

CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ÎLOTS DE CHALEUR :  
INDICATEURS DE PERFORMANCE POUR LES MESURES D'ADAPTATION

Par  
Ysabelle Filiatreault

Essai présenté au Centre universitaire de formation  
en environnement et développement durable en vue  
de l'obtention du grade de Maîtrise en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Monsieur Denis Dionne

MAÎTRISE EN GESTION DE L'ENVIRONNEMENT  
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Juin 2015

## SOMMAIRE

Mots clés : îlot de chaleur urbain, adaptation aux changements climatiques, aménagement urbain, indicateur de performance, potentiel de rendement, Montréal.

Grâce au programme climat municipalité, les municipalités du Québec obtiennent du financement afin de produire, entre autres, un plan d'adaptation aux changements climatiques. Ce plan d'adaptation amène les municipalités à identifier les effets des changements climatiques susceptibles d'affecter leur territoire et de prévoir les mesures d'adaptation pour s'y accommoder. Le territoire urbain, dense en infrastructures et au couvert végétal limité, soumis à la radiation solaire accumule de la chaleur et crée des conditions thermiques particulières, que l'on appelle îlot de chaleur urbain. Parmi les effets anticipés des changements climatiques, la hausse des températures prévues amplifiera le phénomène d'îlots de chaleur urbain. Trois types de mesures peuvent être mises en place pour viser l'adaptation soient les mesures palliatives à court terme, les mesures d'aménagement à moyen terme et les mesures visant la réduction de la pollution atmosphérique et des gaz à effet de serre à long terme. Les mesures d'aménagement servant à diminuer l'effet des îlots de chaleur urbain sont principalement la plantation d'arbres, la végétalisation, la diminution des surfaces de revêtement bitumineux ou la mise en place de revêtement de surface à albédo élevé.

L'objectif général de l'essai est de concevoir des indicateurs d'implantation et de performance de la mise en place d'aménagement réducteur des effets des îlots de chaleur urbain. L'implantation des aménagements réducteurs de chaleur permet de diminuer les températures ressenties, d'augmenter la qualité de l'air, la santé des populations et de modifier l'urbanisation du territoire. Ce sont ces effets, mesurables, qui ont permis de constituer des indicateurs de performance en lien avec le contexte actuel montréalais. En mesurant l'évolution des effets, il est possible de mesurer l'évolution des îlots de chaleur urbain.

Les indicateurs permettent un suivi quantitatif de la réalisation, de l'implantation, de la performance des aménagements visant la réduction des îlots de chaleur. Ces indicateurs pourraient bonifier les plans d'adaptation aux changements climatiques ou tout autre plan thématique ayant pour objectif la lutte aux îlots de chaleur urbain.

## **REMERCIEMENTS**

D'abord, je souhaiterais remercier mon directeur, M. Denis Dionne, de m'avoir soutenue et encouragée tout au long de l'écriture de l'essai. Ces commentaires et suggestions ont été d'une aide précieuse et ont amené une profondeur à mon essai.

J'aimerais aussi remercier Dre Anne-Marie Pelletier ainsi que Mme Judith Vien pour leur support durant l'écriture de l'essai.

Finalement, j'aimerais remercier mon conjoint Benoit Lévesque pour ses encouragements et son support inconditionnel.

## TABLES DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	1
1 ÎLOT DE CHALEUR URBAIN (ICU) .....	3
1.1 Définition, causes et facteurs .....	3
1.2 Historique .....	7
1.3 Mesure du phénomène .....	8
1.3.1 Îlots de chaleur de surface .....	9
1.3.2 Îlot de chaleur dans la canopée .....	12
1.3.3 Îlots de chaleur urbain atmosphérique.....	13
1.4 Risques associés .....	17
1.5 Mesures atténuant les effets ICU.....	19
2 S'ADAPTER, IMPLANTER ET AMÉNAGER .....	23
2.1 Plan d'adaptation .....	23
2.2 Aménagement réducteur d'ICU et potentiel de rendement .....	26
2.2.1 Plantation d'arbres.....	27
2.2.2 Végétalisation des surfaces minérales.....	29
2.2.3 Végétalisation des bâtiments : toits et murs .....	30
2.2.4 Revêtement de surface à albédo élevé.....	32
2.3 Incitatif à l'aménagement .....	33
2.3.1 Gouvernement, villes et municipalités .....	34
2.3.2 Rôle de l'intervention communautaire.....	36
2.4 Objectif d'aménagement.....	37
3 INDICATEURS POTENTIELS ET SUIVI DES MESURES .....	38
3.1 Indicateurs directs.....	40
3.1.1 Température et outils de mesure .....	40

3.1.2	Indice de verdissement et mesure de l'évolution de la canopée .....	42
3.2	Indicateurs indirects .....	46
3.2.1	Indice de densité de population et urbanisation .....	47
3.2.2	Indice de santé et sécurité publique .....	50
3.2.3	Indice de qualité de l'air .....	53
3.3	Suivi des mesures .....	57
4	RECOMMANDATIONS .....	60
	CONCLUSION .....	71
	RÉFÉRENCES .....	73
	BIBLIOGRAPHIE .....	81
	ANNEXE 1 - EXEMPLE DES DIFFÉRENTS DE PAYSAGES URBAINS IDENTIFIÉS .....	84

## LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1	Synthèse du phénomène ICU .....	6
Figure 1.2	Exemple d'imagerie résultant du satellite Landsat .....	9
Figure 1.3	Image satellite du centre-ville de Montréal .....	10
Figure 1.4	Ville d'Atlanta : imagerie produite par un radiomètre placée sur un avion.....	11
Figure 1.5	Exemple d'imagerie résultant d'un thermomètre numérique à New York.....	12
Figure 1.6	Schéma type d'une traverse automobile urbaine (tiré de : Voogt, 2004).....	13
Figure 1.7	Données ouvertes sur les îlots de chaleur au Québec .....	16
Figure 1.8	Décès dans la communauté montréalaise lors de l'été 2010 .....	18
Figure 2.1	Principales étapes dans un cadre d'adaptation au CC adapté de l'anglais .....	24
Figure 2.2	Exemples de ruelles vertes montréalaises : de champêtre à classique .....	29
Figure 2.3	Exemple d'un végétal et d'un mur de plantes grimpantes .....	32
Figure 2.4	Photo d'une toiture blanche dans Rosemont .....	33
Figure 3.1	Évolution thermique du territoire de la CMM entre 1984 et 2005.....	40
Figure 3.2	Image satellite illustrant les changements thermiques entre 1984 et 2005 dans le secteur du Mont Royal .....	41
Figure 3.3	Végétation sur le territoire de la CMM (juin 2005) .....	43
Figure 3.4	Évolution de la végétation sur le territoire de la CMM entre 1984 et 2005 .....	44
Figure 3.5	Image LIDAR corrigée et nettoyée.....	45
Figure 3.6	Densité de la population en 2011.....	48
Figure 3.7	Température moyenne de surface de 16 fonctions urbaines .....	49
Figure 3.8	Carte des besoins d'intervention en cas de canicule par arrondissement.....	52
Figure 3.9	Station d'échantillonnage de la ville de Montréal.....	54
Figure 3.10	Station d'échantillonnage et îlots de chaleur urbain .....	55
Figure 3.11	Station d'échantillonnage de l'air et IQA disponible au travers du Québec .....	55
Figure 4.1	Exemple de l'interface de l'application chinoise <i>Air Quality Index</i> de divulgation des rejets industriels atmosphériques .....	63
Figure 4.2	Interface du logiciel I-tree Canopy .....	65
Figure 4.3	Schéma de mise en place du « <i>Sand Stone Road</i> » .....	69
Figure 4.4	Prototype 2 de la route Solaire.....	69

Tableau 1.1	Identification des plates-formes d'analyse par type d'ICU .....	14
Tableau 1.2	Avantages et inconvénients des principaux outils de mesures des ICU.....	14
Tableau 1.3	Synthèse des différentes mesures et suivis dans différentes villes .....	17
Tableau 1.4	Sommaire des mesures typiques en liens aux 4 causes des ICU : avantages, co-bénéfices, et désavantages .....	22
Tableau 3.1	Caractéristique d'un indicateur intelligent.....	39
Tableau 3.2	Évolution des surfaces à ICU à dans la Communauté métropolitaine de Montréal entre 1984 et 2003 .....	49
Tableau 3.3	Sommaire des mesures de suivi et des indicateurs de performance.....	58
Tableau 3.4	Sommaire des aménagements réduction d'ICU et de leur méthode de suivi. ....	59

## LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

ASSSM	Agence de santé et de services sociaux de Montréal
CC	Changements climatiques
CERFO	Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc.
CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
COV	Composé organique volatil
CREM	Conseil régional de l'environnement de Montréal
DGPV	Direction des grands parcs et du verdissement de ville de Montréal
DUSMVT	Direction de l'urbanisme du service de la mise en valeur du territoire de la ville de Montréal
EPA	<i>Environmental Protection Agency (USA)</i>
ICU	Îlot de chaleur urbain
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et lutte contre les changements climatiques
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
SIG	Système d'information géographique
RNC	Ressources Naturelles Canada
RAMQ	Régie de l'assurance maladie du Québec
RSQA	Réseau de surveillance de la qualité de l'air
SCHL	Société canadienne d'hypothèque et de logement



## LEXIQUE

Scintillomètre Instrument servant à mesurer la longueur d'onde émise par la chaleur. (Grimmond, 2011)

Albédo Désigne la capacité d'un matériau de réfléchir la lumière du soleil, mesurée sur une échelle allant de zéro à un. Par exemple, le matériau qui présente un faible albédo absorbe la majeure partie des rayons solaires. (Santé Canada, 2009)

## INTRODUCTION

Pour le prochain siècle, les modèles climatiques prévoient une augmentation des températures sur la quasi-totalité de la surface de la planète entraînant inévitablement des changements climatiques. En 2013, selon l'organisation météorologique mondiale, les concentrations de CO<sub>2</sub>, de méthane et d'azote représentent respectivement 142 %, 253 % et 121 % de ce qu'elles étaient à l'époque préindustrielle. Il s'agit d'un nouveau sommet. (GIEC, 2013) Sur la planète, les effets des changements attendus sont variés, mais, globalement, la Terre se réchauffe. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), « un réchauffement d'environ 0,2 °C par décennie au cours des vingt prochaines années est anticipé dans plusieurs scénarios d'émissions. » (Pachauri et autres, 2007) Dans le sud du Québec, il faut s'attendre à une augmentation des températures de 2 à 3°C par année en période estivale. (Desjarlais et autres, 2004)

Les changements climatiques affecteront à la fois les populations urbaines et rurales; or, c'est dans les villes que les effets se feront ressentir le plus durement. Qui plus est, la moitié de la population mondiale vit dans les villes et cette tendance est à la hausse. (ONU, 2008) À titre indicatif, 80 % de la population canadienne vit déjà dans des centres urbains. » (Guay, 2014) L'aménagement urbain résultant de l'augmentation des populations altérera la réaction des villes aux changements climatiques.

Pour faire face aux changements annoncés, certains outils d'adaptation peuvent être mis en place. Au Québec, le MDDELCC a lancé en 2006, le plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques. Dans le cadre de ce plan d'action, un des programmes mis en place, le programme Climat Municipalités, soutenait les municipalités du Québec à produire, entre autres, un plan d'adaptation aux changements climatiques. (MDDELCC, 2013) Ce plan d'adaptation amène les municipalités à identifier les effets des changements climatiques susceptibles d'affecter leur territoire et de prévoir les infrastructures et mesures d'adaptation pour s'y accommoder.

Le territoire urbain, dense en infrastructures et au couvert végétal limité, soumis à la radiation solaire accumule de la chaleur et crée des conditions thermiques particulières, que l'on appelle îlot de chaleur urbain. (ICU) La hausse des températures prévues par les CC amplifiera le phénomène d'ICU. Les plans d'adaptation aux changements climatiques permettent d'identifier les secteurs à risque de subir les effets des ICU et de prévoir des stratégies d'adaptation. Plusieurs mesures de mitigation font l'objet de recherches, d'études et de projets pilotes. Les aménagements servant à diminuer l'effet des ICU sont

principalement la plantation d'arbres et de végétation, la végétalisation des toits et des murs, la diminution des surfaces de revêtement bitumineux ou encore la mise en place de revêtement de surface à albédo élevé.

Or, les indicateurs de performance pour l'implantation des mesures d'adaptation démontrent certaines lacunes. L'objectif général de l'essai est d'identifier des mesures quantitatives liées à l'adaptation des ICU et de concevoir des indicateurs d'implantation et de performance de la mise en place de ces mesures d'adaptation. Ces indicateurs permettront un meilleur suivi de la réalisation, de l'implantation, de la performance des aménagements visant la réduction des îlots de chaleur pour ainsi améliorer le cadre de vie des urbains et assurer une adaptation efficiente tant en ressources humaines qu'économiques. Ces indicateurs pourraient bonifier les plans d'adaptation au CC ou tout autre plan thématique ayant pour objectif la lutte aux ICU.

La consultation de la littérature disponible sur les îlots de chaleur urbain et des outils de mesure, tant à l'échelle mondiale que locale, assure une collecte d'information crédible et variée. Toutefois, les sites spécialisés ayant pour sujet l'adaptation aux changements climatiques sont récents, et donc limités. Pour fin d'utilisation, les sources ont été évaluées en fonction de plusieurs critères tels que de la qualité du contenu, de l'autorité de l'auteur et de la facilité d'utilisation.

Afin d'amener le lecteur à mieux comprendre des îlots de chaleur urbain, le premier chapitre fait état du phénomène, de sa mesure, de ses causes et effets. Ensuite, le chapitre 2 présentera les principales interventions en aménagement afin d'atténuer les effets des ICU ainsi que leur potentiel d'implantation. Le chapitre 3 permettra d'identifier des indicateurs et des mesures de suivi principalement pour les villes canadiennes et plus spécifiquement Montréal. Au dernier chapitre sont développées des recommandations, principalement pour la Ville de Montréal, et sont répertoriés des exemples inspirants, des réussites d'implantation ou de mesures d'adaptation.

## **1 ÎLOT DE CHALEUR URBAIN (ICU)**

Qu'est-ce qu'un ICU? Comment le mesure-t-on? D'où provient ce phénomène? Comment peut-on diminuer l'ampleur de ses effets? Des questions pour lesquelles le chapitre 1 tentera de répondre. D'abord, une définition du phénomène d'ICU, ensuite l'historique du phénomène, l'élaboration sur les différents outils permettant de le mesurer, les risques associés et finalement, les mesures d'atténuation ou de mitigation.

Les changements climatiques devraient apporter des épisodes de vague de chaleur plus longue, plus intense et plus fréquente que l'on soit en ville ou en milieu rural. (INSPQ, 2010b) Pour être considéré comme une vague de chaleur, au Québec, un des deux critères suivants doit être rencontré :

1. «La température la plus chaude est d'au moins 33 °C et la température la plus basse d'au moins 20 °C durant trois jours de suite ou plus;» (INSPQ, 2010b)
2. «La température la plus basse est d'au moins 25 °C durant deux nuits de suite.» (INSPQ, 2010b)

### **1.1 Définition, causes et facteurs**

Durant la saison estivale, certains secteurs urbanisés connaissent des hausses notables de température par rapport au milieu ambiant. La détermination de la présence d'un îlot de chaleur est établie par la différence de température entre un milieu naturel et le milieu construit. Cet écart de température s'exprime en degré Celsius et l'intensité des effets liés aux ICU est proportionnelle à cet écart de température. (Parmentier, 2010) Est considéré comme un îlot de chaleur, un secteur, pour une période donnée, présentant des différences de température de 5 degrés Celsius et plus par rapport à l'environnement naturel. (Cavayas et Baudouin, 2008). À titre d'exemple, l'arrondissement Ville St-Laurent possède un grand secteur industriel pour lequel en juin 2005, la température a atteint les 40 degrés Celsius tandis que la température enregistrée dans un parc urbain à proximité était de 23 degrés Celsius » (Nature Québec, 2012). Les causes principales des ICU sont la masse thermique des bâtiments et revêtement urbain, la chaleur anthropique et la pollution, la diminution du couvert végétal et, certaine variable incontrôlable telle que le climat.

### **La masse thermique des bâtiments et des revêtements**

Le premier facteur influençant les ICU est la quantité de revêtement à albédo faible ou pouvant absorber de la chaleur. On compte parmi ces revêtements les matériaux de construction des bâtiments (brique, béton), le pavage d'asphalte, les toitures, et tout autre revêtement pouvant accumuler de la chaleur. (Solecki et autres, 2005) Plus les revêtements typiquement urbains sont denses plus les ondes courtes provenant de la radiation solaire sont absorbées. (Solecki et autres, 2005) Par exemple, les revêtements bitumineux accumulent beaucoup de chaleur ce qui peut entraîner une différence de température entre la surface et l'air ambiant de 50°C. (CREM, 2008) La quantité d'énergie, soit les ondes courtes, emmagasinées par les infrastructures urbaines, une fois le soleil couché, est irradiée en ondes longues. Ces ondes sont interceptées par les nuages, par les particules de poussières ou les molécules d'eau présentes dans l'air et retournent la chaleur vers le sol. Plus le tissu urbain est dense, plus les ICU sont percutants. (Solecki et autres, 2005)

### **La chaleur anthropique et la pollution**

La chaleur anthropique dans les villes est principalement générée par le transport, les industries, les bâtiments et les Hommes. En plus d'émettre de la chaleur, les activités de transport et industrielles émettent des polluants dans l'air aggravant le phénomène d'ICU. La pollution émise combinée à des températures chaudes peut éventuellement créer un dôme de chaleur au-dessus d'un milieu urbain. Il s'agit d'un effet de serre local. La climatisation et les industries représenteraient 48 % de la chaleur anthropique totale (Sailor et Lu, 2004). Les activités de transport seraient responsables de 50 % de la chaleur anthropique. Les 2 % restants proviendraient de la chaleur corporelle émise par les Hommes. (Sailor et Lu, 2004). Le transport reste une grande préoccupation urbaine. La voiture est au cœur des modes de vie urbain en grande partie à cause de l'étalement urbain. Le transport et ses infrastructures sont en lien avec les quatre causes du phénomène d'ICU. La diminution du transport, des émissions de GES et de la demande énergétique des bâtiments aurait des effets bénéfiques sur la lutte à l'îlot de chaleur en plus d'améliorer la qualité de l'air urbain.

La qualité de l'air influence l'ampleur des ICU. Les polluants, tels que les oxydes nitreux, les particules fines, les composés organiques volatils ainsi que l'ozone contribuent à la formation de smog. (Bélanger Michaud, 2013) En été, les polluants atmosphériques urbains sont généralement issus du secteur industriel et du transport. (Bélanger Michaud, 2013) La pollution ou la présence de smog contenu dans l'air est en corrélation directe avec l'amplitude des effets des ICU (Bélanger Michaud, 2013).

### **Diminution ou absence de couvert végétal**

Le couvert végétal affecte l'environnement urbain par la transpiration des feuilles, par l'apport d'ombre et par l'obstruction des rayons solaires. (Mirzaei et Haghghat, 2010) Le manque de végétation accentue l'ampleur des ICU. Les plantes refroidissent l'air en transformant une partie des rayons du soleil par la photosynthèse. Aussi, l'eau contenue par la végétation et les sols est évaporée et amène un échange de chaleur par changement de phase. Ce changement de phase aide à diminuer les températures ambiantes. Johnston et Newton (2004) font la démonstration que 5 climatiseurs qui fonctionnent 20 heures par jour équivalent à arbre mature qui transpire 450 litres d'eau par jour. (Vergriete et Labrecque, 2007)

### **Variables incontrôlables**

Les facteurs climatiques tels que les précipitations, les vents, l'humidité sont parmi les facteurs influençant les ICU (Oke, 2012). Le changement de phase de l'eau en vapeur permet un transfert d'énergie. Toutefois, lorsque l'air est saturé d'eau, l'évaporation de l'eau est plus difficile et les gouttelettes d'eau prise dans l'air transmettent les ondes de chaleur vers le sol; la vapeur d'eau agissant tel un GES. L'augmentation de l'humidité dans l'air, le manque de vent, peut faire augmenter la sensation de chaleur produite par l'ICU. (Oke, 2012).

L'humidité est la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air (Environnement Canada, 2014). Le taux d'humidité est proportionnel à l'impression de chaleur. Le corps combat la chaleur par la sudation. Lorsque l'air est saturé d'eau, l'évaporation de la sueur ne se fait pas aussi facilement. (Environnement Canada, 2014). Le facteur humidex est un paramètre que les météorologues ont établi afin d'indiquer la température perçue. L'indice humidex tient compte de l'humidité et la température qui sont les principaux facteurs qui influencent la sensation de confort durant l'été (Environnement Canada, 2014).

Autrement, les conditions éoliennes des sites propices aux ICU, peuvent influencer l'intensité des ICU. Les vents dominants peuvent déplacer des masses d'air chaud et humide vers l'extérieur des centres urbains. Toutefois, la morphologie des villes peut modifier la quantité de vent. Les bâtiments peuvent influencer la circulation des vents. L'air frais provenant de l'extérieur des tissus urbains denses peut avoir de la difficulté à pénétrer et à l'inverse l'air chaud à en sortir. La vitesse de l'air influence les échanges de chaleur par convection, permet l'évaporation de l'humidité à la surface de la peau et ainsi diminuer la

sensation de chaleur (Giguère, 2009). Les facteurs géographiques, tels que l'altitude, la latitude, le climat peuvent aussi contribuer à modifier les ICU. (Vogt, 2007) À haute altitude, les ICU sont moins intenses.

Même si l'on parle majoritairement d'îlot de chaleur urbain, le phénomène peut se présenter en milieu rural. Des aménagements de types urbains, tel un stationnement, un aéroport, un centre commercial peuvent contribuer à la formation d'un îlot de chaleur. En milieu rural, ces infrastructures sont plus dispersées sur le territoire ce qui rend le phénomène plus ponctuel. En ville, les infrastructures sont densifiées et comprimées. Une fluctuation de l'intensité du phénomène se présente sur le secteur urbain et peut s'appliquer à l'ensemble d'un secteur ou même de la ville entière. Afin d'amortir les hausses de température prévues par les CC, les secteurs urbanisés auront un grand défi d'adaptation puisque le phénomène d'îlot de chaleur déjà présent s'amplifiera. Finalement, la figure 1.1 synthétise les principales causes et mécanismes régissant la formation des ICU.

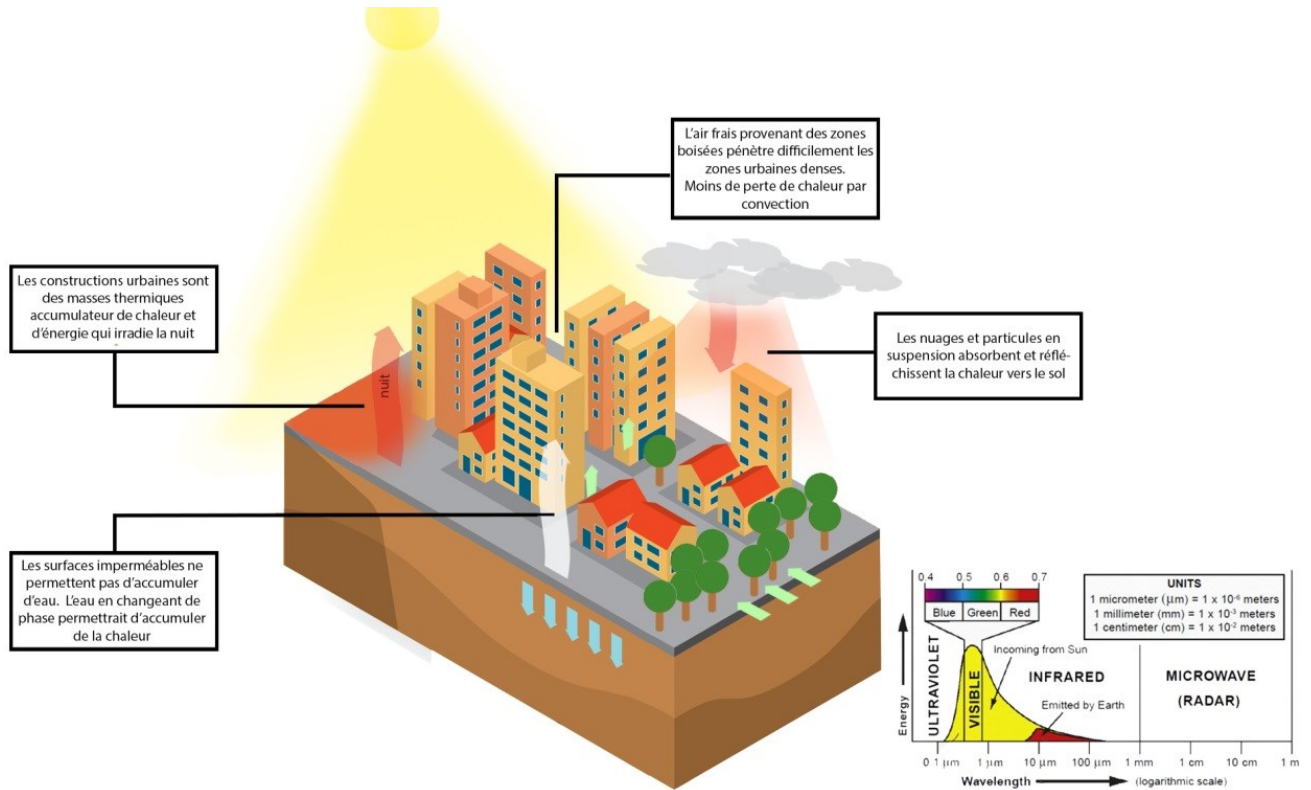


Figure 1.1 Synthèse du phénomène ICU

## 1.2 Historique

Les îlots de chaleur étaient déjà présents même avant l'apparition des changements climatiques. Au 19<sup>e</sup> siècle, Londres était l'une des villes les plus peuplées de la planète. Les activités industrielles de l'époque attiraient nombre de travailleurs délaissant leur terre au profit des agglomérations urbaines et des manufactures. C'est dans cette ville que l'étude de la climatologie urbaine débuta. Afin de pouvoir mesurer le climat urbain, les outils et procédures nécessaires furent développés. À partir de 1660, la Société Royale a commencé à collecter les données relatives telles que la température et les précipitations. Les premiers instruments utilisés étaient des thermomètres italiens gradués. (Grimmond, 2011)

Le premier à avoir constaté les effets des îlots de chaleur urbaine, sans toutefois nommer le phénomène est Luke Howard. (Grimmond, 2011) Dans son livre « Climate of London » paru en 1818, ce médecin météorologiste avait remarqué que la température ressentie en ville n'était pas celle du « climat ». Au moyen de thermomètre placé à des endroits stratégiques sur le territoire, il a comparé les températures journalières de la ville et de la campagne sur plus de 25 ans. (Howard, 1818) Il a aussi étudié d'autres variables, telles que les précipitations et la pression atmosphérique. L'étude de toutes ces variables lui a permis de comprendre que le climat de Londres n'était pas uniquement dû à sa position géographique, mais que plusieurs facteurs anthropiques altéraient les conditions climatiques de la ville. (Grimmond, 2011) Howard a constaté que la ville de Londres, à cause de ses infrastructures, de la population et de la pollution, accumulait plus de chaleur que la campagne voisine. À cette époque, le terme îlot de chaleur urbain n'était pas encore utilisé, on se limitait à parler seulement de différence de température.

