design* OR development* OR form* OR planning* OR sprawl* OR landscaping OR land-use* OR landuse* OR environment* OR infrastructure* OR sprawl*)) OR (white N2 (surface OR coating)) OR walkabilit* OR woonerf*)	106,374
11	Concept 2 : <u>GESTION DES EAUX PLUVIALES PERMÉABILITÉ DU SOL</u>	TI (asphalt OR demineralization OR ((permeable OR porous) W1 pavement*) OR ((stormwater OR rainwater OR water) N2 (manag* OR infiltrat*)) OR "pluvial garden*") OR AB (asphalt OR demineralization OR ((permeable OR porous) W1 pavement*) OR ((stormwater OR rainwater OR water) N2 (manag* OR infiltrat*)) OR "pluvial garden*")	35,355

**Tableau 4 Stratégie de recherche lancée dans Environment Complete (EBSCO) (suite)**

#	Concepts	Requêtes	Résultats
12	Concept 2 : <u>RÉDUCTION DE LA CHALEUR ANTHROPHIQUE</u>	TI ("cool car*" OR (energy N2 (efficiency OR heating OR cooling)) OR (vehicule* N1 emission N1 reduc*) OR ((active OR public OR mass OR infrastructure*) N2 transport*) OR ((anthropogenic OR human-made) W1 heat) OR ((natural OR urban) W1 ventilation) OR "transit oriented development") OR AB ("cool car*" OR (energy N2 (efficiency OR heating OR cooling)) OR (vehicule* N1 emission N1 reduc*) OR ((active OR public OR mass OR infrastructure*) N2 transport*) OR ((anthropogenic OR human-made) W1 heat) OR ((natural OR urban) W1 ventilation) OR_"transit oriented development")	30,196
13	Liaison 1+2	<b>S6 AND (S9 OR S10 OR S11 OR S12)</b>	2,636
14	Liaison	<b>S8 OR S13</b>	3,388
15	Limite temps	S14 AND (DT 2009-2020)	2,843
16	Limite langues	S15 AND LA (English OR French)	2,817
17	Sauf études animales	S16 NOT TI (arthropod* OR avian OR bird* OR fish OR fishes OR herbivore* OR insect* OR mice OR mosquito* OR mouse OR rat OR rats OR snake* OR spider*)	<b>2,802</b>

**Tableau 5 Stratégie de recherche lancée dans Health Policy Reference Center (EBSCO)**

#	Concepts	Requêtes	Résultats
1	Concept 1	<b>TI</b> (((island* OR urban) N2 heat) OR ((urban OR city OR cities OR neighborhood* OR town OR towns) N2 (fresh OR thermal))) OR <b>AB</b> (((island* OR urban) N2 heat) OR ((urban OR city OR cities OR neighborhood* OR town OR towns) N2 (fresh OR thermal))) OR <b>DE</b> "URBAN heat islands"	39
2	Concept 1	<b>TI</b> (((street OR urban) N2 canyon*) OR ((urban OR city OR cities OR neighborhood* OR town OR towns) N2 (climate OR microclimate OR "micro-climate"))) OR <b>AB</b> (((street OR urban) N2 canyon*) OR ((urban OR city OR cities OR neighborhood* OR town OR towns) N2 (climate OR microclimate OR "micro-climate"))) OR <b>DE</b> "URBAN heat islands"	35
3	Concept 1	<b>TI</b> (heat OR solar OR sun OR temperature OR thermal OR UV OR UVR OR ultraviolet OR ultra-violet OR weather) OR <b>AB</b> (heat OR solar OR sun OR temperature OR thermal OR UV OR UVR OR ultraviolet OR ultra-violet OR weather)	5,671
4	Concept 1	<b>TI</b> ((episode* OR event* OR wave*) N2 heat) OR <b>AB</b> ((episode* OR event* OR wave*) N2 heat)	222
5	Concept 1	<b>TI</b> (urban OR city OR cities OR neighborhood* OR town OR towns) OR <b>AB</b> (urban OR city OR cities OR neighborhood* OR town OR towns)	41,323
6	Liaison concept 1	S1 OR (S2 AND S3) OR (S4 AND S5)	83
7	Concept 2a	<b>TI</b> (adapt* OR fight* OR intervention* OR limit* OR measure* OR mitigat* OR (plan N1 action*)) OR policy OR policies OR program OR programs OR programme* OR reduc* OR strateg*) OR <b>AB</b> (adapt* OR fight* OR intervention* OR limit* OR measure* OR mitigat* OR (plan N1 action*)) OR policy OR policies OR program OR programs OR programme* OR reduc* OR strateg*)	357,861