Les origines du terme « îlot de chaleur urbain » sont floues. Selon Stewart et Oke, le crédit serait attribué à Manley en 1958, mais il semble que Balchin et Pye l'auraient précédé en 1947. (Stewart et autres, 2006) Dans le cadre d'une étude concernant la quantité de neige reçue à Londres, Manley a identifié qu'un des facteurs de réductions de chute de neige comme étant la chaleur du milieu bâti. (Manley, 1958) Depuis les premières études de Howard, des chercheurs climatologistes ont étudié le climat urbain. Par des modèles climatiques en constante évolution, ils ont travaillé à le comprendre. Les instruments de mesure ont continué d'évoluer, des méthodes et outils d'analyses sont devenus disponibles. Plusieurs scientifiques ont analysé les températures urbaines et on fait des liens avec les taux d'humidité, la qualité de l'air ou la santé de la population. (Grimmond, 2011). Tim R. Oke, de l'Université de Vancouver, a mené plusieurs études de ce genre. Il a entre autres étudié les températures



des villes de Montréal et de Vancouver. Il a fait le constat que la température maximale d'un îlot de chaleur est atteinte quelques heures après le coucher du soleil. Il a aussi constaté que la qualité de l'air jouait un rôle sur les phénomènes d'échange de la chaleur en basse atmosphère. La longueur d'onde émise par les corps chauds est davantage redirigée vers le sol lorsque l'air contient beaucoup de pollution ou de particules. (Stewart et autres, 2009)

Bien que le phénomène d'ICU soit connu depuis plus de 200 ans, il a connu un essor médiatique dans la dernière décennie. Cet engouement médiatique est probablement dû aux catastrophes climatiques et aux effets liés tels que vécus dans plusieurs pays et grandes villes et du fait qu'il est certain qu'ils se reproduiront. En août 2003 en Europe, une canicule sévit. Elle entraîna plus de 70 000 décès attribuables à la chaleur. En France, on compte 15 000 décès et dont 1 150 uniquement dans Paris. (Roy et autres 2011) Selon les *Centers for Disease Control and Prevention*, aux États-Unis, entre 1979 et 2003, l'exposition à la chaleur entraîna la mort de plus de 8000 personnes. Ce nombre est supérieur au nombre de décès attribué aux événements climatiques extrêmes tels que les ouragans, la foudre, les tornades, etc. (Santé Canada, 2009). Au Québec, l'INSPQ a estimé en 2006, 1600 décès dus à l'épisode de chaleur, le smog et la qualité de l'air. (Martin, 2008). Bref, pour le futur, les infrastructures urbaines, additionnées des augmentations de température dues aux CC ne peuvent qu'amplifier les effets des ICU.

### **1.3 Mesure du phénomène**

Howard avait noté, dans les années 1800, des variances de températures annuelles entre Londres et sa campagne. Ces mesures étaient prises dans l'air, principalement à hauteur d'Homme. (Grimmond, 2011) Depuis cette époque, plusieurs études sur la climatologie urbaine ont été effectuées de telle sorte qu'aujourd'hui il s'agit d'une science. Depuis une cinquantaine d'années, les publications des climatologues et scientifiques tels que Chandler dans les années 60 sur Londres, Bornstein et Oke en Amérique du Nord (1968 à 1973) ou de Dettwiller et d'Escourrou (1970 à 1986) pour Paris ont contribué à l'avancement des connaissances sur les ICU. (Cantat, 2004) Par exemple, dans les années 60, Chandler a collecté des données à 17 stations installées dans la ville de Londres sur plus de 5 ans. Ces stations étaient majoritairement aériennes. (Grimmond, 2011) Tout comme Oke, il a pu constater que les infrastructures, la pollution, et l'humidité pouvaient jouer un rôle sur la prise de données.

La prise de mesures et le type d'ICU a été associés à différentes échelles de données. En fait, il existe principalement trois échelles de mesure des ICU, soit l'ICU de surface, l'ICU dans la canopée et l'ICU

atmosphérique. (Parmentier, 2010) Pour les trois échelles, on compte principalement deux méthodes permettant de mesurer les effets des îlots de chaleur urbains, la mesure directe et la mesure indirecte. La mesure directe mesure la température de la surface ou de l'air avec des capteurs reliés à un centre d'observation fixe ou mobile. La mesure indirecte est faite « à distance au moyen d'appareils satellitaires et aériens qui détectent le rayonnement émis par les surfaces. » (Santé Canada, 2009)

### 1.3.1 Îlots de chaleur de surface

La première échelle utilisée est celle de la température au sol. En anglais, *Surface Heat Island*, (SHI) indique la quantité de chaleur accumulée par les surfaces. (Parmentier, 2010) Afin de mesurer le SHI, il est préconisé d'utiliser des senseurs éloignés, tels que l'imagerie satellite. Le satellite permet de capter en image l'énergie émise et réfléchi par le sol, incluant, le pavé, les toitures, la végétation. Toutes les surfaces de la ville vont refléter la chaleur dans une longueur d'onde variant de 3 à 10µm. (EPA, 2013) À titre indicatif, la lumière visible se situe entre 0,3 et 4µm. (Parmentier, 2010) Captées par le satellite, les longueurs d'onde émises par la chaleur se transforment en image. Plusieurs villes ont utilisé le satellite Landsat 7, lancé en 1999 par la NASA pour identifier les îlots de chaleur. Il a servi à collecter plusieurs données de la Terre. Il était conçu pour une durée de vie de 5 ans. Le Landsat 8, en orbite depuis mars 2013, continue la mission de collecte de données environnementales et territoriales. (Dunbar, 2014) La figure 1.3 illustre l'imagerie thermique produite par le satellite de l'agglomération montréalaise.

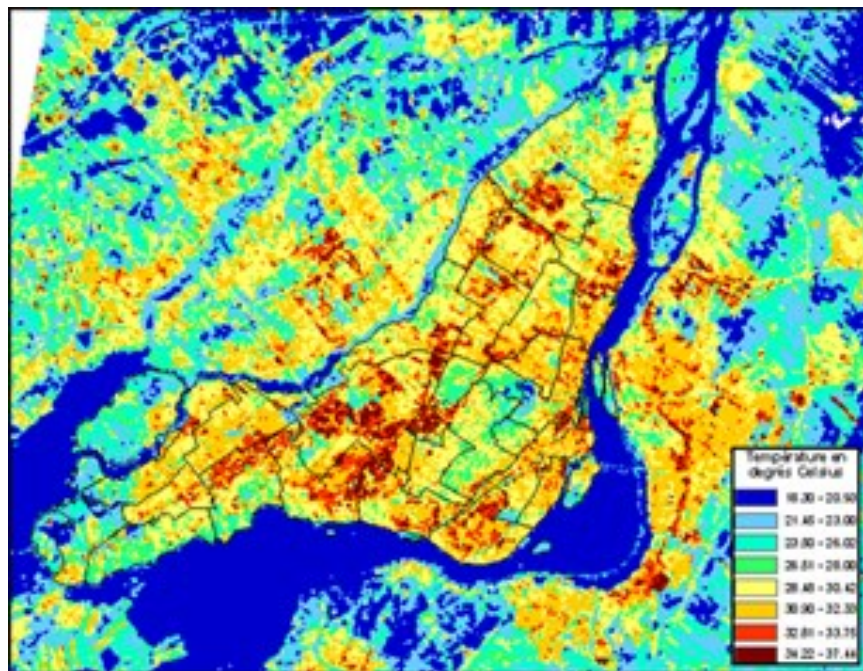


Figure 1.2 Exemple d'imagerie résultant du satellite Landsat (tiré de : Guay et autres, 2008)

L'imagerie satellite possède ses avantages et ses inconvénients. Elle permet une couverture très grande de l'espace, mais sa résolution et sa précision sont limitées. Également, la température, les vents et la grande distance que l'information franchit peuvent influencer la lecture du satellite. Les données doivent souvent faire l'objet de correction afin d'assurer l'acuité des résultats. (Vogt, 2007) De plus, elle ne permet pas de capter les émissions de chaleur des surfaces verticales. (EPA, 2013)

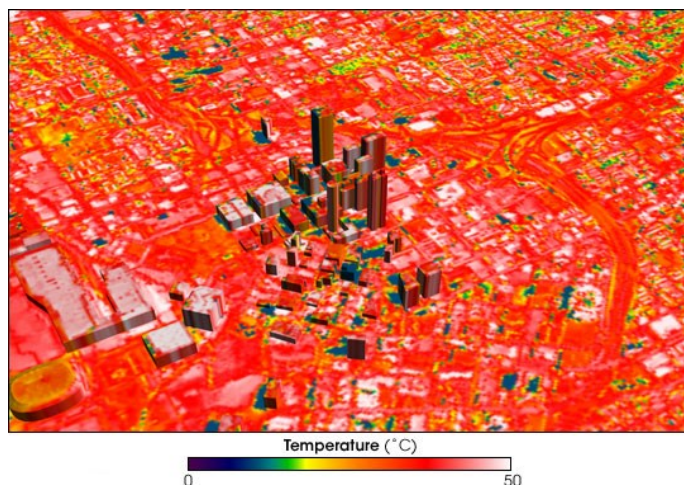
Ensuite, l'analyse cartographique d'images peut servir à connaître la température des surfaces de la ville. Cette approche sert principalement au professionnel de l'urbanisme, de la cartographie ou de géomatique. (RNC, 2010) L'analyse de l'utilisation des surfaces urbaines permet de tirer des conclusions quant à l'identification et l'ampleur des ICU. (Giguère, 2009) Cette méthode est très simple et peu dispendieuse. Une des caractéristiques de l'utilisation du sol qui permet d'identifier les ICU est souvent la densité de la population. (Mirzaei et Haghghat, 2010) L'analyse cartographique permet de dresser un portrait des ICU sans nécessairement avoir des données rigoureuses sur les températures des surfaces. Cependant, cette méthode est sujette à des erreurs d'interprétation des images satellite. (Giguère, 2009) La figure 1.3 est issue de l'imagerie satellite et permet d'estimer l'utilisation du territoire et sa densité.



**Figure 1.3** Image satellite du centre-ville de Montréal (tiré de : RNC, 2010)

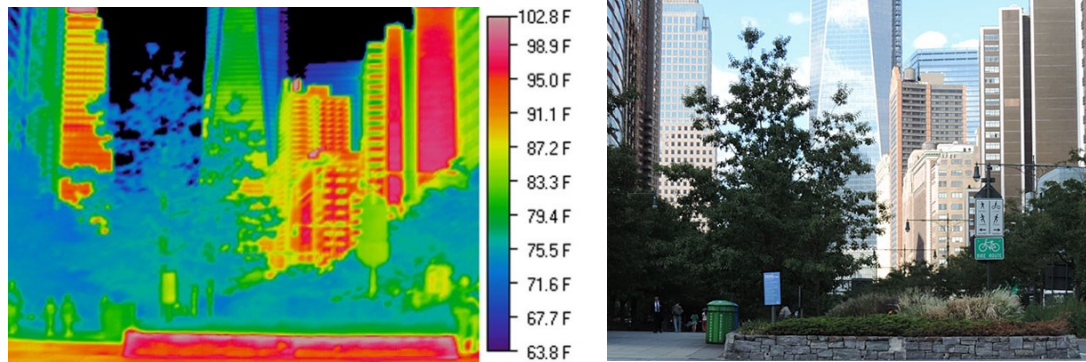
Pour tenter de standardiser l'identification des tissus urbains et ruraux, Stewart et Oke ont classifié les différents systèmes urbains afin d'évaluer méthodologiquement les différents ICU et tenté de diminuer le flou dans l'observation de l'amplitude de l'ICU. Ils ont donc produit un système de classification : le « Local climate zone ». Le système répertorie et détaille 19 zones au travers de 4 types d'usage du territoire soit la ville, l'agriculture, le naturel et les usages mixtes. (Stewart et autres, 2012) L'annexe 1 démontre les différents types d'occupation du territoire et permet d'établir des standards. Cette analyse permet d'estimer le potentiel d'ICU et de standardiser le potentiel d'ICU par l'occupation du sol.

Une autre méthode servant à la mesure des ICU de surface est le relevé thermique par avion grâce à un radiomètre. En survolant la ville avec le radiomètre, les données peuvent être facilement collectées. (EPA, 2013) Ce type d'appareillage permet une meilleure définition et plus de détails sur infrastructures urbaines. Cependant, cette technique est très dispendieuse et les standards sont aléatoires. Les méthodes utilisées sont à la discrétion des scientifiques et les protocoles de mise en place de ses systèmes sont peu élaborés. (Vogt, 2007). La figure 1.4 démontre l'imagerie produite par un radiomètre sur le centre-ville d'Atlanta.



**Figure 1.4 Ville d'Atlanta : imagerie produite par un radiomètre placée sur un avion (tiré de : Crepin, 2014)**

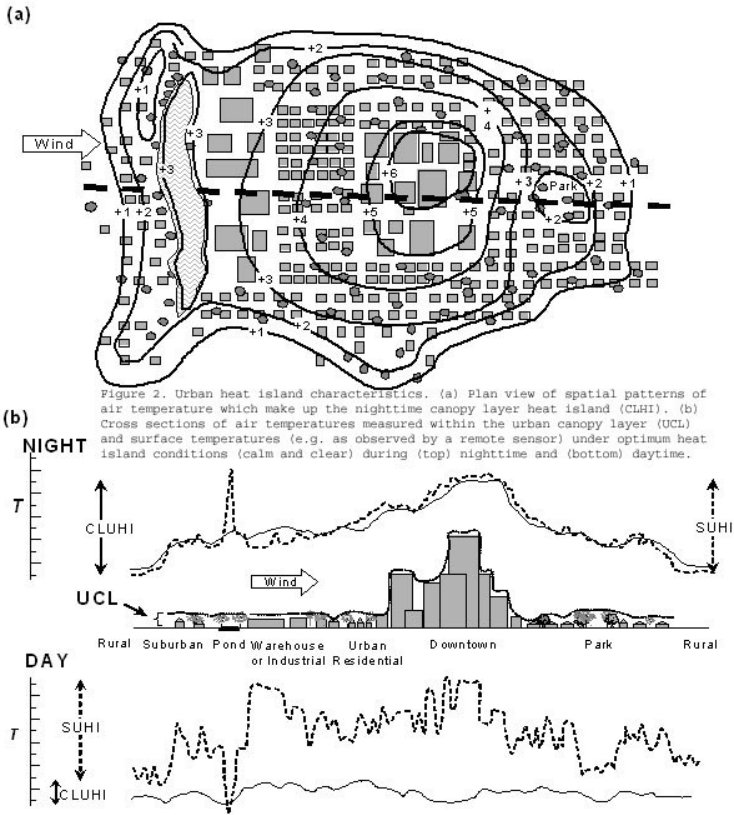
Les SHI peuvent aussi être mesurés les pieds sur terre. Au moyen du thermomètre numérique à rayonnement infrarouge, il est possible, sans contact, de mesurer les températures de surface des bâtiments ou des revêtements de sol. Il est plus précis que l'analyse cartographique d'images, mais il peut être plus laborieux de dresser un portrait étendu des ICU avec cette technique. (INSPQ, 2010c) À la figure 1.5, on constate, grâce au thermomètre infrarouge, les différentes températures de la surface de la ville de New York.



**Figure 1.5 Exemple d'imagerie résultant d'un thermomètre numérique à New York (tiré de: Crépin, 2014)**

### 1.3.2 Îlot de chaleur dans la canopée

Ensuite, la température au niveau de la canopée permet d'évaluer température de l'air à environ 1,5 m du sol; *Canope Urban Heat Island* (CUHI). (EPA, 2013) Cette échelle, correspondant à la hauteur d'inhalation moyenne d'un humain et est généralement utilisée pour qualifier les îlots de chaleur urbains. (Voogt, 2007) Elle est normalement mesurée grâce à des stations thermiques distribuées à travers la ville et dans la campagne afin d'établir une comparaison des températures. (EPA, 2013) Les stations peuvent appartenir tantôt à une chaire de recherche universitaire ou encore à des instances publiques. Au même titre que les avions dotés de radiomètre, la température de l'air au niveau de la canopée peut être mesurée grâce à des traverses automobiles ou autres moyens de transport. La station est fixée à la voiture et permet de prendre des mesures en traversant plusieurs types de systèmes urbain et périurbain. La figure 1.6 présente un schéma d'une traverse. Lors de la collecte de données par traverse, il faut idéalement tenter de garder les mêmes conditions climatiques, telles que le vent ou l'ensoleillement.



**Figure 1.6 Schéma type d'une traversée automobile urbaine** (tiré de : Voogt, 2004)

Bien que la mesure de la température de l'air à l'échelle de la canopée soit plus directe et représentative des températures ressenties, elle possède aussi des limites. Les instruments de mesure provenant des différentes de stations thermiques peuvent varier et apporter une certaine incertitude ou incohérence aux résultats. (EPA, 2013) Également, les conditions atmosphériques changeantes peuvent influencer les résultats. (Voogt, 2004)

### 1.3.3 Îlots de chaleur urbain atmosphérique

La troisième échelle de mesure des ICU est à la frontière atmosphérique ou couche limite urbaine, en anglais : *Boundary Layer Heat Island* (BLHI) (Parmentier, 2008). Pour mesurer la température à cette altitude, des sondes sont envoyées par ballons et des stations thermiques sont fixées au toit des gratte-ciel, en milieu rural et urbain. (Vogt, 2007) Idéalement, pour mesurer un ICU en BLHI, il faut au moins deux stations installées sur des gratte-ciels ou des ballons avec radiosonde. (Vogt, 2007) Les stations météorologiques fixent servent à collecter plusieurs informations climatiques et peuvent appartenir à différentes instances. Leur positionnement n'est donc pas toujours optimal par rapport à l'emplacement

des ICU. Également, l'information récoltée ainsi que les outils de collecte peuvent varier d'une station à l'autre et entraîner certaines ambiguïtés dans le traitement des données.

Les trois échelles de mesure, expliquées ci-devant, sont intimement liées. Bien que la température ressentie soit de l'échelle de la canopée, les températures les plus souvent utilisées pour identifier les ICU sont les températures de surface. Les mesures par satellite permettent de dresser le constat thermique sur un grand territoire. Finalement, le tableau 1.1 résume les différents outils de mesure en fonction des types d'ICU. Également, le tableau 1.2 condense les avantages et inconvénients des principaux outils de mesures.

**Tableau 1.1 Identification des plates-formes d'analyse par type d'ICU**

	Mesure directe	Mesure indirecte
<b>ICU de surface (SHI)</b>	Thermomètre numérique	Imagerie satellite Cartographie (SIG) Radiomètre
<b>ICU dans la canopée (CLHI)</b>	Traverse automobile Station thermique	
<b>ICU atmosphérique (BLHI)</b>	Station thermique Ballons avec radio sonde	

**Tableau 1.2 Avantages et inconvénients des principaux outils de mesures des ICU**

Plate-forme d'analyse	Avantages	Inconvénients
<b>Imagerie satellite</b>	Grande couverture	Faible résolution Ne tiens pas compte des élévations latérales des bâtiments
<b>Cartographie</b>	Peu coûteux	Sujet aux erreurs d'interprétation
<b>Thermomètre numérique</b>	Précision	Peu de couverture
<b>Radiomètre (avion)</b>	Grande couverture Précision	Coûteux
<b>Traverse automobile</b>	Rapide, simple, peu coûteux	Conditions atmosphériques changeantes peuvent nuire aux résultats
<b>Station thermique</b>	Souvent déjà existant dans la ville. Les mesures sont toujours prises au même endroit.	Pas toujours l'endroit le plus adéquat pour mesurer les ICU et jumelé à la prise de plusieurs données météorologiques

Dans les trois échelles de mesure, les types d'instruments utilisés ne font pas l'unanimité dans la communauté scientifique. (Grimmond, 2011) Tous comportent des avantages et des désavantages. Les ICU se produisent de petite à grande échelle simultanément. Afin d'obtenir un portrait le plus précis possible, il faudrait multiplier les analyses des différentes échelles. Les approches normalement utilisées pour mesurer les ICU ne peuvent complètement couvrir l'ensemble du phénomène simultanément et sont simplifiées pour des raisons théoriques et économiques. (Mirzaei et Haghghat, 2010)

Bien que l'amplitude de l'îlot de chaleur est traditionnellement mesurée par la différence de température entre le rural et l'urbain, il peut être difficile de qualifier l'urbain et le rural à travers différentes villes ou même pays. L'urbanité peut avoir plusieurs densités, identités et paysages et plusieurs interprétations d'un territoire rural existent. Certaines données de référence rurale sont parfois prises près d'un aéroport ou près d'infrastructure à caractère urbain. L'absence d'une définition claire de l'urbain et du rural apporte un certain degré de confusion quant à la hiérarchisation de l'amplitude thermique d'un îlot de chaleur urbain. (Steward et autres, 2012) En exemple, à Paris, la station de référence rurale est celle de l'aérodrome Melun Villaroche à 37 km au sud-est. (Cantat, 2004) En Asie, ou dans les mégapoles, il peut être difficile de discerner la ville de la banlieue de la ruralité. Parfois, plusieurs dizaines de kilomètres doivent être franchis pour arriver à une donnée thermique rurale de référence, ce qui altère la justesse de la donnée de référence (Stewart, 2007).

Globalement, la définition qu'Howard faisait des îlots de chaleur il y a presque 200 ans est pratiquement la même aujourd'hui. Toutefois, les mesures, les outils et les caractéristiques des ICU se sont spécifiés. Aujourd'hui, plusieurs grandes villes se sont dotées de système d'analyse des températures urbaines.

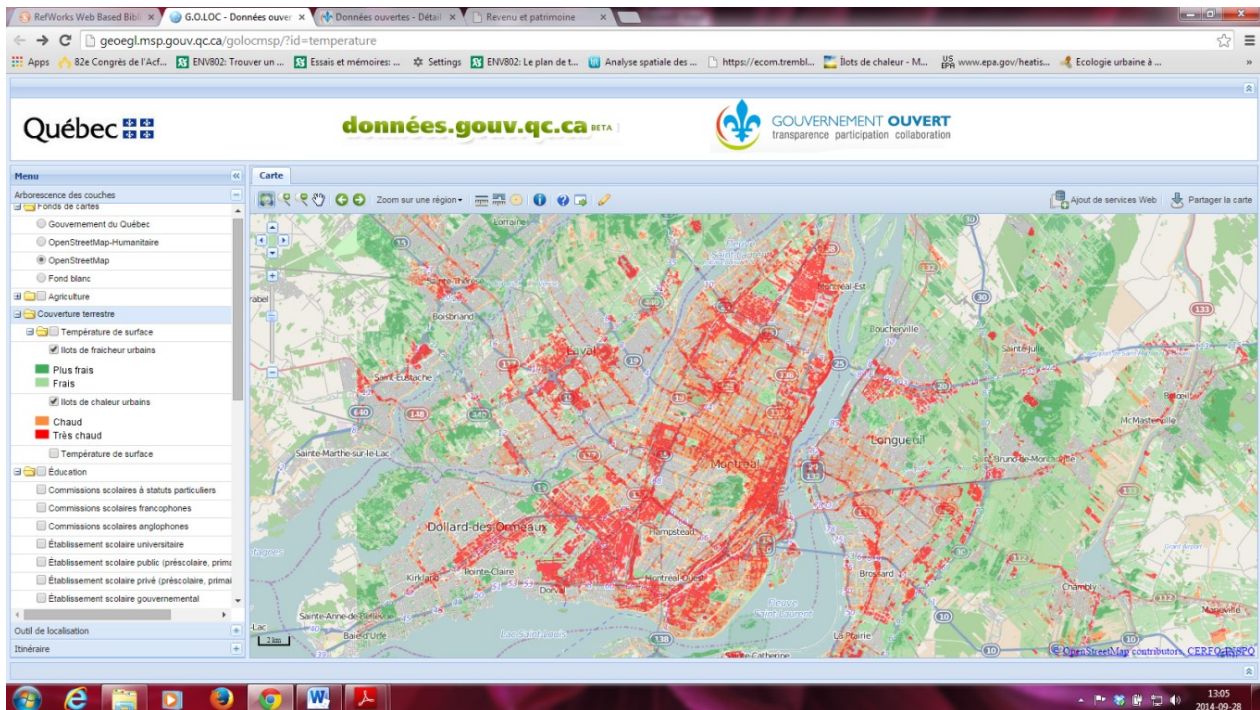
À Londres, plusieurs instruments, tels que le scintillomètre, sont distribués à travers la ville, au niveau de la canopée, afin de mesurer plusieurs données simultanément tels que le taux d'humidité, la température ou les vents. (Grimmond, 2011) Ces stations météorologiques permettent de dresser un portrait de l'évolution de la météo londonienne.