**Tableau 5 Stratégie de recherche lancée dans Health Policy Reference Center (EBSCO)**  
(suite)

#	Concepts	Requêtes	Résultats
8	Liaison 1+2	S6 N5 S7	52
9	Concept 2 : <u>MESURES DE VEGETALISATION</u>	TI ("ecosystem service*" OR (green N2 (area* OR building* OR infrastructure* OR roof* OR space* OR structure* OR wall*)) OR greenroof* OR (living W1 (cover* OR wall*)) OR (roof* N2 (benefit* OR garden* OR vegetation)) OR shadow* OR shading* OR tree OR trees OR (urban N2 (forest* OR greening OR park OR parks)) OR vegetation*) OR AB ("ecosystem service*" OR (green N2 (area* OR building* OR infrastructure* OR roof* OR space* OR structure* OR wall*)) OR greenroof* OR (living W1 (cover* OR wall*)) OR (roof* N2 (benefit* OR garden* OR vegetation)) OR shadow* OR shading* OR tree OR trees OR (urban N2 (forest* OR greening OR park OR parks)) OR vegetation*)	2,470
10	Concept 2 : <u>INFRASTRUCTURES URBAINES</u>	TI (albedo OR architecture OR bikeabilit* OR ((cool OR reflective OR white) W1 roof*) OR ((built OR urban OR design*) N1 (environment* OR surrounding* OR infrastructure* OR surrounding* OR form)) OR ((climate-proof OR eco OR ecologic* OR resilient OR sustainable OR friendly) N5 (city OR cities OR neighbo#rhood*)) OR concrete OR cooling OR pedestrian OR "solar reflectance" OR ((urban OR city OR cities OR town OR towns OR municipalit*) N2 (design* OR development* OR form* OR planning* OR sprawl* OR landscaping OR land-use* OR landuse* OR environment* OR infrastructure* OR sprawl*)) OR (white N2 (surface OR coating)) OR walkabilit* OR woonerf*) OR AB (albedo OR architecture OR bikeabilit* OR ((cool OR reflective OR white) W1 roof*) OR ((built OR urban OR design*) N1 (environment* OR surrounding* OR infrastructure* OR surrounding* OR form)) OR ((climate-proof OR eco OR ecologic* OR resilient OR sustainable OR friendly) N5 (city OR cities OR neighbo#rhood*)) OR concrete OR cooling OR pedestrian OR "solar reflectance" OR ((urban OR city OR cities OR town OR towns OR municipalit*) N2 (design* OR development* OR form* OR planning* OR sprawl* OR landscaping OR land-use* OR landuse* OR environment* OR infrastructure* OR sprawl*)) OR (white N2 (surface OR coating)) OR walkabilit* OR woonerf*)	5,339
11	Concept 2 : <u>GESTION DES EAUX PLUVIALES PERMÉABILITÉ DU SOL</u>	TI (asphalt OR demineralization OR ((permeable OR porous) W1 pavement*) OR ((stormwater OR rainwater OR water) N2 (manag* OR infiltrat*)) OR "pluvial garden*") OR AB (asphalt OR demineralization OR ((permeable OR porous) W1 pavement*) OR ((stormwater OR rainwater OR water) N2 (manag* OR infiltrat*)) OR "pluvial garden*")	308
12	Concept 2 : <u>RÉDUCTION DE LA CHALEUR ANTHROPHIQUE</u>	TI ("cool car*" OR (energy N2 (efficiency OR heating OR cooling)) OR (vehicule* N1 emission N1 reduc*) OR ((active OR public OR mass OR infrastructure*) N2 transport*) OR ((anthropogenic OR human-made) W1 heat) OR ((natural OR urban) W1 ventilation) OR "transit oriented development") OR AB ("cool car*" OR (energy N2 (efficiency OR heating OR cooling)) OR (vehicule* N1 emission N1 reduc*) OR ((active OR public OR mass OR infrastructure*) N2 transport*) OR ((anthropogenic OR human-made) W1 heat) OR ((natural OR urban) W1 ventilation) OR "transit oriented development")	845
13	Liaison 1+2	<b>S6 AND (S9 OR S10 OR S11 OR S12)</b>	26
14	Liaison	<b>S8 OR S13</b>	59