La grande région parisienne dispose de 55 postes thermiques réparties sur une aire d'étude de 10 000 km carrés. L'agglomération parisienne compte 24 postes soit une station de température par 10 kilomètres carrés. (Cantat, 2004) Cet échantillonnage permet de mesurer l'écart entre la portion rurale et urbaine du territoire et d'y comparer les températures.



La ville de Mexico dispose de 29 stations réparties dans la mégapole permettant au département de l'environnement de connaître différents paramètres de l'air urbain telles que la qualité de l'air ou la température. En direct, les données sont transmises au département de l'environnement de la Ville de Mexico et l'état des conditions atmosphériques s'affiche sur écrans. (Jones, 2014).

Autrement, au Québec, dans le cadre du plan d'action 2006-2012 pour la lutte aux changements climatiques, l'INSPQ et le CERFO ont mis au point en 2013 une nouvelle cartographie des ICU. (CERFO, 2013) En 2010, une première tentative de cartographie des ICU avait été faite. L'outil est plus précis et est élaboré grâce à un modèle spatial de prédiction des températures de surface. Il permet de visualiser les îlots de chaleur potentiels ainsi que les températures de surface au travers de la province sur les zones habitées par plus de 400 habitants par kilomètre carré. L'approche cartographique d'identification des ICU s'est fait sur plusieurs années avec des images satellites (Landsat) et des cartes d'utilisation du territoire. (CERFO, 2013). La cartographie québécoise des ICU est disponible au moyen des données ouvertes, et accessibles à tous. La figure 1.7 illustre l'imagerie résultante des analyses du CERFO. Le tableau 1.3 résume les mesures et les types de suivi pour les villes de Paris, Londres, Mexico et Montréal.



**Figure 1.7 Données ouvertes sur les îlots de chaleur au Québec (tiré de : Gouvernement du Québec, 2013)**

**Tableau 1.3 Synthèse des différentes mesures et suivis dans différentes villes**

	Mesures	Type de suivi
<b>Paris</b>	59 stations	journalières
<b>Londres</b>	Environ 4 stations	journalières
<b>Mexico</b>	29 stations	En direct
<b>Montréal</b>	cartographie	3 à 4 ans

#### **1.4 Risques associés**

Le GIEC a déterminé que le phénomène d'ICU apporte des changements, au climat local, sur les précipitations, l'enneigement ainsi que sur les températures quotidiennes et peuvent contribuer à de nombreuses problématiques en milieu urbain. (EPA, 2013) D'un point de vue environnemental, l'augmentation des températures contribue à l'augmentation des polluants dans l'air et à la formation de smog et leur dispersion (INSPQ, 2010c). La demande en énergie accroît vu les besoins accrus en climatisation. La consommation d'eau augmente puisqu'elle est nécessaire afin de s'hydrater, de se rafraîchir. (INSPQ, 2010c) L'augmentation des températures amène plus d'évaporation, ce qui contribue à augmenter l'humidité dans l'air. Cette humidité augmente la sensation de chaleur. De plus, les épisodes de chaleur peuvent dégrader la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments. La chaleur aide à la prolifération d'acarien, de moisissures et de bactéries. (INSPQ, 2010c) Également, la chaleur favorise la libération de substances toxiques par les colles utilisées en construction ou pour la fabrication de meubles. (INSPQ, 2010c) Même en hiver, les ICU peuvent entraîner des diminutions du nombre de jours de gel et des hivers plus courts et plus doux. (CREM, 2008)

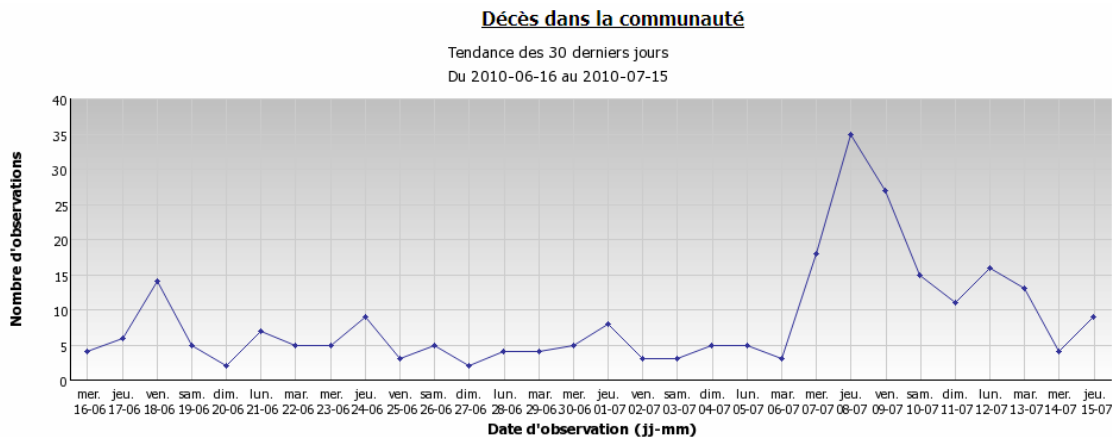
Les ICU peuvent affecter la végétation urbaine et contribuer à sa décroissance. Les conditions thermiques ainsi que la minéralisation du territoire associé aux ICU entraînent un apport en eau difficile pour les plantations urbaines. (Dale et Frank, 2014) Les recherches menées par l'Université de la Caroline du Nord ont démontré que les arbres présents dans les secteurs d'ICU sont plus propices aux invasions d'insectes nuisibles et peuvent causer leur mortalité. (Shipman, 2014)

Sur la santé humaine, la chaleur peut créer un stress thermique pour les populations vulnérables. On compte parmi les populations vulnérables, les personnes atteintes de maladies chroniques, les populations socialement isolées, les très jeunes enfants, les personnes ayant un faible niveau socioéconomique, les personnes souffrant de troubles mentaux, les personnes âgées. Les populations

occidentales sont vieillissantes et plus à risque de subir de l'inconfort lors d'épisode de chaleur. À Montréal en 2006, 12 % de la population avait 65 ans et plus. En 2051, ce taux aura doublé. (Giguère, 2009)

Les ICU peuvent provoquer plusieurs symptômes chez la population vulnérable. Parmi ces symptômes, des faiblesses, des troubles de la conscience, des crampes, des syncopes, des coups de chaleur peuvent survenir. La chaleur excessive peut également exacerber des conditions physiques existantes telles que le diabète, l'insuffisance respiratoire, les maladies cardiovasculaires, cérébrovasculaires, neurologiques et rénales. Les effets peuvent être graves et peuvent parfois entraîner la mort. (Giguère, 2009) Il est prévu que l'augmentation des températures et du phénomène d'ICU entraînera, au Québec, une hausse de la mortalité et la morbidité. (Ouranos, 2014). À Montréal, la mortalité estivale pourrait augmenter de près de 2 % d'ici 2020 et de 15,8 d'ici 2080 si aucune mesure d'adaptation n'est mise en place. (Doyon, et autres 2006).

Durant, les épisodes de chaleur, le nombre d'appels aux services d'urgences augmentent. (Roy et autres, 2011). En 2010, durant la vague de chaleur de 5 jours, le rapport du coroner indiquait que 93 morts dans la communauté métropolitaine de Montréal étaient attribuables aux températures record. (Roy et autres, 2011). La figure 1.9 démontre l'augmentation du nombre de décès sur le territoire métropolitain de Montréal lors de la canicule de 2010. En période de chaleur accablante, l'augmentation du nombre de cas reliée au problème cardio-vasculaire peut être de 13 à 90 %, au problème respiratoire de 14 % et les problèmes cérébrovasculaires de 6 à 52 % (Knowlton et autres, 2009).



**Figure 1.8 Décès dans la communauté montréalaise lors de l'été 2010** (tiré de Roy et autres, 2011, p.11)

De plus, sont associés aux épisodes de vague de chaleur des épisodes de smog. La chaleur apporte quantité de COV et particules dans l'air qui restent en suspension. En plus des activités industrielles urbaines, les COV peuvent aussi provenir des immeubles, des matériaux de construction et du béton bitumineux qui est chauffé par le soleil. (CREM, 2008) Ainsi, lors d'épisode de smog, le taux de mortalité, principalement chez les populations à risque, peut augmenter d'environ 6 % (Pena et Arrau, 2010)

### **1.5 Mesures atténuant les effets ICU**

Suite aux recommandations de l'Organisation mondiale de la santé, à travers le monde, les agences de santé ont mis en place diverses interventions pour lutter contre les effets de la chaleur accablante et des îlots de chaleur urbains. Le Québec n'échappe pas à cette tendance. (Giguère, 2009) La vulnérabilité des populations aux effets des ICU sert à établir le risque que peuvent engendrer les ICU. Pour diminuer le risque, il est possible d'une part de tenter diminuer le phénomène et d'autre part de diminuer la vulnérabilité des populations. Idéalement, dans un plan d'adaptation, les deux types de mesures vont de pair afin de limiter l'impact des ICU.

#### **Mesures palliatives à court terme**

Les secteurs urbains présentant des ICU sont souvent des secteurs avec un taux de défavorisation et donc une population plus à risque de subir les effets des ICU. (Gendron Bouchard, 2013) À Montréal, des mesures de sécurité publique et de santé publique sont instaurées afin de réduire la vulnérabilité thermique des populations résidant dans ces secteurs. Ces mesures sont répertoriées dans divers plans d'action. Par exemple, l'Agence de santé et de services sociaux de Montréal (ASSSM) met à jour annuellement son plan régional de prévention et de protection en cas de chaleur accablante ou extrême. Ce plan sert à coordonner les efforts des institutions de santé sur l'île lors de période de chaleur. Il rassemble une multitude d'actions permettant de limiter la vulnérabilité thermique des populations à risque. Les mesures sont diverses. Il peut s'agir d'un appel téléphonique aux personnes seules afin de s'assurer de leur condition, le transport des populations vulnérables vers des lieux climatisés ou vers des infrastructures aquatiques. Ces mesures ont pour objectif de diminuer le nombre d'hospitalisation ou de décès attribuables à la température. Le centre de sécurité civile de la ville de Montréal s'est doté d'un plan. Ce plan a été créé en 2003, suite aux événements de la canicule en France. Toutefois, ce n'est que suite à la canicule de l'été 2010 que le plan montréalais a été mis en place. (Ville de Montréal, s.d.) En fonction des niveaux de risques, des actions telles qu'encourager la population à se rendre dans les lieux

publics climatisés sont instaurées. (ASSSM, 2014) Toutefois, ces actions et mesures ne règlent pas nécessairement le problème à la source et doivent être activées à chaque évènement.

### **Mesure d'aménagement**

Afin de limiter la formation d'ICU et augmenter le confort thermique de la population, des aménagements réduisant le phénomène d'ICU peuvent être implantés. Les principes de base sont d'augmenter la quantité de végétation, de diminuer les surfaces absorbant la chaleur ou leur efficacité à l'absorber. Il est reconnu que la végétation urbaine est un moyen efficace et économique pour limiter les effets des ICU. (Solecki et autres, 2005)

Pour augmenter la quantité de verdure, plusieurs méthodes peuvent être utilisées telles que la foresterie urbaine, les toits verts ou encore les murs végétaux. À ce jour, la plantation d'arbres en parc, en carré de trottoir ou en cour arrière, reste la plus simple, la moins coûteuse et la plus rentable. (DGPV, 2012) Les arbres urbains peuvent aider à rafraîchir, assainir l'air et ils absorbent des quantités d'eau de ruissellement. Ils contribuent à augmenter la valeur d'une propriété et peuvent influencer le moral de la population. Les bénéfices de l'arbre en ville sont connus depuis longtemps. Le parlementaire John Evelyn au 17<sup>e</sup> siècle avait reconnu que les arbres ainsi que la morphologie urbaine pouvaient influencer la qualité de l'air de Londres. Après le grand incendie de 1666, il avait fait des recommandations pour la plantation massive d'arbre dans la ville de Londres. (Grimmond, 2011).

Autrement, les revêtements à albédo faible absorbent la chaleur des rayons de soleil durant le jour et selon leur capacité de stockage continue de chauffer l'air même après le coucher du soleil. Parmi ces surfaces, les toitures des bâtiments représentent une superficie d'environ 10 % à 15 % de toute la superficie d'une ville. (Rettner, 2009)

Finalement, les revêtements verticaux des bâtiments peuvent absorber beaucoup de chaleur. Les revêtements extérieurs naturels, à albédo élevé, ou le verdissement des surfaces est aussi bénéfique pour limiter l'impact des ICU. Cette mesure aide à diminuer une des causes des ICU soit l'effet de masse thermique des bâtiments. Les différents aménagements réducteurs de chaleur font principalement l'objet du chapitre suivant.

### **Mesure visant la réduction de la pollution atmosphérique et des GES**

Étant donné que la qualité de l'air joue un rôle important dans l'amplitude des effets des ICU, les mesures visant la réduction des émissions contribuent à la réduction du phénomène. Toute diminution aurait des effets bénéfiques sur la lutte aux ICU et sur la qualité de l'air urbain. Le transport reste l'activité des principales activités émettant des GES et responsable de 50 % de la chaleur anthropique. (Sailor et Lu, 2004)

Pour diminuer les effets des ICU, il est préférable de travailler sur trois volets : les mesures de sécurité civile en prévention directe à court terme, à moyen terme les aménagements réducteurs, à long terme la diminution de l'émission de GES ainsi qu'un plan d'urbanisation à long terme. En combinant ces mesures, la diminution du phénomène ainsi que la vulnérabilité des populations sont prises en compte. Sachant que les changements climatiques apporteront des vagues de chaleur et des hausses de températures de plus longue durée et à des températures plus élevées, il devient des plus pertinents d'adapter l'urbanité à ses changements. Le tableau 1.4 présente les avantages, les désavantages ainsi que les bénéfices associés aux différentes mesures permettant la réduction des ICU.

**Tableau 1.4 Sommaire des mesures typiques de réduction des effets des ICU en liens aux 4 causes des ICU : avantages, co-bénéfices, et désavantages**

Mesures	Causes	Avantage et co-bénéfices	désavantage
<b>Verdissement et plantation d'arbres</b>	<p>La masse thermique des bâtiments et des revêtements.</p> <p>La chaleur anthropique et la pollution</p> <p>Diminution ou absence de couvert végétal</p>	<p>Augmente le confort thermique (Bélanger Michaud, 2013)</p> <p>Cout faible.</p> <p>Améliore la qualité de l'air.</p> <p>Meilleure gestion des eaux de ruissellement.</p> <p>Améliore la qualité des espaces.</p>	Nécessite un entretien
<b>Diminuer les surfaces à albédo faible</b>	La masse thermique des bâtiments et du revêtement	<p>Diminue les températures ambiantes.</p> <p>Améliore la durabilité des matériaux.</p> <p>Aide à la climatisation</p>	<p>Couts élevés.</p> <p>Technologie émergente.</p>
<b>Réduction de la pollution atmosphérique</b>	La chaleur anthropique et la pollution	<p>Diminution de l'amplitude des ICU</p> <p>Améliore la qualité de l'air.</p> <p>Diminue les épisodes de smog.</p>	Exigeant en mesure de contrôles et de suivi.
<b>Mesures palliatives à court terme</b>	La masse thermique des bâtiments et des revêtements. La chaleur anthropique et la pollution. Diminution ou absence de couvert végétal. Variable incontrôlable	Diminue le risque sur les populations vulnérables lors d'épisode de chaleur.	<p>Ne résous pas le problème à la source.</p> <p>Suivi exigeant.</p>

## 2 S'ADAPTER, IMPLANTER ET AMÉNAGER

*« L'adaptation aux changements climatiques est un processus par lequel les communautés et les écosystèmes s'ajustent aux changements et effets associés, afin de limiter les conséquences négatives et de profiter des bénéfiques potentiels. Pour les milieux humains, l'adaptation permet de se préparer aux nouvelles conditions climatiques. » (Ouranos, 2010)*

Quels sont les outils disponibles pour permettre de mieux préparer les villes au CC et aux ICU? Afin de planifier l'adaptation au CC, les municipalités peuvent produire un plan d'adaptation permettant de définir les différentes mesures d'adaptation. À l'intérieur du plan d'adaptation, il est possible d'établir certaines mesures à mettre en place. Dans ce chapitre, il sera question de la planification à l'adaptation au CC et plus spécifiquement au phénomène d'ICU. Il sera aussi question des différents types d'aménagement permettant d'atténuer les effets des ICU, leurs potentiels de rendement ainsi que les incitatifs à leur mise en place.

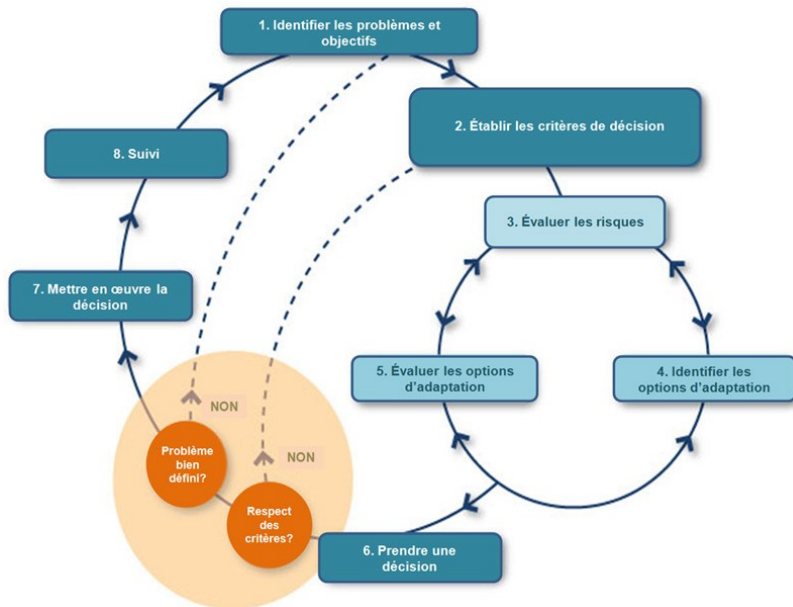
### 2.1 Plan d'adaptation

La contribution du deuxième Groupe de travail au 5e rapport sur l'évolution du climat du GIEC s'est orientée sur l'évaluation de la gestion des incidences des CC sur les systèmes naturels et humains. Le rapport traite de la résilience au CC, entre autres, en y examinant « les moyens de réduire et de gérer les incidences et les risques liés au changement climatique à l'aide de mesures d'adaptation et d'atténuation. » (GIEC, 2014) Les risques associés au CC tel que le stress thermique, les inondations, la pollution atmosphérique ou encore les pénuries d'eau sont amplifiés pour les populations qui n'ont pas accès aux infrastructures ou aux services d'adaptation. (GIEC, 2014) Étant donné que les risques associés aux CC affecteront majoritairement les zones urbaines la mise en œuvre de mesures d'adaptation permet de favoriser la résilience des villes et de la population aux CC. (GIEC, 2014) Un processus d'adaptation doit permettre l'identification des impacts anticipés, leurs risques potentiels, et trouver les options d'adaptation. (Ouranos, s.d.) Les interventions nécessaires sur un territoire afin de limiter les effets des CC, dont les ICU, doivent être planifiées, maximisant ainsi la capacité des systèmes humains à s'adapter (GIEC, 2014).

Le cadre de l'adaptation peut prendre plusieurs formes et plusieurs outils ont été développés à travers le monde. (Ouranos, s.d.) Ces cadres comportent des étapes différentes, mais convergent vers les mêmes objectifs, c'est-à-dire l'identification des problématiques, les mesures d'adaptation et le suivi d'implantation et de résultats de celles-ci. *The United Kingdom Climate Impact Programme* a développé



plusieurs outils à l'adaptation aux CC. (Ouranos, s.d.) La figure 2.1 illustre les huit principales étapes visées dans un processus d'adaptation tel que conçu par le programme. (Ouranos, s.d.)



**Figure 2.1 Principales étapes dans un cadre d'adaptation au CC adapté de l'anglais** (tiré de : Ouranos, s.d.)

La plupart des pays ont maintenant amorcé ou implanter des cadres, plans ou des politiques d'adaptation aux CC. (GIEC 2014) En Europe, plusieurs politiques d'adaptation, en lien, par exemple, avec la gestion côtière ou l'aménagement du territoire, sont implantées à plusieurs niveaux dans les administrations publiques. (GIEC 2014) En Amérique du Nord, il est préconisé, par les autorités publiques, que la démarche de planification des mesures d'adaptation soit implantée à l'échelle municipale. (GIEC, 2014) Le Canada ne déroge pas de cette tendance puisque, la responsabilité du plan d'adaptation est assumée majoritairement par les municipalités. Toutefois, « environ 65 % des administrations locales de moins de 5 000 habitants n'ont pas de stratégie d'adaptation en place et n'envisagent pas d'en élaborer une pour le moment. » (PACC, 2014) De plus, des 65 %, « 56 % d'entre elles indiquent que la question de l'adaptation ne fait actuellement pas partie des discussions. » (PACC, 2014) La Colombie-Britannique, suivie de l'Ontario et du Québec, sont les provinces où le plus grand nombre de collectivités ont adopté un plan ou une stratégie visant l'adaptation aux changements climatiques. (PACC, 2014)

Afin de diminuer les risques et de s'adapter des CC, le GIEC « affirme qu'il faut une stratégie équilibrée entre la réduction des GES et l'adaptation aux changements climatiques ». (Ouranos, 2010) Le plan

d'adaptation est un outil permettant de planifier, d'orienter et de prioriser les outils d'adaptation aux CC sur un territoire. Le plan sert à identifier les principaux risques, à les cartographier, à les hiérarchiser et prévoir des mesures nécessaires afin de pallier aux risques pouvant affecter la population, les activités et le territoire des municipalités. (Ouranos, 2010) Il permet aussi de localiser les endroits susceptibles de subir les effets des changements climatiques et de cartographier la vulnérabilité du territoire. L'implantation de stratégies ou de mesures d'adaptation permet de réduire la vulnérabilité des populations et d'influencer la prise de décision quant à l'application des mesures d'atténuation des CC.