**Tableau 5 Stratégie de recherche lancée dans Health Policy Reference Center (EBSCO)  
(suite)**

#	Concepts	Requêtes	Résultats
15	Limite temps	S14 AND (DT 2009-2020)	49
16	Limite langues	S15 AND LA (English OR French)	49
17	Sauf études animales	S16 NOT TI (arthropod* OR avian OR bird* OR fish OR fishes OR herbivore* OR insect* OR mice OR mosquito* OR mouse OR rat OR rats OR snake* OR spider*)	<b>49</b>

**Tableau 6 Stratégie de recherche lancée dans Science Direct**

#	Concepts	Requêtes	Résultats
1	Concept 1	Title: heat island	676
2	Concept 2	Title, abstract, keywords: (adapt OR fight OR intervention OR limit OR measure OR mitigation OR policy program OR reduce OR strategy)	2, 910,167
3	Liaison	Liaison 1+2	362
4	Limite temps	Années : 2009-2020 (menu déroulant)	<b>329</b>

## **Annexe 2**

### **Évaluation des revues de la littérature**



## Évaluation des revues de la littérature

Afin de juger de la qualité des revues de la littérature retenues, une grille d'analyse a été développée. Cette grille comportait deux sections, soit 1) l'adéquation des revues avec le sujet à l'étude et 2) la qualité méthodologique. Cette grille a été approuvée par une bibliothécaire et est présentée au tableau 1. La section méthodologique de la grille est inspirée du modèle de grille AMSTAR développé par l'Institut national d'excellence en santé et en services sociaux (INESSS). Chacune des 2 sections comptait pour 50 % du score attribué aux revues et regroupait des critères auxquels une notation a été attribuée :

- La note de 2 a été attribuée lorsque la revue répondait parfaitement au critère;
- La note de 1 a été attribuée lorsque la revue répondait partiellement au critère;
- La note de 0 a été attribuée lorsque la revue ne répondait pas ou peu au critère.

La section portant sur l'adéquation des revues avec le sujet à l'étude reposait sur trois critères : la pertinence, l'exhaustivité des mesures de lutte contre les ICU ainsi que la zone géographique étudiée. Afin de donner plus de poids à certains critères jugés plus importants dans cette section, les 50 % n'ont pas été répartis de façon uniforme.

La section s'intéressant à la qualité méthodologique reposait sur cinq critères : le nombre d'auteurs ayant collaboré à l'article, le niveau de détail du plan de recherche, la stratégie de recherche, l'hétérogénéité des résultats et la divulgation de conflits d'intérêts.