Les plans québécois doivent être conçus en fonction de certains principes de base et d'une certaine structure communiquée dans le programme Climat municipalités. Le plan d'adaptation doit contenir entre autres, une synthèse, une introduction, le contexte (physique, administratif) une évaluation des impacts actuels et potentiels, l'analyse des vulnérabilités, l'appréciation des risques, gestion des risques et mesures d'adaptation, échéancier, les moyens pour la mise en œuvre, les mécanismes de suivi et de mise à jour. (MDDELCC, 2014)

Afin d'orienter la production des plans d'adaptation, le consortium Ouranos a conçu des guides et des méthodologies pour leur élaboration en 5 étapes. La première étape est d'évaluer les impacts du climat actuel. Sommairement, cette étape permet d'analyser les facteurs climatiques qui influencent et affectent à ce jour la municipalité. Il peut être intéressant de dégager des expériences du passé qui ont dépassé « la capacité de la population ou de l'administration municipale de les gérer adéquatement » les impacts des CC. (Ouranos, 2010) Ensuite, le consortium Ouranos, indique que la deuxième étape en vue de la mise en œuvre d'un plan d'adaptation est de « définir les impacts potentiels des changements climatiques et analyser les vulnérabilités » (Ouranos, 2010). Cette étape vise la compréhension des vulnérabilités existantes sur le territoire tant sociales, qu'économiques, qu'environnementales. Ainsi les orientations et stratégies à affecter au territoire seront en lien avec les secteurs vulnérables. La troisième étape consiste en la « réalisation d'une appréciation des risques ». (Ouranos, 2010) Cette étape comprend une identification des risques climatiques affectant le territoire, une classification et une priorisation de ceux-ci. La quatrième étape est de « trouver et prioriser des options pour gérer les risques reconnus ». Elle permet d'établir et de hiérarchiser les objectifs d'adaptation. Ensuite, la 5e étape est de « Produire et mettre en œuvre le plan d'adaptation. » (Ouranos, 2010)

Cette démarche, jumelée au contenu type du MDDELCC permet de produire un plan d'adaptation inscrit dans un contexte et sur un territoire donné. Toutefois, un des aspects importants de l'élaboration d'un plan d'adaptation est d'établir des mécanismes de suivi afin de valider la performance du plan et d'ajuster le tir lorsque nécessaire. (Ouranos, 2010)

Plusieurs villes canadiennes ont produit des plans ou stratégies d'adaptation. C'est le cas de Toronto et Vancouver. (City of Toronto, 2014) Au Québec, entre autres, les villes de Trois-Rivières, de Québec et de Sherbrooke ont déjà produit leur plan d'adaptation. Celui de Montréal est en production et devrait être rendu publics à l'été 2015 (Charbonneau, 2014)

## **2.2 Aménagement réducteur d'ICU et potentiel de rendement**

Pour faire face aux ICU, les solutions d'adaptation, à intégrer dans un plan d'adaptation, peuvent prendre plusieurs formes. Un assemblage des trois types de mesures telles qu'identifier précédemment soit, les mesures de sécurité civile en réaction ou en prévention à court terme, les aménagements réducteurs à moyen terme, et la diminution de l'émission de GES pour une prévention à long terme permettent de se prémunir contre les ICU. Seulement, pour contrer le problème, les mesures visant l'aménagement du territoire permettent d'améliorer les conditions climatiques urbaines et sont principalement sous la responsabilité des municipalités. Essentiellement, les principes de base qui sont liés à l'aménagement des villes permettant la réduction des ICU sont d'augmenter la végétation et de réduire les surfaces à albédo faible. (Trottier, 2007) Les mesures de verdissement sont directement en lien avec la notion de biens et services écologiques. Ces mesures permettent à la fois d'augmenter le couvert végétal urbain, d'assainir l'air, d'assurer une gestion efficace des eaux de ruissellement tout en diminuant les risques associés chez les populations vulnérables.

Les principales mesures d'aménagement étudiées dans cette section sont celles dont il est possible d'obtenir beaucoup d'information et dont leur productivité dans la lutte aux ICU est vérifiable. Cette section précise les mesures d'aménagement telles que discuté dans la section 1.5. Les mesures présentées dans ce chapitre sont la plantation d'arbres, la végétalisation des toits et des murs des bâtiments, la végétalisation des surfaces minérales, ainsi que l'emploi de revêtement à albédo faible pour les toitures et les murs des bâtiments.

### 2.2.1 Plantation d'arbres

La plantation d'arbres, adaptée à la ville, est une mesure peu coûteuse, efficace et facile à mettre en place dans un objectif d'amélioration du climat urbain. (DGPV, 2012) En plus de réduire la température de l'air durant la saison estivale, la forêt urbaine apporte plusieurs bénéfices tels que l'amélioration de la qualité de l'air, l'absorption d'eau de ruissellement, l'amélioration du paysage urbain ou encore l'augmentation la valeur des propriétés. (DGPV, 2012) Parmi les effets, l'arbre permet d'empêcher les rayons solaires d'atteindre les surfaces à albédo faible et de réfléchir les rayons solaires. L'arbre mature de diminuer la température et par le fait même les effets des ICU. Aussi, les feuilles des arbres utilisent des rayons infrarouges, pour la photosynthèse et certains des rayons absorbés peuvent provenir de l'irradiation des surfaces à albédo faible. Il faut aussi comptabiliser l'évapotranspiration des arbres dans l'équation permettant de rafraîchir l'air. (Vergriete et Labrecque, 2007) En combinant ces mécanismes, on peut espérer une diminution de la température ambiante de 0,04 à 0,2 °C par pourcentage d'augmentation de la canopée, soit en moyenne de 1 °C par 10 % d'augmentation. (Vergriete et Labrecque, 2007)

La forêt urbaine peut améliorer la qualité de l'air par la séquestration du CO<sub>2</sub>, par l'interception des particules en suspension ou par le captage de polluants atmosphériques en particulier l'ozone ou le dioxyde de soufre. (Vergriete et Labrecque, 2007) Les études sur la séquestration du carbone par les arbres urbains sont nombreuses. Les taux résultant des études varient beaucoup, entre 2,5 et 35/kg par an. (Vergriete et Labrecque 2007) Indéniablement, le taux de séquestration du carbone varie en fonction de plusieurs critères : le type d'espèces, le climat, la taille de l'arbre, leur taux de croissance, le taux d'exposition au soleil et polluants, leur santé, etc. Le taux pour Montréal, selon étude de Dubé (2006), un arbre à grand déploiement, tel qu'un chêne, un érable, un orme ou un tilleul, peut en moyenne séquestrer annuellement près de 11,4 kg/an de tonnes de CO<sub>2</sub>. (Vegriete et Labrecque, 2007)

De plus, la réduction de ces polluants permet aussi la réduction des épisodes de smog et par le fait même aide à diminuer l'ampleur du phénomène d'ICU. Les gros arbres, en santé, ayant un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) plus grand que 77 cm peuvent filtrer près de 1,4 kg de polluant annuellement. (Gaumont, 2007) Les polluants atmosphériques, présents dans l'air urbain, se transforment lorsque les températures sont élevées. En réduisant les ICU, avec notamment l'augmentation de la couverture de la canopée, les polluants subissent moins de transformation et contribuent à améliorer la qualité de l'air. (Vegriete et Labrecque, 2007) L'ozone troposphérique, soit celui mesuré à hauteur d'Homme, est

principalement formé par des réactions photochimiques impliquant les oxydes nitreux (NOx), et les composés organiques volatils (COV). (Gaumont, 2007) Cette réaction nécessite des températures chaudes expliquant l'augmentation de l'ozone en été ou lors d'épisode de chaleur. (Gaumont, 2007) Les études faisant état de la diminution de l'ozone atmosphérique en corrélation avec l'accroissement de la canopée sont nombreuses. Selon Luley et Bond (2002), l'augmentation de la canopée new-yorkaise de 10 % engendrerait une réduction des particules d'ozone de 3,0 à 3,8 %. (Vegriete et Labrecque, 2007) Il est possible de supposer que l'augmentation de la couverture canopée montréalaise de 10% serait associée à une diminution des concentrations en ozone variant de 4,7 % à 6,2 % en fonction du taux de contamination existant dans l'air. (Vegriete et Labrecque, 2007)

Également, les particules en suspension dans l'air affectent l'amplitude des effets des d'ICU et représentent une menace à la santé publique puisqu'elles occasionnent ou aggravent des problèmes respiratoires chez les populations vulnérables. (Gaumont, 2007) Les particules de moins de 10 micromètres (PM<sub>10</sub>) sont des particules fines et les particules de moins de 2,5 micromètres (PM<sub>2,5</sub>) sont considérées comme très fines. Il s'agit principalement des deux types de particules en suspension mesurables lors d'étude de la qualité de l'air. (Gaumont, 2007) Les arbres et végétaux ont la capacité d'intercepter les particules en se collant aux feuilles et aux branches et par la suite, la pluie se charge de les déposer au sol. (Gaumont, 2007) L'air d'une rue sans arbres peut contenir entre 10 000 à 12 000 particules par litre d'air tandis que la rue voisine bordée d'arbres n'en compterait que 3 000. (Gaumont, 2007) Selon la Fondation canadienne de l'arbre, 7 000 particules en suspension par litre d'air peuvent être captées par un arbre mature en bonne santé. (Gaumont, 2007). On estime qu'un arbre mature en milieu urbain peut intercepter près de 20 kg de poussières par année. (Gaumont, 2007). Les conifères auraient un meilleur taux de captation des particules fines dues à leurs aiguilles qui maximise les surfaces de contact de l'air. (Vergriete et Labrecque, 2007)

Afin de concevoir la foresterie urbaine et d'obtenir des résultats probants, l'essence de l'arbre doit être choisie en fonction de plusieurs critères tels que sa capacité à croître dans des conditions urbaines, la qualité du sol, le taux d'ensoleillement, le taux d'humidité, l'espace disponible pour le développement racinaire, etc. Dans un contexte de ville résilience, il est important de varier les espèces introduites sur le domaine urbain afin de limiter les pertes générées par une maladie ou un insecte s'attaquant à une espèce. L'exemple de l'agrile du frêne est pertinent puisqu'à Montréal, le tiers de la foresterie urbaine est composé de frêne qui sera vraisemblablement décimé d'ici les 10 prochaines années. (DGPV, 2012)

### 2.2.2 Végétalisation des surfaces minérales

Les surfaces minérales urbaines, telles que les routes, trottoirs, stationnements occupent une grande partie des espaces urbains. À Montréal, c'est plus de 80 % du territoire qui est recouvert de béton bitumineux et d'infrastructures urbaines. (Vergriete et Labrecque, 2007). Parmi ces surfaces minérales, les stationnements, les rues et les ruelles possèdent un fort potentiel de végétalisation.

La ville de Montréal compte environ 500 kilomètres de ruelles. (RNC, 2014b) Les ruelles de service sont souvent asphaltées et peu invitantes. Ces surfaces d'asphalte, souvent peu utilisées, contribuent à l'effet d'ICU. Tel qu'illustré à la figure 2.2, ces ruelles peuvent faire l'objet de projet de verdissement allant de la ruelle verte classique à la ruelle champêtre. Les bénéfices obtenus sont proportionnels aux taux de végétalisation et de diminution des surfaces asphaltées.



**Figure 2.2 Exemples de ruelles vertes montréalaises : de champêtre à classique** (tiré de : Soverdi, s.d.b)

Les espaces de stationnement sont souvent des espaces imperméabilisés, peu végétalisés et exposés au rayonnement du soleil. Ils sont à eux seuls des espaces à îlots de chaleur. De plus, les stationnements sont des sources importantes de polluants « à cause des véhicules qui, même arrêtés, produisent encore 16 % des émissions de ces gaz. » (Vergriete et Labrecque, 2007) Afin de réduire leur impact négatif sur la chaleur,

il est recommandé que la canopée recouvre au moins 50 % de la surface asphaltée. (Gaumont, 2007) Cette couverture arborée « réduirait la présence des NO<sub>x</sub> et des ROG (hydrocarbures sous forme de gaz organiques réactifs) respectivement de 0,2 et de 2 % (Vergriete et Labrecque, 2007)

Plusieurs outils normatifs sont mis à la disposition des gestionnaires pour favoriser et encadrer l'implantation de stationnement vert. La norme LEED exige que les stationnements des nouveaux bâtiments soient couverts au moins à 60 % de sa superficie. (LEED NC, 2004). Également le bureau de normalisation du Québec a mis sur pied un guide (BNQ 3019-190) sur l'aménagement des stationnements en vue d'une réduction du phénomène d'ICU. Ce guide a pour objectif de donner des lignes directrices et recommandations au concepteur et décideur dans le but d'améliorer la performance technique et de diminuer les effets des ICU. (Bureau de normalisation du Québec, 2013)

### **2.2.3 Végétalisation des bâtiments : toits et murs**

En milieu urbain dense, il n'est pas toujours possible de planter des arbres ou de verdir les rues. Les arbres nécessitent de l'espace pour croître et un système racinaire étendu pour lui permettre d'être en santé. Lors de situation conflictuelle avec le cadre bâti urbain, il est possible de compter sur la végétalisation des surfaces de toits ou de murs. Les plantes installées sur les toits n'accumulent pas de chaleur tandis qu'une toiture noire en accumule beaucoup. Environ 10 à 13 % de la surface des villes sont des toits. (Rettner, 2009) Selon une étude allemande, il est prétendu qu'en verdissant 5 % de tous les toits et murs d'une ville, le climat urbain serait sain. (Parmentier, 2010)

Pour les toitures, les systèmes de verdissement sont multiples et depuis plusieurs années les bénéfiques ont été prouvés. Les toitures vertes peuvent être conçues en système extensif ou intensif. La différence se situe globalement dans la quantité de terreau. Un système extensif est composé de substrat mince (5 à 20 cm) donc, l'apport en eau ainsi que le choix des végétaux sont limités. (Trottier, 2007). Un système intensif possède un plus sol épais (20 cm et plus), souvent muni d'un système d'irrigation offrant des conditions de croissance plus faciles et donc une plus grande variété de plantes et mêmes d'arbres. (Trottier, 2007). Pour le bâtiment québécois, l'avantage d'une toiture verte tant intensif qu'extensif se situe majoritairement dans une diminution de la demande en climatisation l'été ainsi qu'une prolongation de la membrane d'étanchéité étant donné qu'elle est protégée des UV et intempéries par une couche de végétation. (Cosgrove et Spino, 2015). En ce qui concerne la lutte aux ICU les deux systèmes de toitures vertes s'équivalent en termes de bénéfiques sur la température. La différence

qu'apporte un système envers l'autre est en lien avec l'apport de la plantation et de l'absence d'absorption solaire par les matériaux de toiture. (Vergriete et Labrecque, 2007)

Malgré le fait que la toiture végétale apporte plusieurs bénéfices environnementaux, au Québec, ces structures sont marginalisées. Ils sont essentiellement présents sur le toit des édifices institutionnels ou publics. Ce manque de popularité s'explique possiblement par peu de réduction des coûts pour le chauffage et l'économie d'énergie est principalement reliée aux frais de climatisation l'été. (Cosgrove et Spino, 2015) Également, le poids de l'infrastructure de la toiture verte, cumulé au poids de la neige fait en sorte que la majorité des structures ne peuvent supporter cette charge puisqu'ils sont conçus pour supporter uniquement le poids de la neige (Marchal, 2012)

En plus des toits, les murs des constructions exposées au soleil peuvent faire l'objet d'une de végétalisation soit par des plantes grimpantes ou par des murs végétalisés. Les murs végétalisés sont des structures où les plantes poussent dans un substrat placé à la verticale, long d'un mur. Il s'agit d'une solution de verdissement efficace, mais coûteuse et demandant beaucoup d'entretien. (Bernier, 2011) La plantation de plantes grimpantes semble être une solution de verdissement des parois verticales avantageuse, et peu coûteuse. Cette solution offre sensiblement les mêmes avantages environnementaux qu'un mur végétalisé. Tout comme les toitures vertes, l'effet recherché est avant tout lié à la surface couverte plus qu'à la densité du couvert végétal. (Vergriete et Labrecque, 2007). Les plantes grimpantes, implantées sur les façades ensoleillées (sud, sud-ouest) peuvent réduire les fluctuations de température du mur de 50 %, et ce quotidiennement. Un mur ainsi recouvert ne dépasse pas les 30 °C, et ce même en période de canicule. Alors que le même mur non végétalisé peut atteindre 60 °C. (Vergriete et Labrecque, 2007). Il est évalué qu'au Québec, les réductions annuelles de GES que peuvent offrir un mur vert sont de 123,2 kg/kWh au Québec et que le potentiel de rafraîchissement du mur vert serait de 33 %. (SCHL, 2007) La figure 2.3 illustre les deux types de végétalisation des murs soient le mur végétal et le mur couvert de plantes grimpantes.





**Figure 2.3 Exemple d'un végétal et d'un mur de plantes grimpantes** (tiré de : éco habitation, 2013)

Autrement, selon l'étude de Sakai, les toits plats accumuleraient 3 fois plus de chaleur que les toits en pente (Sakai et autres 2007). Souvent, en ville, la réglementation urbanistique exige des toits plats.

#### **2.2.4 Revêtement de surface à albédo élevé**

Les surfaces à albédo élevé reflètent les radiations au lieu de les absorber. Plusieurs études ont démontré l'efficacité des revêtements à albédo élevé dans la diminution des températures diurnes pour les secteurs urbains présentant les caractéristiques d'ICU. (Oleson et autres 2010) L'efficacité des toitures blanches contre la lutte aux ICU dépend notamment de la contribution des toitures à revêtement typique dans le phénomène ICU. (Oleson et autres 2010) La figure 2.4 illustre une toiture blanche dans l'arrondissement de Rosemont à Montréal. Les toitures blanches et revêtements extérieurs pâles peuvent toutefois présenter des désavantages pour les villes nordiques en hiver. Les bénéfices obtenus l'été doivent souvent faire l'objet de compensation l'hiver; la facture de climatisation l'été est réduite, mais celle du chauffage l'hiver est augmentée. (Oleson et autres, 2010). Toutefois, par des simulations informatiques, il a été démontré que l'implantation de toiture blanche dans la ville permettrait d'obtenir une réduction de 33 % du phénomène d'ICU. (Oleson et autres, 2010) Cette étude a été menée par des modèles climatiques sur une grande échelle et les résultats sont simulés par un changement d'albédo sur la ville entière. Taha et collègues ont démontré que l'augmentation de l'albédo de surface sur une grande échelle dans 10 villes des États-Unis peut réduire la température ressentie à l'échelle de la canopée de 0,5 à 1,5. Synnefa et collègues ont fait la démonstration que l'augmentation de l'albédo des toits sur une grande échelle a permis de diminuer, en moyenne, l'effet d'ICU de 12 degrés Celsius à Athènes en Grèce. (Oleson et autres, 2010)



**Figure 2.4** Photo d'une toiture blanche dans Rosemont (tiré de : RNC, 2014b)

### **2.3 Incitatif à l'aménagement**

Selon le GIEC, les concepts et outils de planification d'adaptation aux CC sont reconnus. Toutefois, leur mise en œuvre et leur application sont réduites. (GIEC, 2014) La mise en œuvre des mesures d'atténuation, inscrite dans un cadre de planification, est un aspect déterminant dans l'adaptation au CC et aux ICU. Même si l'aménagement du territoire est de compétence municipale, les CC affectent plusieurs systèmes ou services publics, tels que la santé, les travaux publics, ou encore l'approvisionnement et le traitement des eaux. Ainsi, l'adaptation concerne plusieurs niveaux décisionnels et, pour favoriser la mise en œuvre de projet visant la réduction des ICU, des incitatifs réglementaires ou financiers doivent généralement être proposés aux municipalités.

Les aménagements visant la réduction des ICU sont souvent plus coûteux que les aménagements urbains traditionnels. De multiples programmes existent dans le monde de même qu'au Canada afin d'inciter ou d'obliger des aménagements réducteurs d'ICU.

### **2.3.1 Gouvernement, villes et municipalités**

Pour inciter les municipalités canadiennes à se doter d'un plan ou d'une stratégie d'adaptation, les paliers supérieurs de gouvernement soutiennent financièrement les initiatives et favorisent la mise en œuvre de plan d'adaptation. Le ministère des Ressources naturelles a mis en place le programme d'Initiatives de collaboration pour l'adaptation régionale (ICAR). (RNC, 2014) Le programme permet d'aider les communautés à se prémunir des CC en partageant les frais de mise en œuvre des mesures coordonnées. (RNC, 2014) Le budget de 30 millions de \$ sur 3 ans est divisé parmi les six Initiatives de collaboration. Les Initiatives sont divisées en fonction des grandes régions Canadiennes soit la Colombie-Britannique, les Prairies, l'Ontario, le Québec, les provinces de l'Atlantique et le nord du Canada. (RNC, 2014). De cette façon, les mesures sont ciblées sur les problématiques territoriales et les orientations à grandes échelles sont essentielles dans l'adaptation au CC.

Au Québec, à l'intérieur du plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques, les municipalités québécoises avaient recours au programme climat municipalité du MDDELCC afin d'obtenir un support financier à la production d'un plan d'adaptation. (MDDELCC, 2006) Celui-ci ayant pris fin en 2012, les municipalités peuvent maintenant se tourner vers un nouveau programme soit le plan d'action 2013-2020 sur les sur les changements climatiques. Mis en place dans le but de poursuivre les objectifs du programme Climat municipalités, il permet d'aider les municipalités, qui souhaitent investir dans le développement durable de leurs collectivités dans un contexte de changements climatiques. Le programme compte plusieurs éléments dont, entre autres, l'aide à la mise en place d'un plan d'adaptation aux changements climatiques. Ce plan doit inclure tous les acteurs municipaux (institution, entreprises, citoyens, organisations) à faire face au CC sur le territoire. Les municipalités souhaitant adhérer au programme pourront bénéficier d'un soutien financier pour la conception d'outils de planification et d'aménagement. (MDDELCC, 2013)

Les gouvernements provinciaux ainsi que le gouvernement fédéral canadien se sont engagés financièrement dans l'aide aux municipalités à la planification de l'adaptation au CC. Étant donné que l'aménagement du territoire relève de la compétence des municipalités, les incitatifs financiers à la mise en œuvre sont plus importants au niveau municipal.

Les villes et municipalités sont mandatées par les différents organismes, publics ou parapublics, tels que les Agences de la santé et de services sociaux (ASSS) afin de mettre en place des mesures d'adaptation

aux CC et aux ICU par, entre autres, la plantation d'arbres, le verdissement des toits, des murs, la diminution des aires de stationnement et l'utilisation de matériaux à albédo élevé dans la construction d'immeubles. (Ouranos, 2010)

La réglementation municipale peut jouer un rôle important dans la mise en œuvre de mesures d'adaptation aux ICU. Il existe plusieurs exemples de réglementation encadrant la mise en œuvre de toit vert sur la planète. Par exemple, la ville de Tokyo possède un règlement municipal obligeant les nouveaux bâtiments privés de plus de 1000 mètres carrés et les bâtiments publics d'au plus 250 mètres carrés à se doter d'un toit vert sur au moins 20 % de la superficie de la toiture. (Boucher, 2006) Depuis 2010, Toronto devient la première ville nord-américaine à imposer des toits verts pour tout nouveau bâtiment industriel, commercial ou résidentiel de plus de 2000 mètres carrés de plancher. (Novae, 2014) La surface exigée recouverte d'un toit vert est proportionnelle à la surface du bâtiment allant de 20 à 60 %. (City of Toronto, 2014).

De pair avec la réglementation des politiques incitatives peuvent être mises en place. Certains exemples inspirants, pour l'aménagement des toits verts, ont été exécutés en Europe. D'abord, en Allemagne, treize municipalités ont réduit les frais reliés à la gestion des eaux pluviales et ces réductions de coûts ont été redistribuées aux bâtiments où des toits verts ont été installés. (Boucher, 2006) En Autriche, la ville de Linz a, depuis 1989, encouragé la mise en œuvre de plus de 200 toits verts en payant jusqu'à 30 % de la facture d'aménagement. (Boucher, 2006) Les 3066 mètres carrés de toiture de l'hôtel de ville de Chicago ont fait l'objet de l'aménagement d'un toit vert. Les températures des journées chaudes sur le toit sont passées de maximum de 74 degrés Celsius à des températures variant entre 29 et 38 °C (Boucher, 2006) À Montréal, l'arrondissement Rosemont-Petite-Patrie a été précurseur en adoptant, en 2011, une réglementation exigeant maintenant des toitures blanches ou vertes pour toutes les nouvelles de toitures et pour les réfections complètes de toiture. (Dumont, 2014)

La lutte aux stationnements conventionnels va de pair avec la lutte aux ICU. (Boucher, 2013) Les municipalités peuvent jouer un rôle important dans la mise en œuvre de stationnement plus vert par l'adoption de règlements. Les municipalités ont le pouvoir d'exiger la délivrance d'un permis pour des travaux d'aménagement ou de réaménagement de stationnement. (Boucher, 2013) Leur taille, le nombre de cases, leur végétalisation, le choix du revêtement, peuvent s'inscrire à l'intérieur d'une réglementation. (Boucher, 2013) L'arrondissement Rosemont-Petite-Patrie a intégré 3 règlements visant

l'aménagement des stationnements. D'abord, un minimum de 15 % de la superficie d'une nouvelle aire de stationnement de 10 places et plus doit être un terrain libre aménagé avec des plantes, des arbustes et des arbres. Ensuite, les revêtements utilisés pour la construction de tout nouvel espace de stationnement ou pour toute nouvelle aire de chargement ou d'entreposage doivent posséder un indice de réflectance solaire d'au moins 29. (Boucher, 2013) À titre d'exemple, l'asphalte a un indice de réflectance solaire de 5 et un toit blanc de 51. (CREM, 2008)

### **2.3.2 Rôle de l'intervention communautaire**

Dans la mise en œuvre d'un plan d'adaptation, les municipalités ne peuvent directement intervenir sur le domaine privé. C'est pourquoi les intervenants communautaires peuvent contribuer à la mise en œuvre du plan d'adaptation. Par exemple, la plantation d'arbres, sur le domaine public, est une tâche qui revient aux municipalités. À Montréal, le plan canopée prévoit la plantation de 300 000 arbres répartie sur 10 ans. Pour atteindre les objectifs de 300 000 arbres en 10 ans, la collaboration des propriétaires privés est souhaitée. (DGPV, 2012) La ville de Montréal a confié la coordination de la plantation de 180 000 arbres sur le domaine privé à la Société de Verdissement du Montréal Métropolitain (SOVERDI). (DGPV, 2012) La SOVERDI, organisme communautaire à but non lucratif, tente de mobiliser les Montréalais à planter plus 180 000 arbres au cours des 10 prochaines années, et ce sur les terrains résidentiels privés, dans les cours d'école, dans les espaces commerciaux ou institutionnels. (Soverdi, s.d.a)

Les intervenants communautaires peuvent aussi jouer un rôle d'accompagnateur dans le cadre de projet de verdissement du domaine privé. À Montréal, les projets de ruelles vertes sont dirigés d'abord par les citoyens. Les ruelles étant généralement du domaine public, l'approbation de l'arrondissement est nécessaire. (RNC, 2014b) Près d'une centaine de ruelles vertes ont vu le jour depuis 1995 à Montréal. (Regroupement éco quartier, 2015) Le financement pour la mise en œuvre de ruelles vertes provient de diverses sources et l'écoquartier apporte un support au groupe de citoyens souhaitant aménager leur ruelle verte (Regroupement éco quartier, 2015)

Ces initiatives communautaires permettent de bonifier l'implantation d'aménagement municipal et ainsi contribuer à la mise en place de mesures d'adaptation. Le verdissement communautaire préconise des implantations de petits projets dans des secteurs à population vulnérable. Les projets de verdissement impliquant les résidents sont souvent un très grand succès public. Les citoyens sont des acteurs utilisant

le territoire et le suivi des projets de verdissement communautaire est plus facile puisque les gens y demeurent et voit l'évolution du projet. (Charbonneau, 2014)

### **2.3.3 Objectif d'aménagement**

Toutes les mesures d'aménagement réducteur d'ICU ainsi que les incitatifs à l'aménagement doivent s'inscrire dans un cadre tel qu'un plan d'adaptation dont l'objectif principal est de réduire les effets et les impacts des CC sur le territoire et sur les populations. Cette grande intention doit pouvoir se décortiquer en objectif quantifiable. Afin de mesurer la progression, l'implantation et l'efficacité des interventions, il est nécessaire de fixer les objectifs mesurables. (Ouranos, 2010)

Par exemple, plusieurs municipalités canadiennes se sont fixées des objectifs de plantation. La ville de Vancouver s'est fixée l'objectif de planter 150 000 arbres publics d'ici 2020. (City of Vancouver, 2014) Ou encore la ville de Montréal, grâce au plan canopée, s'est fixé un objectif de plantation de 300 000 arbres sur 10 ans dont 98 000 arbres sur le domaine public. (DGPV, 2012)

L'implantation d'aménagement réducteur de chaleur permettra d'obtenir des résultats quant à la diminution des effets des ICU. La réduction de ses effets peut aussi faire partie des objectifs élaborés dans le cadre du plan d'adaptation. Toutefois, les objectifs élaborés dans le cadre de la diminution des impacts des ICU doivent être évalués en fonction des hausses indéniables des températures que les CC apportent. Les objectifs doivent être conçus en relation avec de la situation actuelle et en fonction du statu quo. (Webster et autres, 2008) Les objectifs mesurables doivent être accompagnés d'indicateurs de performance. L'élaboration des indicateurs servira à suivre la progression des interventions du projet d'adaptation.