Les revues de la littérature ont été évaluées indépendamment par une professionnelle de recherche et une stagiaire. Lors de divergences concernant l'attribution d'un score, des discussions ont eu lieu afin d'obtenir un consensus. L'ensemble des scores résultant de l'évaluation des 23 revues de la littérature sont présentés aux tableaux 2 à 24. Trois revues de la littérature ont obtenu un score de 1,4 sur 2, soit le score le plus élevé résultant du processus d'évaluation des revues : Yu *et al.*, 2020 (tableau 23), Gago *et al.*, 2013 (tableau 11) et Filho *et al.*, 2017 (tableau 9). Puisque Yu *et al.*, 2020 et Gago *et al.*, 2013 traitaient principalement d'une seule mesure de lutte contre les ICU, il a été convenu de sélectionner l'année 2017, soit celle associée à la revue de Filho *et al.* qui couvrait plusieurs mesures de lutte contre les ICU.

**Tableau 1 Grille d'analyse des revues de la littérature**

<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>				
<b>Critères et pondération (50 %)</b>	<b>Description des critères</b>	<b>Fort (++) (2 points)</b>	<b>Modéré (+) (1 point)</b>	<b>Faible (-) (0 point)</b>
Pertinence (20%)	<i>Pertinence au regard du sujet</i>	Traite des mesures de lutte contre les ICU	Traite partiellement des mesures de lutte contre les ICU	Ne traite pas des mesures de lutte contre les ICU <b>(rejetée)</b>
Exhaustivité des mesures étudiées (20%)	<i>Nombre de mesures traitées dans la revue</i>	Traite de plus de deux mesures de lutte contre les ICU	Traite de deux mesures de lutte contre les ICU	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU
Zone géographique (10%)	<i>Applicabilité des mesures ou des résultats au contexte climatique québécois</i>	Québec, Canada, nord-est américain	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont transposables au contexte québécois	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont peu transposables au contexte québécois
<b>Section qualité méthodologique</b>				
<b>Critères et pondération (50 %)</b>	<b>Description des critères</b>	<b>Fort (++) (2 points)</b>	<b>Modéré (+) (1 point)</b>	<b>Faible (-) (0 point)</b>
Nombre d'auteurs (10%)	<i>La pluralité de collaborateurs assure le règlement de différends</i>	Réalisée par au moins trois auteurs	Réalisée par deux auteurs	Réalisée par un auteur
Plan de recherche (10%)	<i>Établissement du plan de recherche</i>	La question de recherche et les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue	La question de recherche ou les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue	La question de recherche et les critères d'inclusion et d'exclusion ne sont pas déterminés avant le début de la revue
Stratégie de recherche (10%)	<i>Recherche dans les bases de données et identification des mots-clés</i>	La recherche a été lancée dans au moins deux bases de données et les mots-clés sont identifiés	La recherche a été lancée dans au moins une base de données OU les mots-clés sont identifiés	Aucune stratégie de recherche n'a été mentionnée par les auteurs ou impossible à vérifier
Hétérogénéité des résultats (10%)	<i>Présence ou absence de divergence dans les résultats des études originales</i>	Absence d'hétérogénéité dans les résultats	L'hétérogénéité des résultats est expliquée par les auteurs	L'hétérogénéité des résultats n'est pas expliquée par les auteurs
Conflits d'intérêts (10%)	<i>Présence ou absence de conflit d'intérêts</i>	Les auteurs ne rapportent aucun conflit d'intérêts	-	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels

**Tableau 2 Évaluation - Aflaki et al. (2017)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)			0	<b>0</b>	Région de l'Asie de l'Est, pays tropicaux humides (Malaisie, Singapour) et Hong Kong (climat subtropical humide).
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par sept auteurs.
Plan de recherche (10%)			0	<b>0</b>	S.O.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	S.O.
Hétérogénéité des résultats (10%)	2			<b>0,2</b>	Absence d'hétérogénéité dans les résultats.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>0,8</b>	

**Référence** : Aflaki, A., Mirnezhad, M., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Omrany, H., Wang, Z.-H., et Akbari, H. (2017). Urban heat island mitigation strategies : A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong. *Cities*, 62, 131-145. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.003>

**Tableau 3 Évaluation - Ampatzidis et Kershaw (2020)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)			0	<b>0</b>	La grande majorité des études ont été menées dans des climats subtropicaux humides, principalement dans les régions asiatiques.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)		1		<b>0,1</b>	Réalisée par deux auteurs.
Plan de recherche (10%)			0	<b>0</b>	S.O.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	S.O.
Hétérogénéité des résultats (10%)		1		<b>0,1</b>	L'hétérogénéité des résultats est expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)	2			<b>0,2</b>	Les auteurs ne rapportent aucun conflit d'intérêts.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>0,8</b>	

**Référence** : Ampatzidis, P. et Kershaw, T. (2020). A review of the impact of blue space on the urban microclimate. *Science of the Total Environment*, 730, 139068. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139068>

**Tableau 4** Évaluation - Aram *et al.* (2019)

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Les études ont été menées dans divers pays, dont européens.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par quatre auteurs.
Plan de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	Question de recherche et critères de sélection définis.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	S.O.
Hétérogénéité des résultats (10%)			0	<b>0</b>	L'hétérogénéité des résultats n'est pas expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)	2			<b>0,2</b>	Les auteurs ne rapportent aucun conflit d'intérêts.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1,1</b>	

**Référence :** Aram, F., Higuera García, E., Solgi, E. et Mansournia, S. (2019). Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon*, 5(4), e01339. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01339>

**Tableau 5 Évaluation - Besir et Cuce (2018)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)	2			<b>0,2</b>	Les études ont été menées dans divers pays dont au Canada et aux États-Unis.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)		1		<b>0,1</b>	Réalisée par deux auteurs.
Plan de recherche (10%)		1		<b>0,1</b>	La question de recherche est décrite.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	S.O.
Hétérogénéité des résultats (10%)	2			<b>0,2</b>	Absence d'hétérogénéité dans les résultats.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1</b>	

**Référence** : Besir, A. B. et Cuce, E. (2018). Green roofs and facades : A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(Part 1), 915-939.

**Tableau 6 Évaluation - Bobes-Jesus et al. (2013)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)		1		<b>0,2</b>	Traite partiellement des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Les études ont été menées dans divers pays (États-Unis et pays européens).
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par quatre auteurs.
Plan de recherche (10%)		1		<b>0,1</b>	La question de recherche est décrite.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	S.O.
Hétérogénéité des résultats (10%)	2			<b>0,2</b>	Absence d'hétérogénéité dans les résultats.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>0,8</b>	

**Référence :** Bobes-Jesus, V., Pascual-Muñoz, P., Castro-Fresno, D. et Rodriguez-Hernandez, J. (2013). Asphalt solar collectors : A literature review. *Applied Energy*, 102, 962-970. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.08.050>

**Tableau 7 Évaluation - Charlesworth (2010)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)		1		<b>0,2</b>	Traite partiellement des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Les études ont été menées dans divers pays, dont aux États-Unis.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)			0	<b>0</b>	Réalisée par un auteur.
Plan de recherche (10%)		1		<b>0,1</b>	La question de recherche est décrite.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	S.O.
Hétérogénéité des résultats (10%)	2			<b>0,2</b>	Absence d'hétérogénéité dans les résultats.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>0,6</b>	

**Référence** : Charlesworth, S. M. (2010). A review of the adaptation and mitigation of global climate change using sustainable drainage in cities. *Journal of Water and Climate Change*, 1(3), 165-180. <https://doi.org/10.2166/wcc.2010.035>

**Tableau 8 Évaluation - Charoenkit et Yiemwattana (2016)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Les études ont été menées dans divers pays, dont en climat tempéré.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)		1		<b>0,1</b>	Réalisée par deux auteurs.
Plan de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La question de recherche et les critères d'inclusion/d'exclusion sont décrits.
Stratégie de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	Les bases de données et les mots-clés sont décrits.
Hétérogénéité des résultats (10%)	2			<b>0,2</b>	Absence d'hétérogénéité dans les résultats.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1,2</b>	

**Référence :** Charoenkit, S. et Yiemwattana, S. (2016). Living walls and their contribution to improved thermal comfort and carbon emission reduction : A review. *Building et Environment*, 105, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.031>