### 3 INDICATEURS POTENTIELS ET SUIVI DES MESURES

Une fois les mesures d'atténuation identifiées et mises en place, comment mesure-t-on la progression des effets des ICU? Comment est-il possible de valider si les mesures mises en place fonctionnent? Le chapitre suivant étudie les différents indicateurs de performance de la mise en place d'aménagement réducteur des effets des ICU. D'abord, il faut déterminer ce qu'est un indicateur et à quoi il sert. Ensuite, les indicateurs identifiés sont séparés en 2 catégories : les indicateurs directs et indirects. Parmi les indicateurs directs, la température et les indices de verdissement sont à l'étude. Ces indicateurs sont en liens directs avec les causes des ICU. Les indicateurs directs sont issus des outils de mesures des ICU, tels que développer au chapitre 1. Parmi ceux-ci, la température et le taux de croissance des végétaux et surface végétalisée sont étudiés. En ce qui concerne les indicateurs indirects, ils proviennent des effets qu'entraînent les ICU, soit la santé, la densification des populations, la qualité de l'air. L'élaboration de ces indicateurs pourrait permettre d'évaluer la performance et le taux d'implantation des aménagements visant la réduction des ICU.

Tout d'abord, il est important d'expliquer l'importance des indicateurs dans la mise en œuvre d'un plan d'adaptation au CC. Le GIEC affirme que l'adaptation au CC s'est limitée à l'élaboration des risques associés aux CC, à l'établissement de la vulnérabilité et la planification de l'adaptation. Les outils de planification de l'adaptation aux CC sont reconnus sur une grande partie du globe, mais leur application et leur mise en œuvre sont réduites. (GIEC, 2014) Très peu de gouvernements, de municipalités se sont attardés au processus de mise en œuvre et de suivi des mesures. (GIEC, 2014) Pourtant, la mise en œuvre d'un plan d'adaptation est l'une des étapes cruciales dans l'atteinte de la résilience urbaine. Le plan d'adaptation doit intégrer des méthodes de suivi et des indicateurs afin d'assurer la performance des stratégies implantées. Également, les mécanismes de suivi permettent d'ajuster, de réviser, de bonifier le plan en fonction des objectifs, et ce de façon périodique. (Ouranos, 2010)

Ensuite, afin de suivre la progression de la mise en place des mesures d'adaptation ou d'aménagement, il est pertinent d'identifier des indicateurs permettant de mesurer la différence entre la situation actuelle et la validation de l'atteinte des objectifs du plan. L'indicateur doit permettre de mesurer la progression des impacts en référence à la situation de statu quo et de mesurer l'impact d'une ou plusieurs solutions d'adaptation. (Ouranos, 2008)

Afin de déterminer les indicateurs pour l'adaptation aux CC et ICU, les principes élaborés dans le domaine de la gestion de projet pourraient s'appliquer. Les objectifs ainsi que les indicateurs de performance, dans le cadre d'un projet, doivent répondre à plusieurs critères. Ils doivent pouvoir aider à faire un constat quantifiable et traçable de la situation. Ils doivent pouvoir être mise à jour périodiquement. (Villeneuve, 2013) Idéalement, ils doivent être « SMART » c'est-à-dire, spécifiques, mesurables, atteignables, réalistes et fixés dans le temps. (Villeneuve, 2013) Le tableau 3.1 décrit chacune des caractéristiques d'un indicateur intelligent. L'indicateur intelligent parle de façon efficace et aide à la prise de décision.

**Tableau 3.1 Caractéristique d'un indicateur intelligent** (inspiré de : Villeneuve, 2013, p. 20)

<b>Qualificatif</b>	<b>définition</b>
<b>Spécifiques</b>	Description claire et compréhensible, adaptée au contexte et à l'objectif.
<b>Mesurable</b>	quantifiable en quantité ou en qualité
<b>Atteignable</b>	En lien avec les risques et faisable
<b>Raisonnable</b>	Réaliste
<b>Temporel</b>	Echéancier fixé dans le temps

L'élaboration de ces indicateurs permettra d'évaluer la performance et le taux d'implantation pour l'adaptation aux ICU. Les indicateurs présentés ci-après répondent aux critères SMART. Les impacts physiques de la mise en œuvre de mesure d'adaptation ou d'aménagement réducteur d'ICU doivent pouvoir être quantifiés assez précisément afin de pouvoir répondre aux objectifs du plan. Aussi, les mesures visant la lutte aux ICU doivent être associées à un effet quantifiable sur la population et le territoire. (Ouranos, 2008)

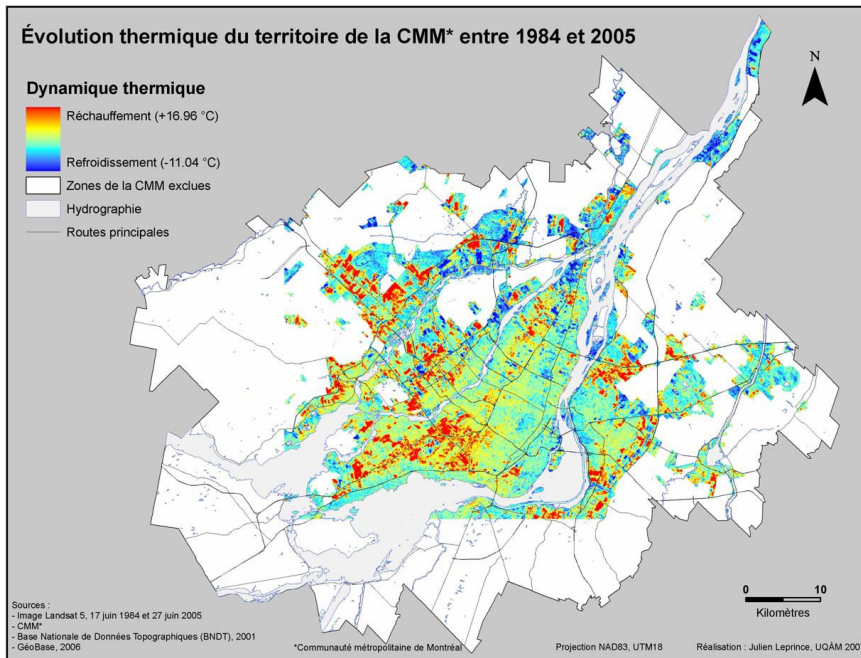


### 3.1 Indicateurs directs

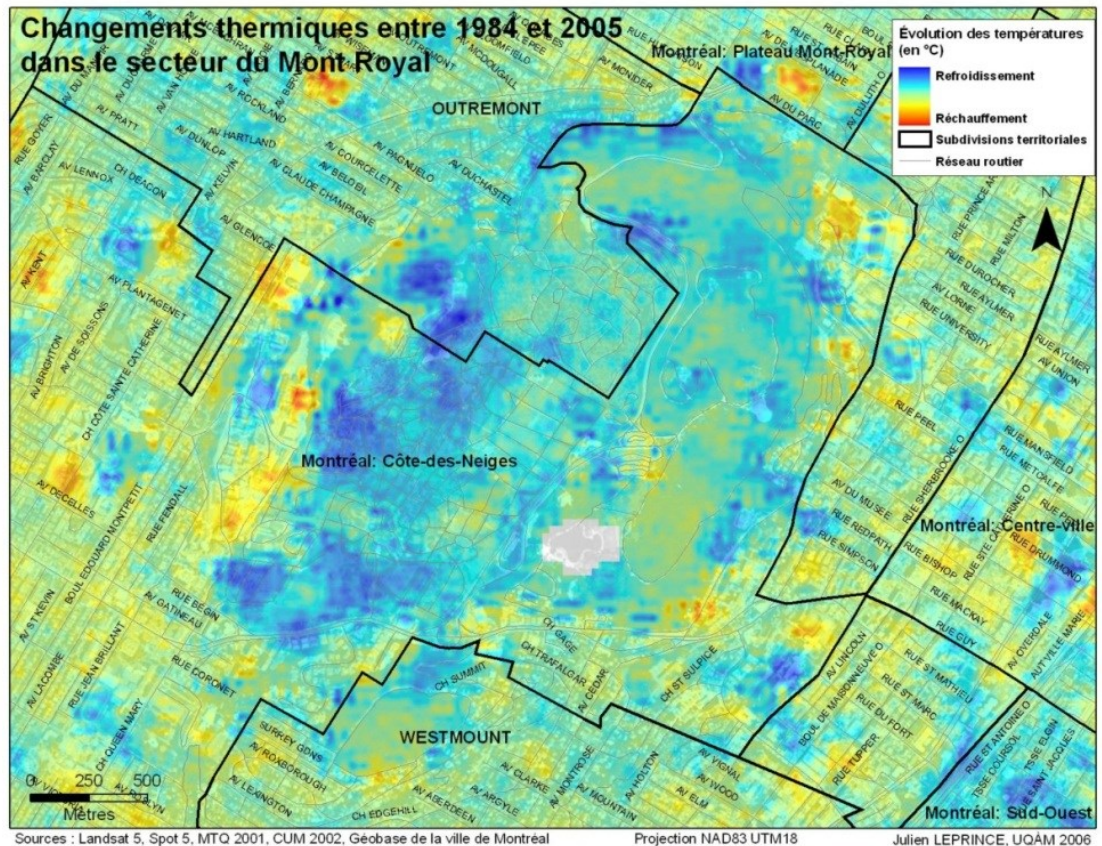
#### 3.1.1 Température et outils de mesure

Selon les modèles climatiques, les températures annuelles augmenteront. À Montréal, le nombre de jours dont la température excédera 35 °C est estimé passé de 10 à 46 dès la première moitié du siècle. (Parmentier, 2010) La température est un indicateur de l'augmentation des ICU, étant donné que les aménagements réducteurs de d'ICU vise la normalisation des températures urbaines.

Pour mesurer l'évolution thermique des ICU, il faut comparer le territoire dans un intervalle de temps donné. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées. L'étude de Streukler, à Houston, a fait la démonstration de la croissance des ICU par la comparaison d'un lot de cartes mesurant les ICU à 12 ans d'intervalle. (Streutker, 2003). L'imagerie satellite a permis de dresser un portrait à grande échelle de la situation thermique de Montréal. La figure 3.1 démontre l'évolution thermique de communauté métropolitaine de Montréal (CMM). Cette cartographie est issue de la comparaison d'imagerie satellite à près de 20 ans d'intervalle. Elle permet, entre autres, d'identifier sommairement les secteurs de progression des ICU. La figure 3.2 de la progression des ICU dans le secteur du Mont Royal sur une période de 11 ans. Elle démontre aussi, avec une précision supérieure, la progression thermique du secteur.



**Figure 3.1 Évolution thermique du territoire de la CMM entre 1984 et 2005** (tiré de : Cavayas et Baudouin, 2008, p.71)



**Figure 3.2** Image satellite illustrant les changements thermiques entre 1984 et 2005 dans le secteur du Mont Royal (tiré de: Baudouin, 2012, p.11)

Afin d’optimiser l’identification des ICU, la mesure de la température devrait impliquer deux méthodes, soit une mesure de la température directe, « par exemple des stations météorologiques ou des traverses automobiles et par une mesure éloignée telle que l’imagerie satellite. L’imprécision du portrait par satellite peut être comblée par des données terrain. (Streutker, 2003) Au Québec, la méthode utilisée par le Gouvernement, afin d’élaborer la cartographie des ICU, a été les températures de surfaces prises par satellites et les cartes d’utilisation du territoire. (CERFO, 2013). En couplant les relevés thermiques aux cartes d’occupation du territoire, il est possible de diriger les efforts et des recommandations en fonction des usages du sol. Les différents climats urbains, tels qu’identifiés dans la théorie du *Local Climate Zone* (annexe 1), nécessitent des objectifs différents pour favoriser la diminution des ICU. Chaque type d’environnement construit de la ville ne peut répondre aux mêmes objectifs d’atténuation puisque les effets des ICU ne sont pas répartis équitablement sur le territoire urbain.

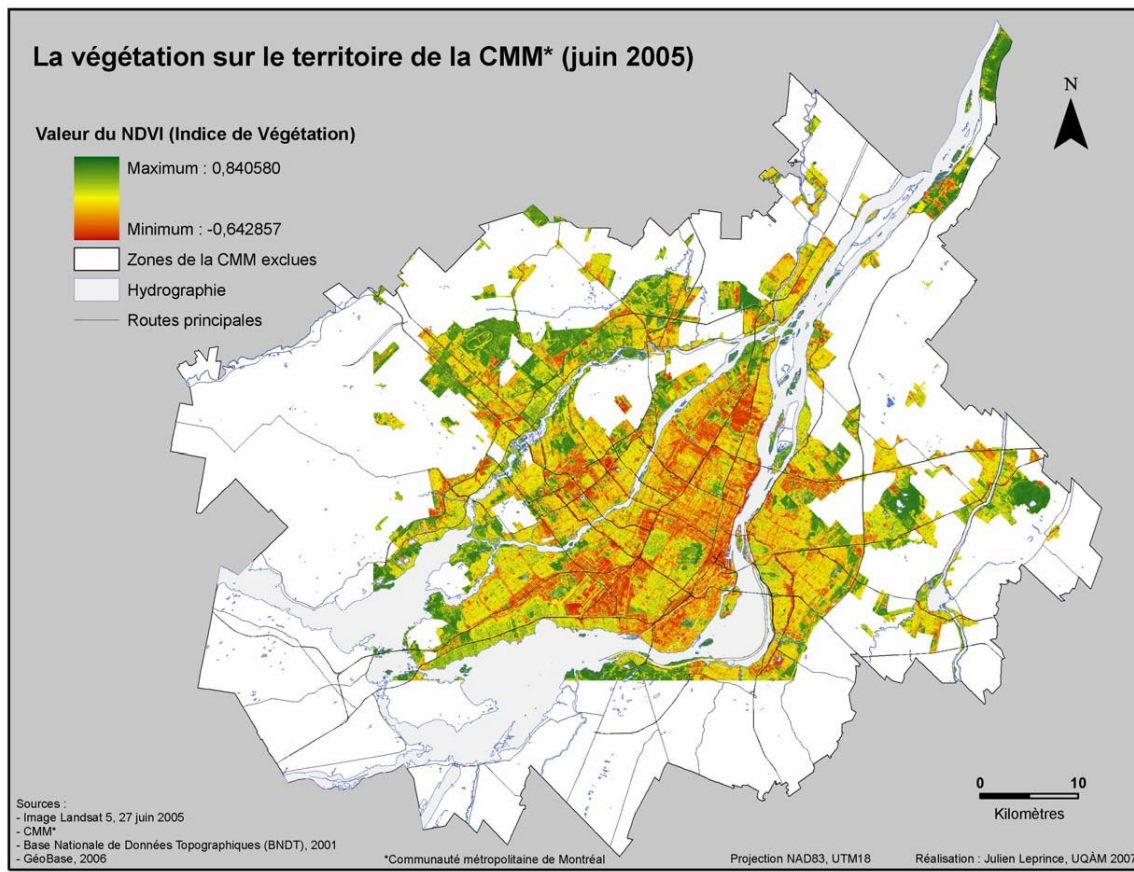
Certaines populations vulnérables, de par leur lieu résidence et leurs conditions, deviennent plus exposées ou à risques de ressentir les effets des ICU. L’étude de Smargiassi a permis d’estimer et de

mesurer les températures intérieures, par heure, de 75 bâtiments montréalais sur les 31 jours du mois de juillet 2005. Les températures intérieures ont été cartographiées grâce à la combinaison d'imagerie satellite et des caractéristiques des bâtiments urbains géo-référencés. Les modèles résultant de l'étude pourraient prédire les températures intérieures pour toute la ville de Montréal. L'utilisation d'un tel outil couplé aux indicateurs sanitaires, discuté un peu plus loin, pourrait aider à préciser les interventions lors de période de chaleur. Également, il pourrait permettre de suivre la progression des ICU de façon très précise. (Smargiassi et autres, 2008)

Finalement, l'indicateur des températures de surfaces doit faire l'objet d'un protocole. Afin de mesurer la progression, les méthodes utilisées pour établir le relevé de comparaison doivent être similaires. Si les moyens par lesquels les ICU sont mesurés venaient à s'améliorer, il serait pertinent de valider les données prises auparavant avec les méthodes actuelles. Ainsi, la méthode utilisée pour mesurer les zones thermiquement vulnérables aux ICU au moment de l'élaboration du plan d'adaptation doit être reproduite, lors de la révision du plan, afin d'obtenir des données comparables.

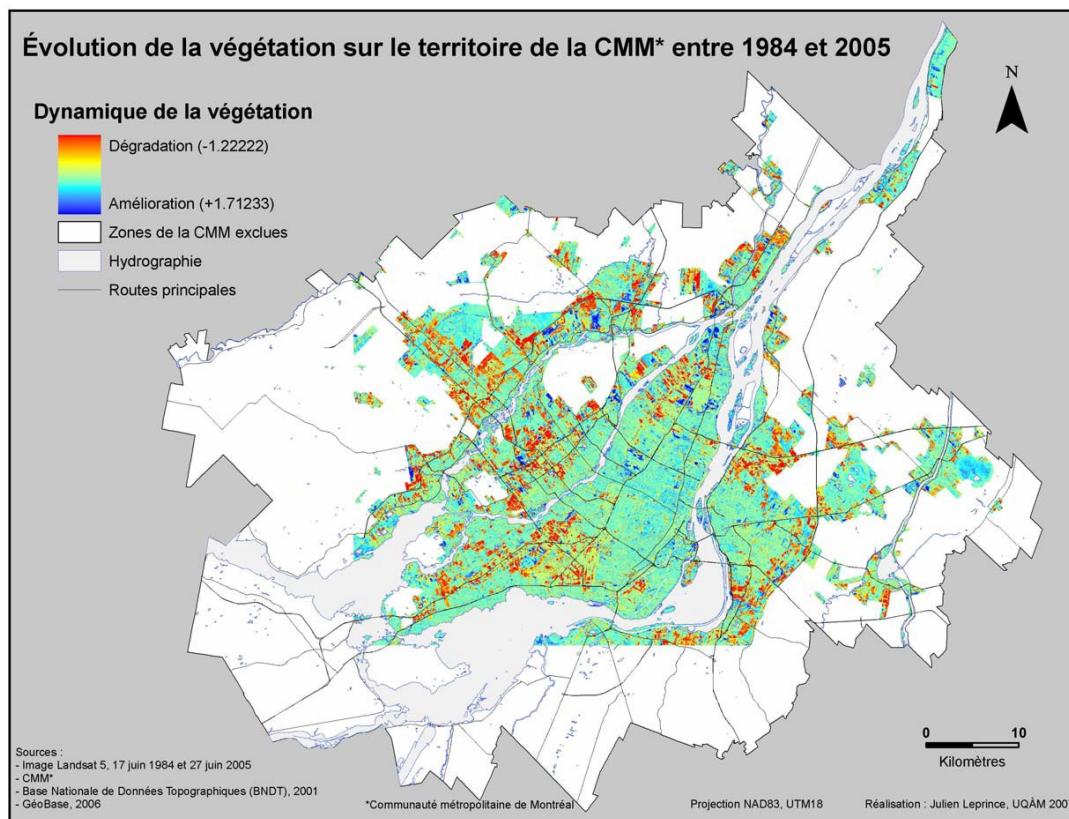
### **3.1.2 Indice de verdissement et mesure de l'évolution de la canopée**

Les îlots de chaleur urbains sont principalement liés à dévégétalisation urbaine. (Reeves, 2011) M. Baudoin et son équipe du département de géographie de l'UQAM ont comparé les données sur la région du Grand Montréal de 1984 et de 2005. L'étude des cartes d'évolution thermique de l'agglomération montréalaise superposées aux cartes de pertes de couvert forestier ont permis d'atteindre un constat clair : la corrélation entre l'augmentation des ICU et la perte de couvert végétal (Reeves, 2011). Afin de valider la quantité de végétation sur le territoire de l'agglomération, le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) est l'indice le plus souvent préconisé. (Cavayas et Beaudouin, 2008) Au moyen d'images satellites auxquelles on applique un filtre, il est possible d'évaluer le NDVI (Jutras, 2015) La valeur du NDVI varie entre -1 et +1. Les indices entre 0 et -1 démontrent l'absence ou la faible présence de végétation, tandis que les valeurs de 0 à +1 indiquent une présence considérable du couvert végétal. (Cavayas et Beaudouin, 2008) La figure 3.3 démontre le NDVI résultant des analyses des photos satellite et aérienne de la ville de Montréal.



**Figure 3.3 Végétation sur le territoire de la CMM (juin 2005)** (tiré de : Cavayas et Baudoin, 2008, p. 72)

En comparant les NDVI à 20 ans d'intervalle, il est possible de constater la progression et la régression de la végétation urbaine. La régression de la végétation urbaine est presque synonyme d'apparition ou d'amplification d'ICU. La figure 3.4 illustre l'évolution de la végétation sur le territoire de l'agglomération montréalaise.



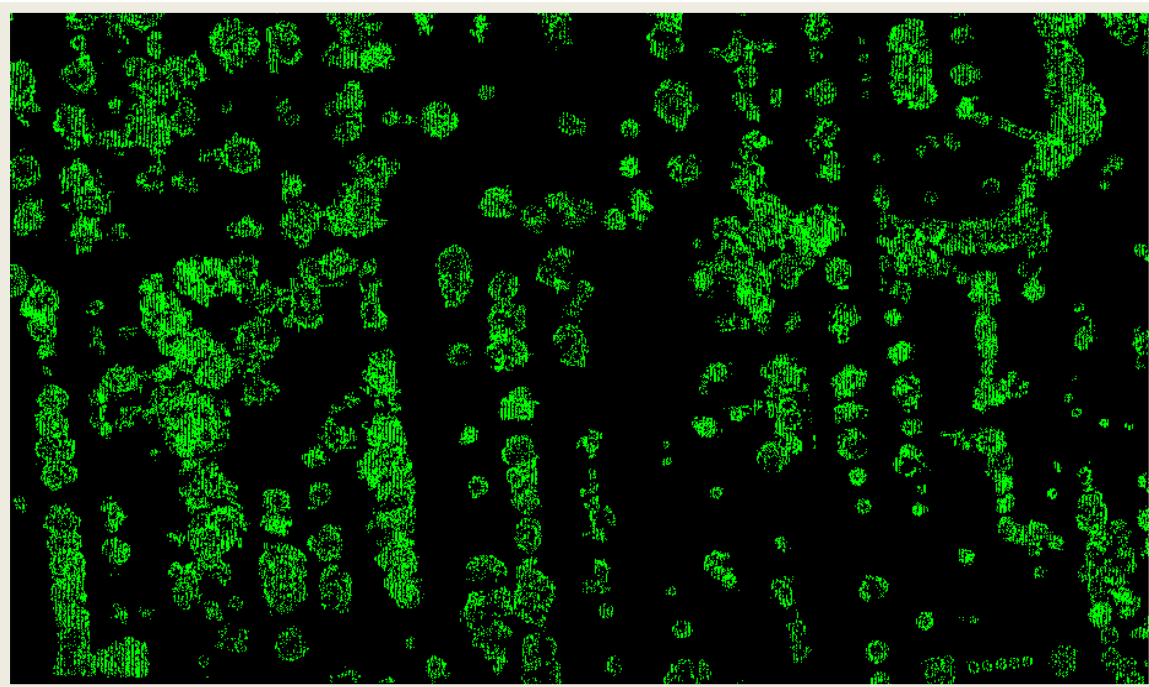
**Figure 3.4 Évolution de la végétation sur le territoire de la CMM entre 1984 et 2005** (Cavayas et Baudouin, 2008, p. 73)

Afin de produire ces cartes, l'imagerie provenant du satellite Landsat a été utilisée. De ces cartes les informations utilisées à l'étude ont été extrapolées. Toutefois, l'imagerie satellite a ses lacunes. Par exemple, l'indice NDVI permet d'identifier une surface végétalisée, mais ne fournit pas une juste estimation de la quantité de végétation ni des espèces végétales existantes. (Cavayas et Baudouin, 2008) Aussi, l'occupation du sol ou l'ombrage des éléments verticaux contribuent à l'imprécision du le NDVI. (Cavayas et Baudouin, 2008) La cartographie issue de l'imagerie satellite permet un dresser un portrait pour l'ensemble de la CMM, mais ne permet pas la précision des images aéroportées.