**Tableau 9 Évaluation - Filho *et al.* (2017)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)		1		<b>0,2</b>	Traite partiellement des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)	2		0	<b>0,4</b>	Traite de plus de deux mesures de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Les études ont été menées dans divers pays, dont en climat tempéré.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par quatre auteurs.
Plan de recherche (10%)		1		<b>0,1</b>	La question de recherche est décrite.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	S.O.
Hétérogénéité des résultats (10%)	2			<b>0,2</b>	Absence d'hétérogénéité dans les résultats.
Conflits d'intérêts (10%)	2			<b>0,2</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1,4</b>	

**Référence** : Filho, W. L., Icaza, L. E., Emanche, V. O. et Al-Amin, A. Q. (2017). An evidence-based review of impacts, strategies and tools to mitigate urban heat islands. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1600. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121600>

**Tableau 10 Évaluation - Francis et Jensen (2017)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)		1		<b>0,2</b>	Traite partiellement des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Les études ont été menées dans divers pays, dont aux États-Unis et en Europe.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)		1		<b>0,1</b>	Réalisée par deux auteurs.
Plan de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La question de recherche et les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés.
Stratégie de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La recherche a été lancée dans au moins deux bases de données et les mots-clés sont identifiés.
Hétérogénéité des résultats (10%)		1		<b>0,1</b>	L'hétérogénéité des résultats est expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)		1		<b>0,1</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1,0</b>	

**Référence :** Francis, L. F. M. et Jensen, M. B. (2017). Benefits of green roofs : A systematic review of the evidence for three ecosystem services. *Urban Forestry et Urban Greening*, 28, 167-176. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.015>

**Tableau 11 Évaluation - Gago et al. (2013)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)		1		<b>0,2</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Les études ont été menées dans divers pays, dont aux États-Unis et en Europe.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par quatre auteurs.
Plan de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La question de recherche et les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés.
Stratégie de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La recherche a été lancée dans au moins deux bases de données et les mots-clés sont identifiés.
Hétérogénéité des résultats (10%)		1		<b>0,1</b>	L'hétérogénéité des résultats est expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1,4</b>	

**Référence** : Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R. et Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands : A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 749-758.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>

**Tableau 12 Évaluation - Kleerekoper et al. (2012)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite de plus de deux mesures de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont transposables au contexte québécois (États-Unis et pays européens).
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par trois auteurs.
Plan de recherche (10%)		1		<b>0,1</b>	La question de recherche ou les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	Aucune stratégie de recherche n'a été mentionnée par les auteurs ou impossible à vérifier.
Hétérogénéité des résultats (10%)		1		<b>0,1</b>	L'hétérogénéité des résultats est expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1,3</b>	

**Référence** : Kleerekoper, L., van Esch, M. et Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Special Issue: Climate Proofing Cities.*, 64, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.004>

**Tableau 13 Évaluation - Lai et al. (2019)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite de plus de deux mesures de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont transposables au contexte québécois.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par cinq auteurs.
Plan de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La question de recherche et les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	Aucune stratégie de recherche n'a été mentionnée par les auteurs ou impossible à vérifier.
Hétérogénéité des résultats (10%)			0	<b>0</b>	L'hétérogénéité des résultats n'est pas expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1,3</b>	

**Référence** : Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K. et Chen, Q. (2019). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of the Total Environment*, 661, 337-353.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>

**Tableau 14** Évaluation - Leal Filho *et al.* (2018)

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)		1		<b>0,2</b>	Traite partiellement des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite de plus de deux mesures de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont transposables au contexte québécois.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par cinq auteurs.
Plan de recherche (10%)		1		<b>0,1</b>	La question de recherche ou les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	Aucune stratégie de recherche n'a été mentionnée par les auteurs ou impossible à vérifier.
Hétérogénéité des résultats (10%)	2			<b>0,2</b>	Absence d'hétérogénéité dans les résultats.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1,2</b>	

**Référence** : Leal Filho, W., Echevarria Icaza, L., Neht, A., Klavins, M. et Morgan, E. A. (2018). Coping with the impacts of urban heat islands. A literature based study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1140-1149.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.086>

**Tableau 15** Évaluation - Mohajerani *et al.* (2017)

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)		1		<b>0,2</b>	Traite partiellement des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont transposables au contexte québécois.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par au moins trois auteurs.
Plan de recherche (10%)		1		<b>0,1</b>	La question de recherche ou les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	Aucune stratégie de recherche n'a été mentionnée par les auteurs ou impossible à vérifier.
Hétérogénéité des résultats (10%)		1		<b>0,1</b>	L'hétérogénéité des résultats est expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1,1</b>	

**Référence** : Mohajerani, A., Bakaric, J. et Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522-538.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>

Tableau 16 Évaluation - Qin (2015)

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont transposables au contexte québécois.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)			0	<b>0</b>	Réalisée par un auteur.
Plan de recherche (10%)		1		<b>0,1</b>	La question de recherche ou les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	Aucune stratégie de recherche n'a été mentionnée par les auteurs ou impossible à vérifier.
Hétérogénéité des résultats (10%)		1		<b>0,1</b>	L'hétérogénéité des résultats est expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>0,7</b>	

**Référence :** Qin, Y. (2015). A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 445-459. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.177>

**Tableau 17 Évaluation - Rahman et al. (2020)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont transposables au contexte québécois.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par au moins trois auteurs.
Plan de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La question de recherche et les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue.
Stratégie de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La recherche a été lancée dans au moins deux bases de données et les mots-clés sont identifiés.
Hétérogénéité des résultats (10%)		1		<b>0,1</b>	L'hétérogénéité des résultats est expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1,2</b>	

**Référence :** Rahman, M. A., Stratopoulos, L. M. F., Moser-Reischl, A., Zölch, T., Häberle, K.-H., Rötzer, T., Pretzsch, H. et Pauleit, S. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands : A meta-analysis. *Building et Environment*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106606>

**Tableau 18 Évaluation - Santamouris (2013)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont transposables au contexte québécois.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)			0	<b>0</b>	Réalisée par un auteur.
Plan de recherche (10%)		1		<b>0,1</b>	La question de recherche ou les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	Aucune stratégie de recherche n'a été mentionnée par les auteurs ou impossible à vérifier.
Hétérogénéité des résultats (10%)	2			<b>0,2</b>	Absence d'hétérogénéité dans les résultats.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>0,8</b>	

**Référence :** Santamouris, M. (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 224-240.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.047>

**Tableau 19 Évaluation - Santamouris (2014)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont transposables au contexte québécois.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)			0	<b>0</b>	Réalisée par un auteur.
Plan de recherche (10%)		1		<b>0,1</b>	La question de recherche ou les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	Aucune stratégie de recherche n'a été mentionnée par les auteurs ou impossible à vérifier.
Hétérogénéité des résultats (10%)		1		<b>0,1</b>	L'hétérogénéité des résultats est expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>0,7</b>	

**Référence** : Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682-703.  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>

**Tableau 20 Évaluation - Susca (2019)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont transposables au contexte québécois.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)			0	<b>0</b>	Réalisée par un auteur.
Plan de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La question de recherche et les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue.
Stratégie de recherche (10%)		1		<b>0,1</b>	La recherche a été lancée dans au moins une base de données ou les mots-clés sont identifiés.
Hétérogénéité des résultats (10%)		1		<b>0,1</b>	L'hétérogénéité des résultats est expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>0,9</b>	

**Référence :** Susca, T. (2019). Green roofs to reduce building energy use ? A review on key structural factors of green roofs and their effects on urban climate. *Building et Environment*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106273>