L'indice de prédilection pour mesurer l'ampleur du couvert forestier est l'indice de canopée. Il est reconnu qu'un indice de canopée élevé permet d'atténuer les effets des ICU et améliore la rétention des eaux de pluie. (Boisvert, 2013) La canopée est la superficie, rapportée au sol, qu'occupe la couronne des arbres, de plus de 3 mètres de diamètre. La couronne de l'arbre représente l'étendue de ses feuilles et ses branches. (Ville de Montréal, 2015) L'indice de canopée permet d'établir le couvert arborescent du territoire et aussi permet de valider la croissance ou la décroissance de la foresterie urbaine. (Jutras,

2015) Puisque l'arbre urbain est soumis à plusieurs stress tels que la pollution, les sels de déglacage ou encore l'espace restreint pour le développement racinaire, la croissance en est affectée. C'est pourquoi l'indice de canopée a dépassé le taux de plantation d'arbres dans la mesure de l'étendue de la forêt urbaine. (Jutras, 2015). L'indice de canopée permet de mesurer la croissance réelle des arbres et ainsi obtenir une meilleure estimation des bénéfices. Il permet également d'obtenir des renseignements indispensables afin de notamment prévenir et identifier, les ICU. (DGPV, 2012) L'indice de canopée permet d'ajouter un niveau de précision supplémentaire au NDVI.

À Montréal, l'indice s'élève à 20,3 % de couverture arborée de la ville. (DGPV, 2012). L'indice de canopée a été mesuré à partir de photo aérienne prise durant l'été 2007. Les images aéroportées de type LIDAR, prises durant la saison estivale ont servi à calculer l'indice de canopée de l'agglomération de la ville de Montréal. Une image LIDAR (Light détection and ranging) est une image, normalement prise par avion et utilisée pour étudier la surface de la Terre. Cette image a été épurée pour en faire ressortir uniquement le végétal. La figure 3.5 est le résultat obtenu de l'image LIDAR corrigée et nettoyée. À partir de cette image, les surfaces couvertes par la végétation ont été tracées afin d'obtenir la superficie de la canopée montréalaise.



**Figure 3.5** Image LIDAR corrigée et nettoyée (Jutras, s.d, p. 34)

L'image LIDAR peut aussi être superposée d'une carte de l'occupation du territoire. La superposition de ses deux cartes permet d'analyser le couvert végétal en fonction de l'utilisation du territoire. Puisque la ville n'est pas homogène et que la densification des infrastructures est inégale à travers le territoire montréalais, il est plus facile de faire des constats et d'ajuster les efforts en fonction du territoire public ou privé ou encore en fonction des usages, résidentiels, commerciaux, institutionnels.

Le plan canopée de la Ville de Montréal a l'objectif d'augmenter d'environ 5 % de la canopée Montréalaise d'ici 2025. (DGPV, 2012) Selon Dr Pierre Jutras, il est préférable de mesurer l'indice de canopée aux 5 ans. (Jutras, 2015) En 5 ans, la croissance des arbres est peu significative, mais suffisamment importante pour valider les objectifs du plan et d'ajuster le tir si nécessaire. (Jutras, 2015).

La méthode employée par la ville de Montréal pour calculer l'indice de canopée possède aussi un niveau d'imprécision. Afin d'assurer un suivi cohérent, il est nécessaire d'utiliser les mêmes paramètres, risques et incertitudes pour la prochaine mesure de l'indice de la canopée. (Jutras, 2015) Le Dr Pierre Jutras travaille notamment à raffiner la méthode de la détermination de la canopée, à trouver des algorithmes qui permettraient d'optimiser la mesure de la canopée et de diminuer l'incertitude de la lecture de photo aérienne LIDAR. Les algorithmes ne sont toujours pas au point, mais si la précision des algorithmes augmente, et que les données se raffinent, afin d'obtenir un comparatif valable, le recalcul de la donnée antérieure avec les standards améliorés pourrait être nécessaire. (Jutras, 2015)

Également, Dr Jutras, travaille à obtenir un relevé 3D de la ville de Montréal afin de diminuer les incertitudes liées à l'étude de la foresterie urbaine par image aéroportée. Le relevé 3D laser, fait à partir du niveau du sol, combiné à l'imagerie aéroportée, permettrait de dresser un portrait exhaustif de l'état de la forêt urbaine public. Le relevé 3D de terrain permettrait de prélever d'autres données telles que les températures de surfaces (murs de bâtiments, pavé trottoir), au niveau de la rue. (Jutras, 2015) Ces images combinées permettraient de dresser un portrait exhaustif de la situation des ICU sur l'île de Montréal.

### **3.2 Indicateurs indirects**

Les indicateurs indirects permettent d'évaluer, entre autres, certains contributeurs à l'accroissement du phénomène et des bénéfices associés aux aménagements réducteurs d'ICU. La mesure de ces bénéfices peut servir d'indicateur de performance pour plusieurs stratégies d'adaptation. Ils peuvent aussi servir à

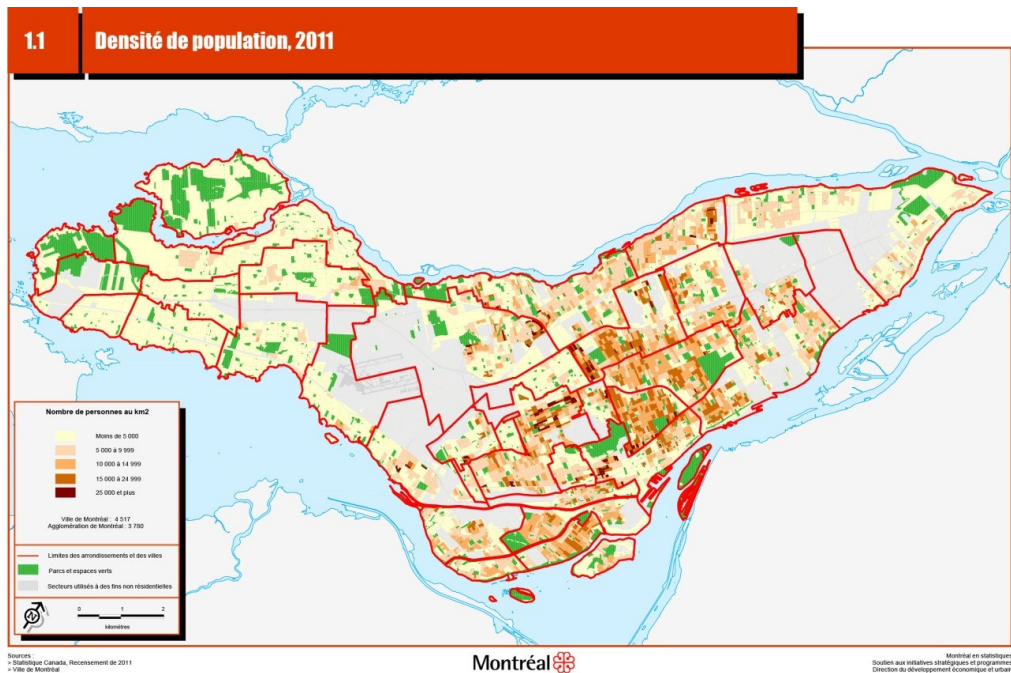
valider d'autres interventions préconisées dans le plan d'adaptation. Les indicateurs indirects ont été sélectionnés en fonction de leur faisabilité et de leur lien avec les aménagements réducteurs d'ICU.

### **3.2.1 Indice de densité de population et urbanisation**

L'augmentation de la population et de l'urbanisation sont souvent précurseur d'augmentation des ICU. Les secteurs peuplés de la ville sont associés aux ICU. (Tairou et autres, 2010) L'occupation du territoire et la progression de la minéralisation du territoire se font généralement au détriment des espaces naturels ou verts et la température au sol augmente lorsque l'urbanisation entraîne la perte d'un boisé. (Reeves, 2011). Le taux de population par secteur pourrait s'avérer un indicateur indirect des ICU. L'étude du Dr Streulker des images satellites et des images aéroportées de la ville de Houston prises à 12 ans d'intervalle a permis d'observer la corrélation entre l'augmentation de la population l'augmentation et des ICU au cours de cette période. (Streulker, 2003)

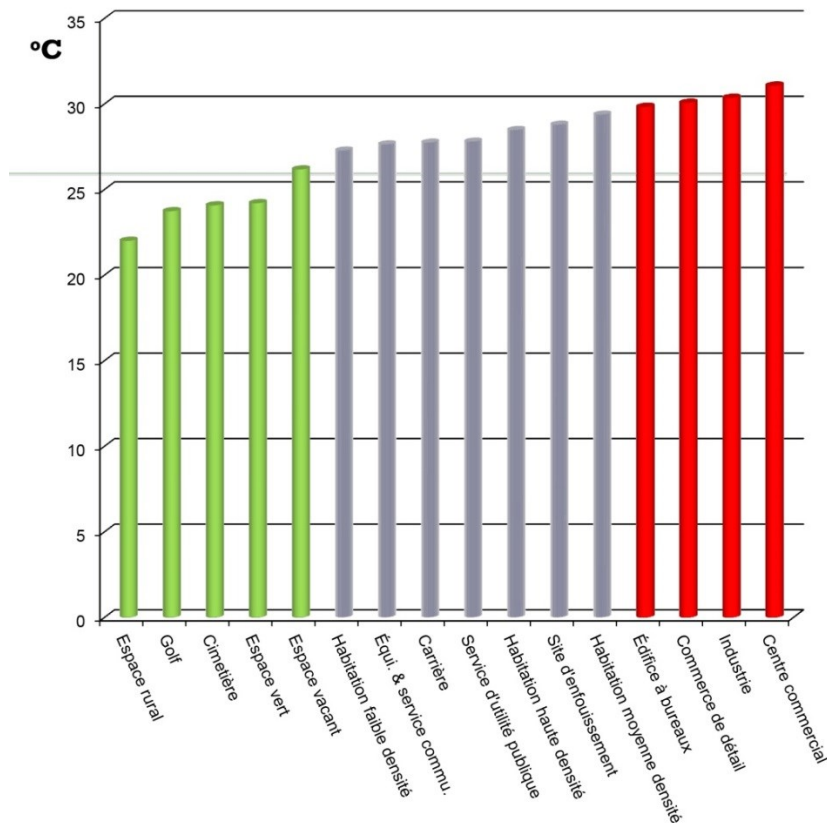
L'accroissement ou la diminution des populations permet de tirer des liens annonciateurs d'ICU et permettent de réagir avec l'implantation de mesures palliatives à court terme dans ses secteurs fortement peuplés. À Montréal, les ICU sont majoritairement présents dans les secteurs industriels et dans les secteurs résidentiels les plus densément peuplés et minéralisés. On compte les arrondissements de Ville-Marie, du Plateau-Mont-Royal, du Sud-Ouest, Hochelaga-Maisonneuve, Villeray-Saint-Michel-Parc-Extension, Montréal-Nord, Saint-Léonard parmi ceux dont les secteurs résidentiels sont les plus denses et donc les plus touchés par les ICU. (Ville de Montréal, s.d.) La figure 3.6 illustre la densité de la population dans les secteurs résidentiels sur l'île de Montréal.





**Figure 3.6 Densité de la population en 2011** (tiré de : Ville de Montréal, 2011)

La densité de la population est une caractéristique de la viabilité d'un secteur. Les températures des secteurs densément peuplés s'apparentent aux températures des secteurs industriels. La figure 3.7 démontre les différentes températures en lien avec les différents usages du territoire urbain. On peut y lire que les secteurs densément peuplés identifiés à la figure 3.6 ressentent des températures similaires aux secteurs industriels. L'évolution des taux de population pourrait indiquer des changements dans la vulnérabilité des secteurs présentant des ICU.



**Figure 3.7 Température moyenne de surface de 16 fonctions urbaines** (tiré de : Baudouin, 2012, p. 8)

Les infrastructures qu'exige l'urbanisation entraînent une minéralisation du territoire urbain. Les nouveaux développements immobiliers et routiers ont contribué à la perte du couvert végétal. (Reeves, 2011). Le constat est vérifiable pour l'agglomération de Montréal puisqu'il a été possible de mesurer la progression des ICU par la quantité de surface acquise par le phénomène. Tel qu'illustré au Tableau 3.2 Évolution des surfaces à ICU à dans la Communauté métropolitaine de Montréal entre 1984 et 2003 (tiré de : Perez, 2010), en 19 années, près de 40 km carrés de territoire ont acquis les conditions propices d'ICU sur le territoire de la communauté métropolitaine.

**Tableau 3.2 Évolution des surfaces à ICU à dans la Communauté métropolitaine de Montréal entre 1984 et 2003** (tiré de : Perez, 2010)

Montréal CMA	1984	2003	Différence
Surface d'ICU (km <sup>2</sup> )	333,94	373,36	39,42
Communauté métropolitaine de Montréal (km <sup>2</sup> )	3365,70	3365,70	-
%	9,92	11,09	1,17

Étant donné que l'urbanisation du territoire est synonyme d'imperméabilisation du territoire, la quantité de surface imperméable influe sur la résilience thermique de la Ville. Afin de mesurer le taux de surface imperméable d'un territoire, l'indice le plus couramment utilisé est l'ISA (Impervious surface area). Cet indice permet d'estimer les superficies imperméables du territoire estimées à partir de l'imagerie produite par satellite. (Yuan et Bauer, 2006) La corrélation entre le NDVI et le ISA permettent de tirer des constats complémentaires quant à l'identification et l'amplitude des ICU (Yuan et Bauer, 2006). La comparaison des taux de surface imperméable à quelques années d'intervalle permet de valider l'accroissement du développement urbain, mais également la quantité de surface imperméable sur le domaine public ou privé. Cet indice pourrait s'avérer intéressant afin d'apprécier certaines interventions de verdissement qui sont difficiles à comptabiliser tel que l'implantation de saillie verte ou de ruelle verte ou encore toute intervention de verdissement sur le domaine privé.

Finalement, en plus de fournir des informations sur l'ampleur des ICU, ces indicateurs, soit la densité de population ou le ISA, pourrait s'avérer intéressant pour les urbanistes dans une optique de planifications urbaines et de gestion des eaux pluviales. (Streulker, 2003)

### **3.2.2 Indice de santé et sécurité publique**

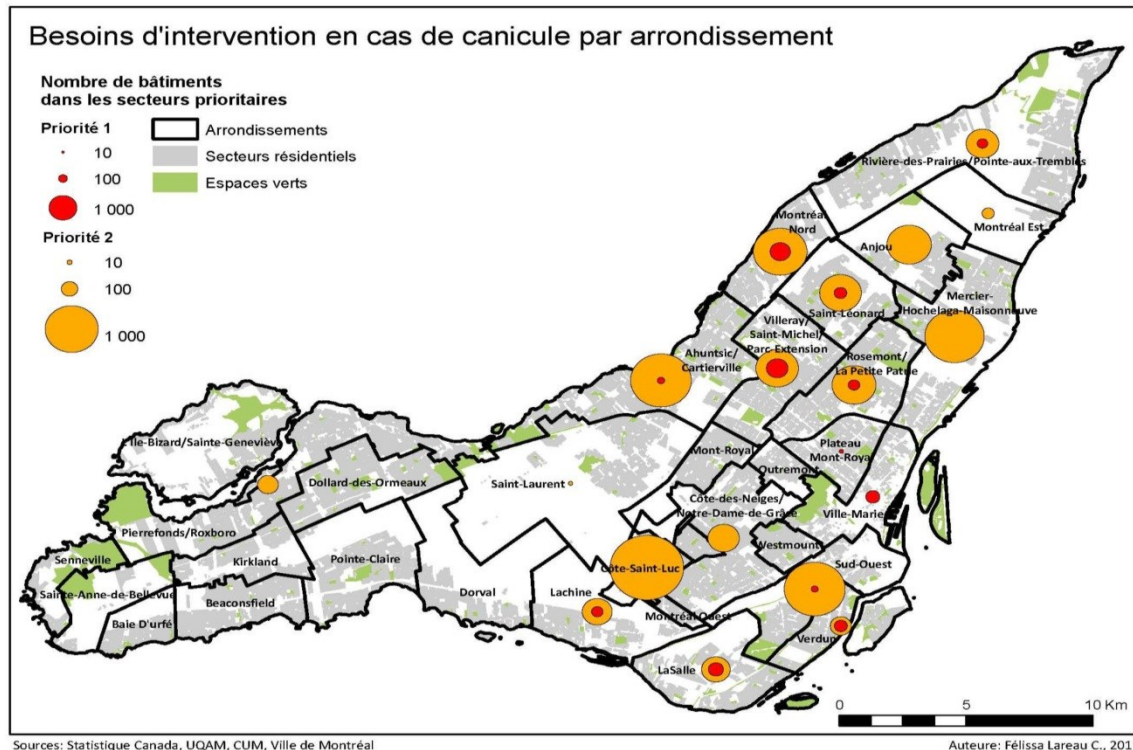
Une relation directe a été démontrée entre l'intensité des ICU et les hausses des maladies et de la morbidité liées à l'inconfort thermique. (Solecki et autres, 2005) L'étude de Smargiassi a démontré que la mortalité est plus élevée dans les secteurs plus chauds par rapport aux secteurs plus frais (Smargiassi et autres, 2009). En implantant des mesures d'adaptation dans les secteurs à prioriser, ceci aurait pour effet de diminuer les températures, diminuant les risques de mortalité associés.

L'inconfort thermique n'est pas également répandu au travers du territoire montréalais. Les personnes défavorisées économiquement constituent un groupe de la population urbaine plus à risque d'éprouver de l'inconfort lors d'épisode de chaleur. (Tairou et autres, 2010) Souvent, la défavorisation économique est aussi accompagnée de défavorisation sociale. Ces quartiers occupés par des populations défavorisées ou vulnérables ont souvent des taux faibles de couvert végétal et présentent un fort potentiel d'ICU. (Gendron-Bouchard, 2013) Afin d'orienter les interventions, les secteurs comportant des concentrations de populations vulnérables sont identifiés. L'indice de défavorisation permet d'identifier les secteurs ou les populations sont caractérisées par une défavorisation sociale ainsi qu'économique. (Gendron-Bouchard, 2013). Ces secteurs sont ensuite couplés au secteur présentant un fort potentiel d'ICU. La

juxtaposition de ces données permet de tirer des conclusions quant à la vulnérabilité des populations aux ICU.

Les épisodes de chaleur et les ICU influent fortement sur le système de santé. (Tairou et autres, 2010) En cas de crise, le système de santé publique doit pouvoir répondre aux besoins et offrir un service adéquat. Pour faire face aux épisodes de chaleur accablante, plusieurs régions du Québec se sont dotées de plans d'action en cas de chaleur accablante. Ces plans sont généralement conçus par les agences de santé et services sociaux des régions concernées. Ces plans revendiquent, entre autres, la collaboration des municipalités afin de mettre en place des aménagements réducteurs d'ICU (Ouranos, 2010)

À Montréal, le centre de sécurité civile a élaboré une méthode afin d'établir les secteurs d'intervention prioritaires en cas d'épisodes de chaleur. L'identification de ces secteurs est primordiale afin d'implanter des mesures palliatives à court terme. La figure 3.8 présente les secteurs d'intervention à prioriser lors d'épisode de canicule. Cette cartographie a été élaborée en couplant les relevés satellites identifiant les ICU avec les secteurs où résident les populations vulnérables. La cartographie des vulnérabilités est déterminée par la combinaison des secteurs défavorisés, des secteurs où vivent les personnes seules et de 65 ans et des secteurs présentant des ICU. (Gouvernement du Québec, 2014) La figure 3.8 indique les secteurs d'intervention prioritaire en cas de canicule par arrondissement. Il aurait été utile d'inclure à l'identification des secteurs vulnérables, la densité de la population. (Tairou et autres, 2010) Lors de canicule, les interventions sont peut être orienté vers les populations sensibles. (Gouvernement du Québec, 2014) L'implantation de mesures visant la réduction des ICU dans les secteurs identifiés permet de réduire les impacts et les risques sur les populations vulnérables. (Solecki et autres, 2005). Afin de mesurer la progression du phénomène sur la santé, les indicateurs doivent être plus précis que de simplement viser l'amélioration de la population en générale. (Webster et autres, 2008)



**Figure 3.8** Carte des besoins d'intervention en cas de canicule par arrondissement (tiré de : Baudoin, 2012, p.12)

Plusieurs paramètres de la santé publique permettraient d'évaluer l'efficacité des mesures d'adaptation en lien avec la santé des populations. La chaleur peut occasionner des inconforts, de la morbidité (la déshydratation, l'hyperthermie, le coup de chaleur) ou la mortalité dépendamment de l'exposition et de la vulnérabilité des populations. (Tairou et autres, 2010). Plusieurs indicateurs du taux de taxation du système de santé lors d'épisode de chaleur pourraient s'avérer utiles. L'indicateur sanitaire fréquemment utilisé est le taux de mortalité. (Tairou et autres, 2010) Au Québec, des systèmes d'information utilisés dans les hôpitaux permettent l'accessibilité à certaines statistiques d'hospitalisation et des décès. (Tairou et autres, 2010) Parmi les systèmes, la banque de données ministérielle Med-Écho, gérée par la RAMQ, contient les données relatives aux séjours hospitaliers et des décès survenus dans les hôpitaux québécois. (RAMQ, 2014) Les données d'hospitalisation et de décès sont couplées de l'heure et de la date d'entrée à l'hôpital, du lieu de résidence, des symptômes du patient. (Tairou et autres, 2010) Les données conjuguées peuvent s'avérer révélatrices de l'augmentation ou de la diminution du taux de morbidité et de la mortalité suite à l'implantation de mesures d'adaptation.

En plus du taux de morbidité ou de mortalité, le transport ambulancier des victimes des ICU permettrait d'améliorer les constats lors de période de chaleur accablante. (Tairou et autres, 2010) Également, les consultations téléphoniques d'Info-Santé pourraient indiquer l'ampleur de la morbidité ou des stress thermiques. (Tairou et autres, 2010)

Les stratégies d'adaptation en milieu urbain visant la lutte aux ICU doivent être associées à des indicateurs permettant de quantifier l'évolution du taux de mortalité ou de morbidité. (Webster et autres, 2008) Également, la qualité de l'air joue un rôle important sur l'état de santé des populations vulnérables. Les aménagements réducteurs de chaleur qui ont comme bénéfices associés d'améliorer la qualité de l'air pourraient avoir un impact positif sur l'état de santé de la population urbaine vulnérable. C'est pourquoi il est primordial de prioriser les secteurs à ICU où résident des populations vulnérables afin d'implanter des mesures d'atténuation aux ICU.

### **3.2.3 Indice de qualité de l'air**

Puisque les ICU peuvent contribuer, entre autres, à la formation de smog, les aménagements réducteurs d'ICU ont souvent comme bénéfices associés l'amélioration de la qualité de l'air. (Giguère, 2009) La végétalisation des espaces urbains permet de capter une partie des poussières et de plusieurs polluants atmosphériques. (Solecki et autres, 2005) La réduction des polluants atmosphériques pourrait témoigner de la diminution des activités polluantes (transport, industrie, etc.) ou de l'implantation d'aménagements lesquels sont en lien avec les objectifs d'un plan d'adaptation. La qualité de l'air est normalement mesurée par des stations d'échantillonnage dispersées au travers de la Ville. À Montréal, on compte 11 stations mesurant plusieurs polluants (Ville de Montréal, 2015). La mesure de la quantité des polluants comprenant l'ozone, les particules fines, le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote et le monoxyde de carbone mis en relation avec les données de référence correspondante permet d'identifier l'indice de qualité de l'air (IQA). (MDDELCC, 2002). Le polluant obtenant le plus haut indice est celui qui qualifie l'IQA. (MDDELCC, 2002) À partir de cette valeur de référence, on considère la qualité de l'air en fonction de critères sur la santé humaine. (MDDELCC, 2002) Un indice compris entre 1 et 25 est considéré bon entre 26 et 50 acceptable et 51 et plus mauvais. (Ville de Montréal, 2015)

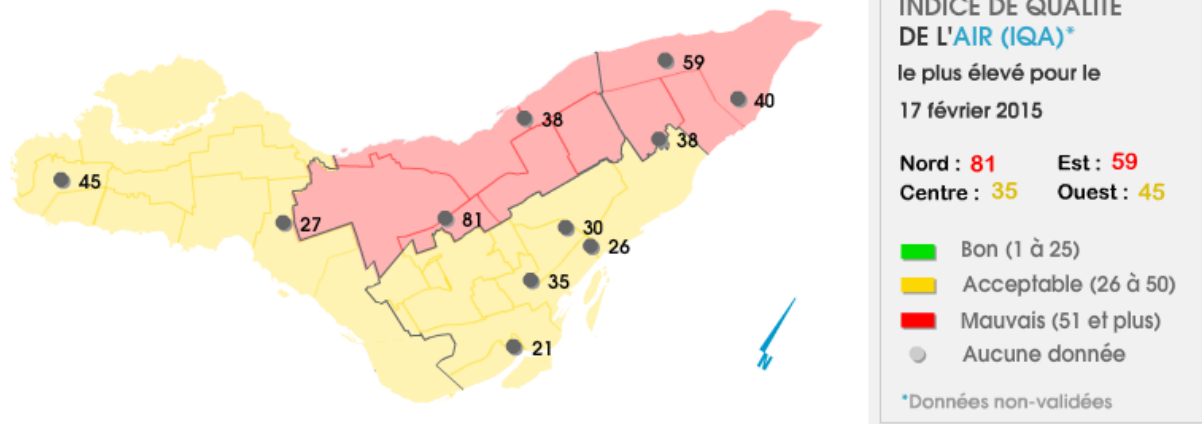
L'indice qualité de l'air, pour Montréal, est disponible et public grâce au Réseau de surveillance de la qualité de l'air qui met à jour son IQA chaque heure. Il est possible d'obtenir les données de qualité de l'air par jour sur les 7 dernières années. (Ville de Montréal, 2015). Annuellement, le RSQA produit un

rapport permettant d'évaluer la qualité de l'air sur le territoire montréalais. La figure 3.9 démontre l'emplacement des différentes stations d'échantillonnage ainsi que l'IQA par station.

## Suivi de la qualité de l'air

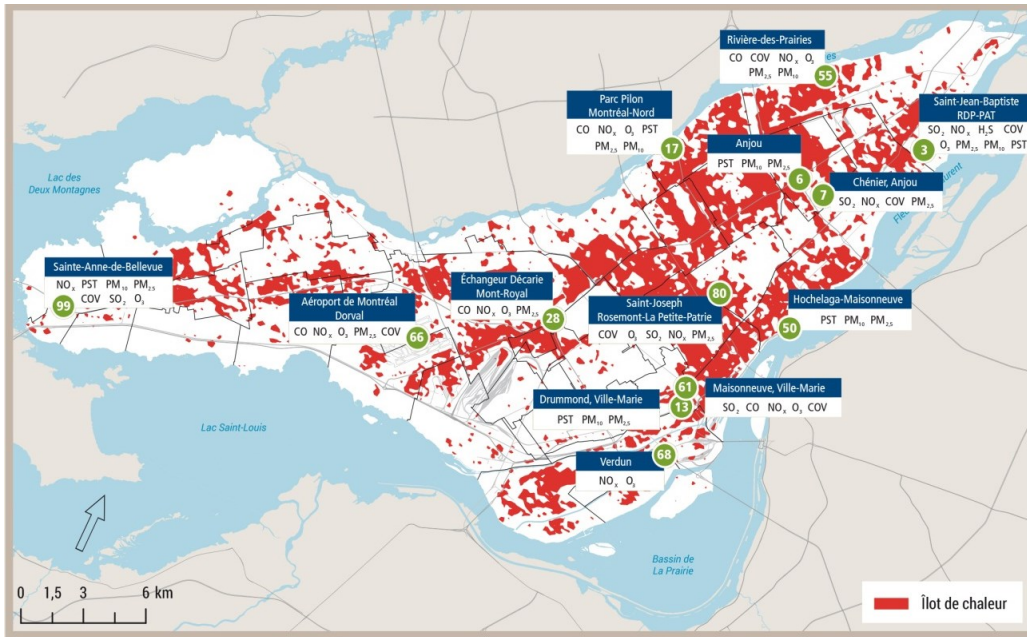
### Réseau de surveillance de la qualité de l'air

17 FEVRIER 2015



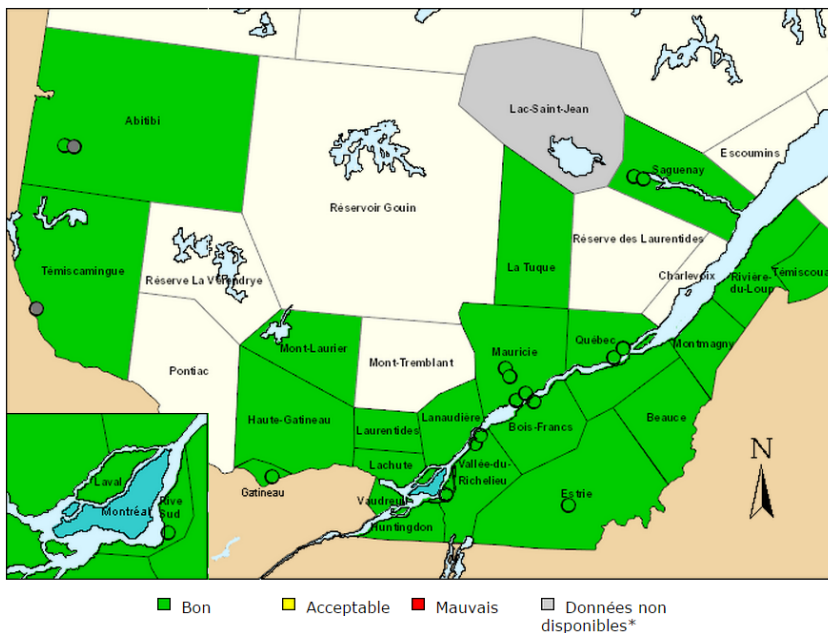
**Figure 3.9 Station d'échantillonnage de la ville de Montréal** (tiré de : Ville de Montréal, 2015)

Afin de permettre un relevé plus juste de la progression des mesures d'adaptation aux ICU, il s'avérait pertinent d'implanter les stations d'échantillonnage dans les secteurs d'ICU. Ces mesures de l'IQA couplé aux températures de la métropole permettraient de tirer des conclusions quant à l'amélioration de la qualité de l'air. Ceci permettrait d'indiquer l'implication des mesures d'adaptation aux ICU dans l'amélioration de la qualité de l'air dans ces secteurs. La figure 3.10 démontre que les emplacements des stations d'échantillonnage sont en lien avec les secteurs d'ICU.



**Figure 3.10 Station d'échantillonnage et îlots de chaleur urbain** (compilation d'après : RSQA 2013 et du DUSMVT, 2015, p.48)

Pour le reste du Québec, le MDDELCC possède un réseau de stations d'échantillonnage réparties sur le territoire québécois. (MDDELCC, 2002) Les données sont mises à jour quotidiennement et accessibles au public. (MDDELCC, 2002) La figure 3.8 présente les différentes stations d'échantillonnage de l'air au travers de la province.



**Figure 3.11 Station d'échantillonnage de l'air et IQA disponible au travers du Québec** (tiré de : MDDELCC, 2002)



De 2003 à 2005, l'IQA de Montréal a permis de mesurer entre 66 et 75 journées de mauvaise qualité de l'air à Montréal. (Vergriete et Labrecque 2007) En 2013, ce nombre est tombé à 53 jours. (RSQA, 2014) Toutefois, l'IQA possède aussi des imprécisions. Les événements climatiques tels que les vents, la pluie influencent grandement les résultats en dispersant les polluants et contribuant à une impression d'une amélioration de la qualité de l'air. (RSQA, 2014) À l'inverse, certains polluants, échantillonnés à Montréal peuvent provenir des États unis ou de l'Ontario. (RSQA, 2014)

L'indice de qualité de l'air permet de dresser un portrait général des polluants présent dans l'atmosphère. Certains polluants mesurés à l'intérieur de l'IQA pourraient corroborer une diminution des effets des ICU. Parmi les polluants à surveiller, les deux polluants responsables en grande partie du smog urbain estival, soit l'ozone et les particules fines. (MDDELCC, 2015) L'ozone est formé de réactions photochimiques et, lors de temps chaud, ces réactions s'amplifient. (Gaumont, 2007) Étant donné que les zones d'ICU sont des pochettes exacerbant les températures ambiantes, l'ozone s'y crée plus rapidement que dans le reste de la ville et la diminution des ICU permettrait de conclure en une diminution de l'ozone. C'est pourquoi l'ozone troposphérique pourrait être un bon indicateur des mesures de diminution des ICU puisqu'il se forme, en grande partie, grâce à la chaleur. Également, l'ozone présent dans l'air respirable entraîne, chez les populations vulnérables, plusieurs problèmes respiratoires et troubles pulmonaires surtout lors d'épisode de chaleur. La diminution de l'ozone troposphérique pourrait aussi marquer une diminution des cas d'hospitalisation en lien avec les troubles pulmonaires. (Pena et Arrau, 2010)

La quantité de particules fines est aussi révélatrice de la pollution atmosphérique puisqu'elles contribuent grandement au smog urbain. (MDDELCC, 2015) Tel que discuté dans le chapitre 2, la végétation peut intercepter une partie des particules fines grâce au feuillage et les diriger vers les eaux de ruissellement. Entre 2003 et 2005, à Montréal, la concentration moyenne particules fines (PM<sub>2.5</sub>), dépassait la limite de la norme pancanadienne (30µg/m<sup>3</sup>) dans sept des stations d'échantillonnage. (Vergriete et Labrecque 2007) Entre 2012 et 2013, toujours à Montréal, les particules fines (PM<sub>2,5</sub>) sont responsables de la totalité de ses jours de mauvaise qualité de l'air. (RSQA, 2014)

Finalement, l'indice de qualité de l'air permet de valider plusieurs objectifs transversaux de la lutte aux ICU et à l'adaptation au CC puisque l'état de santé de la population urbaine devrait s'améliorer au

rythme de l'amélioration de la qualité de l'air et de la diminution des températures urbaines. (Vergriete et Labrecque, 2007)

### **3.3 Suivi des mesures**

La mise en place de stratégies de mitigation des CC ou des ICU a pour grand objectif la résilience urbaine. Toutefois, cet objectif est difficile à mesurer. C'est pourquoi les indicateurs, décrits dans ce chapitre, peuvent aider à tirer des conclusions quantitatives quant à la progression des ICU et de ses effets.

Selon les termes de référence élaborés pour les municipalités par le MDDELCC dans le cadre de mise en œuvre d'un plan d'adaptation, une partie du plan doit faire la démonstration des mécanismes de suivi et de mise en places des mesures d'adaptation. (MDDELCC, 2006) Ces mécanismes de suivi doivent faire l'objet d'un inventaire, doivent être priorisés et permettre d'être mise à jour. (MDDELCC, 2006) Les indicateurs présentés dans ce chapitre pourraient servir lors de l'élaboration du suivi des mesures d'adaptation dans le cadre d'un plan d'adaptation au CC et plus particulièrement dans la lutte aux ICU. Ces indicateurs doivent être révisés. Afin d'établir la progression de la situation, les mesures connues lors de l'année de mise en place du plan d'adaptation doivent servir en référence de base et au statu quo.

La mise à jour des indicateurs devrait s'effectuer en fonction des disponibilités des données, du taux de croissance et du rythme d'implantation des stratégies d'adaptation. Certains indicateurs méritent donc d'être mesurés quotidiennement, annuellement, ou à chaque 5 ans.

La mise en œuvre de certains indicateurs peut être accordée à différents organismes ou institutions tel que le ministère de la Santé, de l'Agence régionale des services sociaux ou encore des Universités. Il s'agit d'atouts pour la ville de Montréal puisque toutes ses expertises ne peuvent être conciliées à l'intérieur de la municipalité. Également, les données ouvertes facilitent la transmission des données et permettent une approche plus transparente. Certains outils sont déjà disponibles et accessibles publiquement. Par exemple, les données en lien avec la qualité de l'air sont disponibles via le RSQA (réseau de surveillance de la qualité de l'air) et accessibles publiquement.

Il est judicieux de prévoir les indicateurs de performance des mesures d'adaptation, mais il faut aussi valider l'implantation de ces mesures. Afin de s'assurer de la mise en place des stratégies des ICU, certains objectifs d'aménagement quantifiables peuvent être fixés. Il est possible de dénombrer, par

exemple, le nombre d'arbres planté annuellement ou la quantité de permis octroyés pour des toitures blanches ou vertes. En combinant les mesures de suivi au potentiel de rendement des stratégies d'adaptation, les indicateurs devraient pouvoir valider la progression ou la diminution des ICU. Le tableau 3.4 résume les différents indicateurs de performance élaborés dans ce chapitre, leur méthode de suivi, leur mise à jour, et les partenaires possibles pour la Montréal.

**Tableau 3.3 Sommaire des mesures de suivi et des indicateurs de performance.**

<b>Indicateurs</b>	<b>Exemples de méthode de suivi</b>	<b>Mise à jour de l'indicateur</b>	<b>Partenaire possible</b>
<b>Indice de canopée</b>	Nombre d'arbres plantés	À tous les 5 ans afin de valider la progression de la croissance et de l'implantation des arbres et en fonction des relevés aériens disponibles	Service de l'environnement de la ville de Montréal,
<b>Température</b>	Nombre de permis octroyé pour les toitures blanches/vertes	Les comparaisons dans la littérature s'effectuent aux 10 ans, mais aussi en fonction des relevés satellites et aériens disponibles.	Département de géographie de l'UQAM
<b>Densité</b>	Nombre de nouveaux permis de construction d'habitation	En fonction des données disponibles	Statistique Canada
<b>Santé publique</b>	Nombre de mortalité lié avec la chaleur. Nombre d'hospitalisation, de transfert ambulancier et d'appel à info-santé en lien avec l'inconfort thermique et le lieu de résidence	En fonction des données disponibles. Toutefois, un rapport annuel permet de tirer des conclusions quant à l'évolution	MSSS, ASSSM
<b>Qualité de l'air</b>	Mesure de la qualité de l'air (RSQA)	Les données sont disponibles quotidiennement. Toutefois, un rapport annuel permet de tirer des conclusions quant à l'évolution de la qualité de l'air	RSQA, Ville de Montréal UQAM

Finalement, le tableau 3.4 résume les chapitres précédents en présentant, pour chacun des aménagements réducteurs d'ICU les potentiels de rendement, les incitatifs pour ces aménagements, les indicateurs de suivi associés ainsi que la fréquence du suivi idéal.

**Tableau 3.4 Sommaire des aménagements réduction d'ICU et de leur méthode de suivi**

aménagement	Potentiels de rendement	Incitatifs à l'aménagement	Indicateur	Mise à jour de la donnée
Plantation d'arbres	-Amélioration de la qualité de l'air : séquestration d'environ 1.4kg/an pour un arbre de 77 cm de DHP -Diminution moyenne de 1 °C par 10 % recouvrement de la canopée	-Subvention (domaine public) -Sensibilisation (domaine privé)	Température Canopée/NDVI Qualité de l'air Indicateur en lien avec la santé	Au 5 ans
Végétalisation des surfaces minérales	-Diminution des températures de surface -Amélioration de la qualité de l'air	-Subvention (domaine public) -Sensibilisation (domaine privé)	Température Qualité de l'air Canopée/NDVI	Au 5 ans
Végétalisation bâtiments	-Diminution des besoins en climatisation	-Subvention (domaine public) -Sensibilisation (domaine privé)	Température Qualité de l'air Canopée/NDVI ISA	Au 5 ans
Revêtement à albédo élevé	-Diminution des températures	-Subvention (domaine public) -Sensibilisation (domaine privé)	Température Indicateur en lien avec la santé ISA	Au 5 ans

## 4 RECOMMANDATIONS

Quels sont les défis à relever dans la lutte aux ICU et aux CC? Quels outils et indicateurs, développés ailleurs dans le monde, pourraient être appliqués au contexte montréalais? À la lumière des chapitres précédents présentant le phénomène d'ICU, leurs effets, les mesures de mitigation à implanter, les indicateurs de performance de ces mesures, quelles sont les recommandations possibles pour la ville de Montréal dans la planification de l'adaptation au CC et plus particulièrement des ICU? Le chapitre suivant intègre des recommandations, des outils, des méthodes d'intervention afin d'inspirer ou de bonifier les actions sur l'agglomération montréalaise. Certaines des recommandations sont accompagnées d'exemples qui peuvent s'appliquer tant à la mise en œuvre d'un plan d'adaptation aux CC que dans la lutte aux ICU en contexte montréalais.

### **Définir des objectifs et des indicateurs quantitatifs**

La mise en place de mesures d'adaptation aux CC et aux ICU a pour noble intention d'augmenter la résilience de la ville et de diminuer les effets des ICU. Aussi nobles soient-elles, ces intentions sont souvent décrites de façon qualitative. Afin de démontrer la progression de l'évolution du climat urbain, il faut transformer ces intentions en objectifs quantifiables et accompagner ces objectifs d'indicateurs quantitatifs. De cette façon, il est possible de démontrer l'amélioration ou la dégradation de la condition à l'étude. Les indicateurs permettent de connaître la situation actuelle et d'offrir une comparaison possible de l'évolution de la condition climatique urbaine. Le suivi est assuré par la répétition du calcul des différents indicateurs. Dans le cas des ICU, sans indicateurs ni objectifs quantifiables, il est difficile de mesurer la progression ou la régression des ICU et d'en assurer le suivi.

### **Densification et verdissement**

D'abord, à l'instar des grandes métropoles, l'étalement urbain s'effectue au détriment du territoire rural, des milieux agricoles et naturels. À Montréal, 18 % des boisés sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal ont été converti en surface minérale ou bâtie entre 1985 et 2005. Au total, 310 hectares de boisé se sont urbanisés. (CREM, 2008) Les infrastructures nécessaires à cet étalement augmentent la quantité de surface imperméable et proportionnellement la quantité d'espace caractérisé par le phénomène d'ICU. Une des solutions proposées pour limiter l'étalement urbain est de densifier les villes. Il est de conception sociale universelle que la densification des populations favorise l'activité économique, les transports et l'approvisionnement énergétique.

Le principe de densification des centres urbains se heurte au principe de verdissement. La végétalisation demande souvent beaucoup d'espace et les nouveaux développements exercent une pression sur les espaces verts. Montréal compte 25 km carrés de terrains vacants soit l'équivalent de 32 jardins botaniques. (St-Pierre et Letarte, 2014) L'aménagement de ces zones en espaces verts ou la priorisation de leur redéveloppement pourrait devenir un terreau fertile pour la lutte aux ICU. Avant d'implanter des routes et des développements immobiliers sur des terrains boisés, il serait pertinent de s'assurer que l'urbanisation s'effectue d'abord sur ces lots urbains vacants afin de permettre un développement conséquent.

### **Méthode de suivi**

Les plans d'adaptation québécois prévoient des mises à jour annuelles ou encore tous les deux ans. (MDDELCC, 2006) Toutefois, il est possible d'assurer un suivi en temps réel sur l'évolution du climat urbain. Avec un suivi plus fréquent, il est plus facile de prévoir les événements climatiques et de s'y adapter. La pollution atmosphérique est un des indicateurs indirects de la progression des ICU. Les outils permettant d'analyser la pollution atmosphérique à Montréal sont bien établis. Avec le RSQA et les outils du MDDELCC, mettre en place des outils permettant de connaître l'état de la qualité de l'air, en direct, serait facile à implanter. Les exemples présentés ci-après pourraient être reproduits par la ville de Montréal, ou lui servir d'inspiration.

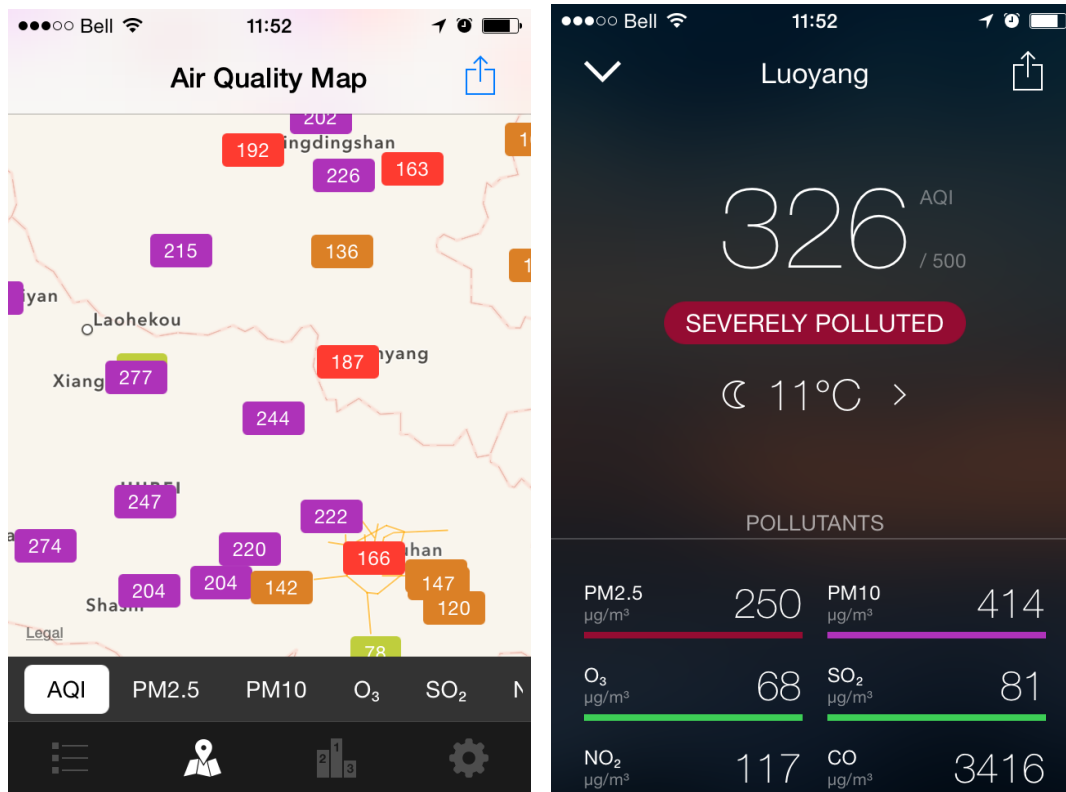
La ville de Mexico a un département de l'environnement dédié à la mise en place d'initiatives vertes, telles que les toits verts ou un service de vélo en partage, l'écobicci. Malgré que la ville de Mexico soit très dépendante de l'automobile, plus de 26 000 trajets s'effectuent par jour avec l'Ecobici. Également, plus de 21 949 pieds carrés de toiture verte sur les bâtiments publics de la ville ont été installés en 2014. Le département assure aussi le suivi et surveillance de la pollution en direct. En somme, les initiatives implantées pour améliorer la qualité de l'air depuis 20 ans ont permis de réduire substantiellement les niveaux de particules d'ozone, de dioxyde de sulfure et de monoxyde de carbone. (Jones, 2014)

Pour mesurer cette amélioration, le département de l'environnement de la ville de Mexico mesure en direct toutes les données atmosphériques et climatiques de la ville. Selon la directrice du département, la lutte à la pollution nécessite des toits verts autant que des outils de mesures. Les 29 stations, réparties dans la mégapole, mesurent plusieurs données climatiques telles la qualité de l'air, la température, le taux d'humidité. Ces données, affichées en direct sur les écrans du département de l'environnement,

permettent de dresser le portrait de la qualité du climat urbain. Aussi, au moyen d'une application sur le téléphone intelligent de la ministre, les indicateurs permettent de prendre des décisions. En fonction de la qualité de l'air et des prédictions climatiques, certains véhicules avec des plaques d'immatriculation d'une certaine couleur ou avec un certain numéro ne pourront circuler pour les 48 prochaines heures. Les stratégies employées à Mexico pourraient aussi servir à d'autres villes prises avec des problèmes de pollution atmosphérique, telle que Paris. (Jones, 2014) Suite à un taux record de pollution atmosphérique, la ville de Paris s'est aussi livrée à ce type d'exercice récemment en bannissant des routes parisiennes pour 24 heures les véhicules aux numéros de plaques impaires. (CTV News, 2015)

Sur le continent asiatique, le département de l'environnement chinois a lancé une application gratuite pour téléphone intelligent qui permet d'identifier les industries émettant des rejets atmosphériques non conformes. L'application gratuite donne des informations en direct sur les émissions des industries. Le ministère de l'environnement chinois exige à environ 15 000 industries de rapporter leurs émissions atmosphériques en temps réel. Les autorités chinoises ont caché des données pendant plusieurs années et la disponibilité de ces données répond aux demandes citoyennes. Après plusieurs années de politique de développement économique rapide, la lutte à la pollution ferait maintenant partie du calendrier du parti communiste puisque la pression populaire et citoyenne s'agrandit. (Watt, 2014) Les environnementalistes chinois disent que la supervision publique et locale est la clé pour arrêter les fonctionnaires de laisser les pollueurs opérés sous le prétexte de la croissance économique, d'autant plus qu'il est maintenant démontré que la pollution représente maintenant un frein reconnu à la croissance économique. (Nyuk, 2011)

L'application est produite par une l'institution publique des affaires environnementales de Beijing et est conçue pour être facile à utiliser. Depuis lancement de l'application, il a été constaté publiquement que plus de 370 industries produisaient des rejets atmosphériques non conformes. Il s'agit d'un outil sans précédent pour la Chine. La figure 4.1 démontre l'interface de l'application. (Watt, 2014)



**Figure 4.1 Exemple de l'interface de l'application chinoise *Air Quality Index* de divulgation des rejets industriels atmosphériques (tiré de l'application *air quality index*, 2015)**

Si une telle application existait pour Montréal, lorsque la qualité de l'air est mauvaise, il serait possible d'identifier les fautifs rapidement et, il serait plus efficace de contrôler la pollution atmosphérique montréalaise. Les stations de contrôle, installées sur le territoire, couplé à des stations installées sur les cheminées des industries ou des grandes artères de circulation permettraient de réagir rapidement lors de dépassement des critères.