**Tableau 21 Évaluation - Valladares et al. (2017)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)		1		<b>0,2</b>	Traite partiellement des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont transposables au contexte québécois.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par au moins trois auteurs.
Plan de recherche (10%)		1		<b>0,1</b>	La question de recherche ou les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	Aucune stratégie de recherche n'a été mentionnée par les auteurs ou impossible à vérifier.
Hétérogénéité des résultats (10%)		1		<b>0,1</b>	L'hétérogénéité des résultats est expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>0,7</b>	

**Référence** : Valladares-Rendón, L. G., Schmid, G. et Lo, S.-L. (2017). Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of façade shading systems. *Energy et Buildings*, 140, 458-479. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.073>

**Tableau 22 Évaluation - Yang et al. (2015)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont transposables au contexte québécois.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par au moins trois auteurs.
Plan de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La question de recherche et les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue.
Stratégie de recherche (10%)			0	<b>0</b>	Aucune stratégie de recherche n'a été mentionnée par les auteurs ou impossible à vérifier.
Hétérogénéité des résultats (10%)		1		<b>0,1</b>	L'hétérogénéité des résultats est expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1,0</b>	

**Référence** : Yang, J., Wang, Z.-H. et Kaloush, K. E. (2015). Environmental impacts of reflective materials : Is high albedo a 'silver bullet' for mitigating urban heat island? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 830-843.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.092>

**Tableau 23 Évaluation - Yu *et al.* (2020)**

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)	2			<b>0,4</b>	Traite des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)		1		<b>0,1</b>	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont transposables au contexte québécois.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par au moins trois auteurs.
Plan de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La question de recherche et les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue.
Stratégie de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La recherche a été lancée dans au moins deux bases de données et les mots-clés sont identifiés.
Hétérogénéité des résultats (10%)		1		<b>0,1</b>	L'hétérogénéité des résultats est expliquée par les auteurs.
Conflits d'intérêts (10%)	2			<b>0,2</b>	Les auteurs ne rapportent aucun conflit d'intérêts.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1,4</b>	

**Référence** : Yu, Z., Yang, G., Zuo, S., Jørgensen, G., Koga, M. et Vejre, H. (2020). Critical review on the cooling effect of urban blue-green space : A threshold-size perspective. *Urban Forestry et Urban Greening*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126630>

**Tableau 24** Évaluation - Zaid *et al.* (2018)

Critères et pondération	Fort (++)	Modéré (+)	Faible (-)	Total	Commentaires
<b>Section adéquation des études avec le sujet</b>					
Pertinence (20%)		1		<b>0,2</b>	Traite partiellement des mesures de lutte contre les ICU.
Exhaustivité des résultats (20%)			0	<b>0</b>	Traite d'une seule mesure de lutte contre les ICU.
Zone géographique (10%)			0	<b>0</b>	Autres pays dont les mesures ou les résultats sont peu transposables au contexte québécois.
<b>Section qualité méthodologique</b>					
Nombre d'auteurs (10%)	2			<b>0,2</b>	Réalisée par au moins trois auteurs.
Plan de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La question de recherche et les critères d'inclusion et d'exclusion sont déterminés avant le début de la revue.
Stratégie de recherche (10%)	2			<b>0,2</b>	La recherche a été lancée dans au moins deux bases de données et les mots-clés sont identifiés.
Hétérogénéité des résultats (10%)	2			<b>0,2</b>	Absence d'hétérogénéité dans les résultats.
Conflits d'intérêts (10%)			0	<b>0</b>	Les auteurs ne déclarent ni la présence ou l'absence de conflits d'intérêts potentiels.
<b>Total (maximum 2 pts)</b>				<b>1,0</b>	

**Référence** : Zaid, S. M., Perisamy, E., Hussein, H., Myeda, N. E. et Zainon, N. (2018). Vertical Greenery System in urban tropical climate and its carbon sequestration potential : A review. *Ecological Indicators*, 91, 57-70.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.086>



Centre d'expertise  
et de référence

[www.inspq.qc.ca](http://www.inspq.qc.ca)