### **Reddition de compte**

La mise en place d'indicateurs de performance permettrait de mesurer l'évolution de la situation et pourrait aussi permettre une forme de reddition de compte sur la progression de la résilience de la ville ou plus particulièrement dans la progression des ICU.

À ce jour, aucune forme de reddition de compte sur l'évolution du climat urbain n'est requise dans la mise en œuvre du plan d'adaptation. Dans le cadre du plan d'action, le MDDELCC soutient des municipalités dans l'élaboration du plan d'adaptation, mais n'exige pas de reddition de compte sur



l'évolution du climat urbain une fois le plan d'adopter. À Montréal, l'équipe responsable de concevoir le plan d'adaptation n'a pas de pouvoir décisionnel sur l'application du plan. (Charbonneau, 2014) La reddition de compte permettrait d'officialiser la mise en fonction du plan et la mise en place de mesure d'adaptation.

Dans sa stratégie d'adaptation, la ville de Vancouver a mis en place un département responsable et redevable des actions et de leur performance. Les parties prenantes aux projets d'adaptation peuvent compter sur l'aide de cette unité dédiée à la coordination de l'implantation des actions. Cette unité a aussi le mandat de recevoir les comptes des différentes parties prenantes de la stratégie d'adaptation. (City of Vancouver, 2012) À la manière de Vancouver, il pourrait être opportun, pour Montréal, de créer une équipe qui assisterait les différents services et arrondissements à mettre en place les mesures d'adaptation. Également, ce comité serait chargé d'obtenir les données et de vérifier les différents indicateurs mis en place et l'atteinte des objectifs.

#### **Valider les indicateurs en fonction des méthodes de calcul et du scénario de référence**

Afin d'établir la performance des mesures, il faut prendre en compte que les températures sont en augmentation à cause des CC. Même si les températures augmenteront inévitablement, la progression du phénomène d'ICU peut être diminuée par des mesures d'aménagement et par la diminution des émissions de GES. L'établissement du scénario de référence est essentiel afin de comparer l'évolution du climat urbain. Le scénario de référence est une approche empruntée aux évaluations des projets de réduction de GES et se définit selon les conditions prévues lorsqu'aucune action ou mesure d'adaptation n'est pas implantée. (Tchango, s.d.) Cette étape est primordiale afin d'obtenir des données cohérentes sur l'évolution du climat urbain.

Également, afin d'assurer que les indicateurs révèlent un suivi cohérent, il est nécessaire d'utiliser les mêmes paramètres, risques et incertitudes pour valider l'évolution de la condition à l'étude. Si les indicateurs se raffinent, la mesure précédente doit être recalculée avec les paramètres raffinés afin d'obtenir une comparaison valable. Tel qu'illustré au chapitre 3, l'indice de canopée de la ville de Montréal a été calculé à la main à base d'image aérienne. Lors du recalcul de la canopée montréalaise, les standards appliqués ainsi que le pourcentage d'erreur devraient être identiques afin que la nouvelle mesure soit comparable à la donnée antérieure.

## Outils

Les indicateurs de performance, discutés dans le chapitre 3, sont les indicateurs principalement accessibles actuellement pour l'île de Montréal. Des outils informatiques, utilisés ailleurs dans le monde, pourraient permettre de standardiser la prise de mesure de ces indicateurs et pourraient s'avérer utiles pour Montréal. En voici quelques-uns.

Le logiciel I-tree Canopy est un outil disponible gratuitement en ligne qui permet d'estimer les couvertures canopée d'un secteur grâce à l'imagerie satellite de Google. (I-tree, 2011) De plus, le logiciel permet de comptabiliser les biens et services écologiques de l'arbre. La figure 4.2 démontre l'interface de l'utilisateur du logiciel en ligne de I-Tree Canopy. S'agissant d'un logiciel américain, les données ne sont pas actuellement disponibles pour le Canada, mais pourraient le devenir.

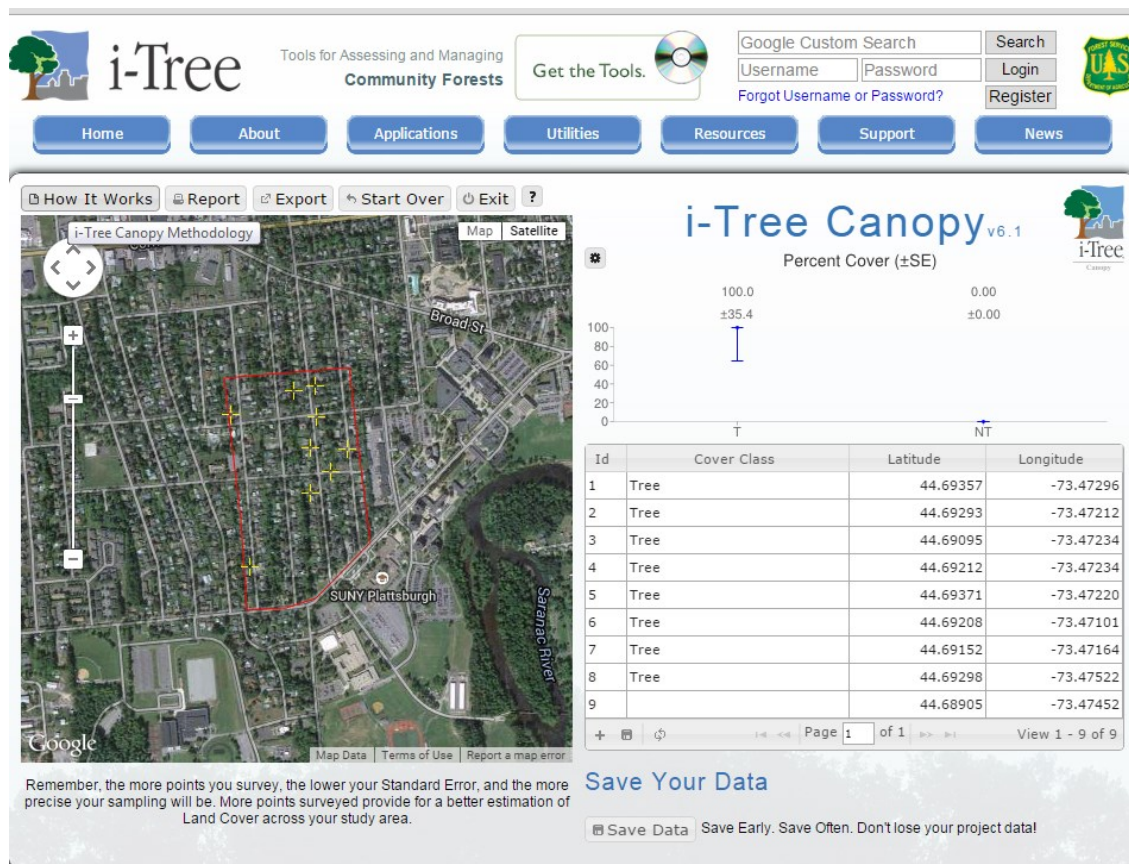


Figure 4.2 Interface du logiciel I-tree Canopy (i-tree, s.d.)

En plus de I-Tree Canopy, il existe d'autres logiciels américains tels que I-tree et CITY green permettant d'évaluer les bénéfices socioéconomiques et environnementaux de l'implantation des arbres et d'élaborer des prédictions de rentabilité. (Artz, 2009) Toutefois, les standards de rentabilité sont

élaborés dans un contexte américain puisque les données de références en lien avec les polluants, la météo ou encore les objectifs de croissance sont américaines. (Jutras, 2015), Mais, malgré ces contraintes certaines villes canadiennes telles que Toronto, Ottawa ou Vancouver utilisent le logiciel ITree afin de mesurer la progression de la forêt urbaine, de mesurer et justifier la plantation d'arbres et d'estimer de leur rentabilité. (Jutras, 2015)

### **Diviser le plan en thématiques**

La plupart des plans d'adaptation ont des objectifs en fonction des prédictions climatiques affectant leur territoire. Les mesures d'adaptation prévues pour faire face aux différentes prédictions pourraient être divisées pour faire l'objet d'un plan thématique. Chaque plan thématique n'aurait qu'un seul objectif ce qui faciliterait le suivi à effectuer. Prenons par exemple la ville de Vancouver qui a produite, plusieurs plans thématiques en fonction des vulnérabilités. (Vancouver, 2012) Chaque plan est associé à une unité responsable et doit répondre à des objectifs. Ce type de plan permet aussi de mieux diriger les efforts, simplifier les actions et responsabiliser les unités administratives concernées. À Montréal, le plan canopée est un bon exemple de plan thématique en lien avec l'adaptation aux CC et aux ICU. Le plan canopée a des objectifs de plantation d'arbres à atteindre, et ce tant sur le domaine public que privé. Chacune des parties prenantes au plan, arrondissement ou groupes communautaires, a des objectifs clairs et mesurables et doit rendre des comptes aux services centraux de la ville de Montréal.

Également, pour rendre plus efficace cette rétribution de tâche, la ville de Vancouver a su implanter une stratégie d'adaptation par le biais de programmes déjà existants. Chaque programme est en lien avec une thématique reliée aux CC telles que le plan de verdissement urbain, le plan de gestion des eaux de ruissellement, la stratégie de séparation des égouts pluviaux et sanitaires, le plan de gestion de la forêt urbaine, la législation encadrant les bâtiments, ou encore le comité de chaleur accablante. Les programmes sont associés à un département qui devient responsable et redevable des actions. Les départements peuvent compter sur l'aide d'une unité dédiée à la coordination de l'implantation des actions au travers des différents départements de la ville. (City of Vancouver, 2012)

### **Jumeler la prise de données**

Les indicateurs, tel que discuté dans le chapitre 3, nécessitent une prise de donnée. Certaines données requises pourraient être prises ou analysées lors d'une même intervention. Par exemple, les relevés aéroportés photographiques, très dispendieux, pourraient aussi inclure les relevés thermiques de la ville.

Ainsi, un vol permettrait de récolter plusieurs données nécessaires à entre autres, le département de géographie de l'UQAM, qui travaille sur les ICU, et celui de la direction de l'environnement de la Ville de Montréal. Au même titre, un relevé 3D de la ville pourrait, lors d'une même intervention sur le terrain, relever à la fois la végétation et les températures de surfaces verticales et horizontales. Plusieurs bénéficieraient de ces relevés, les bonifieraient par leur analyse encourageant ainsi le partage d'expertises.

### **Établir des partenariats**

La capacité de Montréal à assumer certains rôles et responsabilités pourrait être augmentée par l'utilisation de la communauté universitaire. Par exemple, plusieurs recherches universitaires ont pour thème le climat urbain et ont développé des expertises à cet effet. Des partenariats entre la Ville et les Universités montréalaises pourraient aider à la mise en place et au suivi des indicateurs. Également, l'implantation des mesures novatrices de lutte aux ICU pourrait se faire grâce à des partenariats entre la Ville et l'Université ou même directement avec des étudiants en quête de projets pour leurs essais ou thèses. Plusieurs départements universitaires pourraient profiter de l'implantation de mesure dans le cadre de leurs travaux et la Ville pourrait profiter des résultats pour bonifier les rapports et le suivi du climat urbain.

En plus des partenariats universitaires, les CC et les ICU touche plusieurs systèmes public ou privé, tels que la santé, les travaux publics, le développement du territoire. L'implication de ces différentes parties prenantes devrait permettre d'assurer l'implantation et la viabilité du plan d'adaptation. La responsabilité de l'implantation de mesures ainsi que la reddition de compte devrait être partagée entre les diverses parties prenantes. Par exemple, les systèmes publics en lien avec la santé œuvrant sur le territoire montréalais pourraient s'impliquer dans la plantation d'arbres. Puisque le problème des ICU affecte plusieurs institutions, organisations et même les entreprises privées, il est primordial de chercher à développer des synergies.

### **Utiliser des aménagements réducteurs d'ICU novateur**

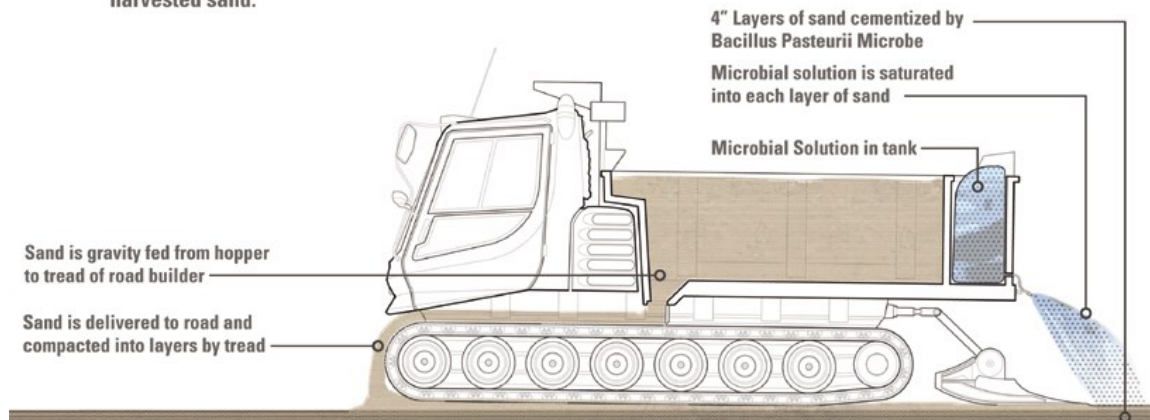
Les méthodes et matériaux utilisés afin d'aménager l'urbanité peuvent être reconsidérés. Certaines interventions mineures permettraient d'améliorer les conditions climatiques urbaines. D'abord, l'asphalte noir, omniprésent en contexte urbain, peut être peinturée blanche et ainsi obtenir une baisse de température de la surface de près de 20 degrés Celsius durant la saison estivale. (Salerno et Chorlay,

2008). Également, puisque l'asphalte est principalement un mélange de bitume et de gravier, il est possible de remplacer le gravier conventionnel par du gravier blanc et ainsi augmenter l'albédo de la surface. Encore, un ajout pigmentaire au mélange, idéalement d'une couleur pâle, permet également de bonifier la réflexion de la surface. (Salerno et Chorlay, 2008)

À Paris, une mesure novatrice déjà expérimentée est l'humidification des chaussées lors d'épisode de chaleur. (APC, 2014) Cette technique consiste à utiliser l'eau non potable, provenant du ruissellement des eaux de pluie, pour arroser les surfaces de bitume. L'eau, pour s'évaporer, utilise la chaleur accumulée par le bitume diminuant ainsi sa température. (INSPQ, 2010a) En plus de diminuer les températures de surface et ambiantes, cette technique diminue la quantité de poussière dans l'air. (APC, 2014)

Afin de rendre les villes plus résilientes, les matériaux à faible albédo, ou les différentes techniques de verdissement, tel que discuté dans le chapitre 2, pourraient être jumelés à des solutions d'aménagement novatrices, peu utilisées, mais toutefois prometteuses et faisant l'objet de projets pilotes. Encore embryonnaires, certaines solutions d'aménagement pourraient s'avérer intéressantes dans le contexte montréalais. Mentionnons d'abord le projet Sand Stone Road qui a été compensé du green design awards en 2010. (Singh, 2011) Thomas Kosbau et Andrew Wetzler sont parvenus à créer une alternative au revêtement d'asphalte conventionnel. Selon leur recherche, à l'aide de sable et de bactéries, ils arriveraient à produire, par un procédé biochimique, une surface de pavage pouvant être utilisé en remplacement de l'asphalte conventionnel. Cette surface de sable diminuerait les coûts environnementaux rattachés à l'utilisation du bitume en plus de diminuer l'albédo des surfaces routières. La figure 4.3 illustre le procédé soumis. (Singh, 2011)

**Biological Alternative to Asphalt:**  
Sandstone roads are organically grown using a common microbe and locally harvested sand.



**Figure 4.3** Schéma de mise en place du « *Sand Stone Road* » (tire de : Singh, 2011)

Un autre projet innovateur est celui de « Solar Roadways » qui consiste à transformer les routes, traditionnellement recouvertes de bitume, en usine à énergie solaire. (Brusaw, 2015) Les panneaux solaires, très résistants, remplacent la surface de bitume et permettent d'accumuler de l'énergie afin d'alimenter le voisinage en électricité. (Brusaw, 2015) Le projet pourrait être intéressant à moyen terme, surtout dans un contexte d'électrification du transport. La figure 4.4 illustre la deuxième version du prototype de la route solaire.



**Figure 4.4** Prototype 2 de la route Solaire (tiré de : Brusaw, 2015)

Les exemples précédents ne sont que quelques idées prometteuses. Mais, plusieurs autres aménagements urbains novateurs pourraient voir le jour. Peut-être que la technologie pourra aider à rendre nos villes, et en particulier Montréal, plus résiliente face au ICU et au CC?

## CONCLUSION

*« Ni l'adaptation ni l'atténuation ne pourra à elle seule empêcher le changement climatique d'avoir des impacts importants, mais, ensemble, elles peuvent réduire les risques considérablement. Il n'existe pas de combinaison optimale de mesures d'adaptation et d'atténuation et il ne s'agit pas de faire un choix entre les deux. L'atténuation est nécessaire pour réduire le rythme et l'ampleur du changement climatique, tandis que l'adaptation s'impose si l'on veut limiter les dommages causés par le changement climatique inévitable. » (RNC, 2013)*

Les populations urbaines devront s'adapter aux nouvelles conditions climatiques. Les nobles intentions de l'adaptation aux CC et la lutte aux ICU, doivent pouvoir se traduire en objectifs quantifiables. L'objectif général de l'essai était d'identifier des outils permettant d'évaluer quantitativement la progression des ICU sur le territoire urbain. Or, pour ce faire, il a fallu d'abord comprendre le phénomène d'ICU et ensuite éclaircir les mécanismes permettant d'atténuer ses effets. Cette première étape a permis de mettre la table afin d'investiguer et d'élaborer des indicateurs de performance permettant d'évaluer l'évolution des ICU, plus précisément en contexte montréalais. Finalement, des recommandations accompagnées d'exemples applicables au contexte québécois et montréalais pourront servir d'inspiration.

Les mesures permettant la diminution des effets des ICU ont été divisées en 3 catégories, soient les mesures palliatives à court terme, les mesures d'aménagement, et les mesures visant la réduction de la pollution atmosphérique et des GES. Bien que les mesures à court terme et à long terme influencent inévitablement les effets des ICU, les indicateurs issus de l'essai ont été établis en fonction des mesures d'aménagement pouvant diminuer les effets liés aux ICU. Parmi les mesures d'aménagement réductrices des effets des ICU, on compte principalement la plantation d'arbres, la végétalisation des surfaces minérales, des toits et des murs, la mise en place de surface à albédo élevé. L'implantation de ces mesures permet une diminution des températures, un accroissement du verdissement urbain. Ils permettent également d'améliorer la qualité de l'air, la santé des populations et de modifier l'urbanisation du territoire. Ce sont ces effets, mesurables, qui ont permis de constituer des indicateurs de performance en lien avec le contexte actuel montréalais. En mesurant l'évolution des effets, il est possible de mesurer l'évolution des ICU.

Les indicateurs issus de cet essai se veulent tangibles et applicables au contexte montréalais. Ils peuvent servir à vérifier l'implantation des mesures, à vérifier la performance de leur implantation et, potentiellement, à quantifier la résilience urbaine quant aux chaleurs accablantes. La mise en place de



ces indicateurs a pour but d'officialiser le processus d'adaptation, d'assurer la mise en place des mesures, de révéler des problèmes de rentabilité des mesures ou remettre en question les objectifs du plan d'adaptation.

Finalement, les effets des CC sont désormais inévitables. L'atténuation de ces effets ainsi que l'adaptation aux CC seront parmi les grandes préoccupations de notre génération et des futures. Les CC anticipés sur le Québec urbain doivent faire l'objet de mesure d'adaptation. Tenter de quantifier l'évolution du climat urbain, de mesurer l'adaptation et vérifier l'implantation et l'efficacité des mesures d'adaptation demeure important dans la mise en œuvre de la résilience urbaine. Pour arriver à la résilience urbaine, est-ce que les indicateurs de performance permettront d'assurer la mise en œuvre de mesure d'adaptation des ICU? Est-ce que l'atténuation des effets des CC et les aménagements réducteurs d'ICU permettront d'améliorer les conditions de vie des urbains? Est-ce que l'atténuation et l'adaptation pourront assurer un cadre de vie sain pour les urbains des générations actuelles et futures?

## RÉFÉRENCES

- APC (2014). Comment adapter le territoire parisien aux futures canicules Pistes et stratégies d'adaptation au changement climatique. In Agence parisienne du climat. *Agence parisienne du climat*. [www.apc-paris.com/apc/download/4150.html](http://www.apc-paris.com/apc/download/4150.html) (Page consultée le 3 mars 2015).
- Artz, M. (2009). CITYgreen Calculates Environmental Benefits of Trees and Green Space. In World Press. *Gis and Science*. <http://gisandscience.com/2009/06/10/citygreen-calculates-environmental-benefits-of-trees-and-green-space/> (Page consultée le 14 décembre 2014).
- ASSSM (2014). Chaleur accablante ou extrême 2014 : Plan régional de prévention et de protection. In Gouvernement du Québec. *Directeur de la santé publique de Montréal*. [file:///C:/Users/Ysa/Dropbox/Essai/PlanChaleurAcc\\_Extreme2014\\_15\\_mai\\_2014\\_VFinal.pdf](file:///C:/Users/Ysa/Dropbox/Essai/PlanChaleurAcc_Extreme2014_15_mai_2014_VFinal.pdf) (Page consultée le 22 septembre 2014).
- Baudouin, Y. (2012). La nature, source d'innovation pour une métropole durable? In Climat Environnement Société. *Groupement d'intérêt scientifique*. <http://www.gisclimat.fr/sites/default/files/YBaudoin.pdf> (Page consultée le 2 octobre 2014).
- Baudouin, Y. et Guay, J. (2008). Portrait des îlots de chaleur urbain à Montréal. In Francvert. *Francvert*. [http://www.francvert.org/ressources/images/2\\_3/guay\\_beaudoin\\_figure4.jpg](http://www.francvert.org/ressources/images/2_3/guay_beaudoin_figure4.jpg) (Page consultée le 2 octobre 2014).
- Bélanger Michaud, H. (2013). *Comparaison coûts-bénéfices de la forestation urbaine comme stratégie d'atténuation des îlot de chaleur urbain*. Maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 115 p.
- Boisvert, P. (2013). Plantation d'arbres: à vos pelles! In La presse. *La presse*. <http://www.lapresse.ca/maison/cour-et-jardin/jardiner/201311/08/01-4708749-plantation-darbres-a-vos-pelles.php> (Page consultée le 23 septembre 2014).
- Boucher, I. (2006). Toits verts. In Gouvernement du Québec. *MAMROT*. [http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/observatoire\\_municipal/veille/toits\\_verts.pdf](http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/observatoire_municipal/veille/toits_verts.pdf) (Page consultée le 2 décembre 2014).
- Boucher, I. (2013). La lutte aux îlots de chaleur urbains par l'aménagement des aires de stationnement. In Gouvernement du Québec. *MAMROT*. [http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/amenagement\\_territoire/documentation/lutte\\_ilots\\_chaleur.pdf](http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/amenagement_territoire/documentation/lutte_ilots_chaleur.pdf) (Page consultée le 22 décembre 2014).
- Brusaw, S. (2015). Solar Roadways. In Complex Cortex Designs. *Solar Roadways*. <http://www.solarroadways.com/intro.shtml> (Page consultée le 2 février 2015).
- Bureau de normalisation du Québec (2013). *Lutte aux îlots de chaleur urbain - Aménagement des aires de stationnement - Guide à l'intention des concepteurs* (Norme). Montréal, BNQ, 104 p.
- Cantat, O. (2004). L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps. In Norois. *Norois*. <http://norois.revues.org/1373> (Page consultée le septembre/02 2014).
- Cavayas, F. et Baudouin, Y. (2008). Étude des biotopes urbains et périurbains de la cmm - Volets 1 et 2. In CMM. *Étude des biotopes urbains et périurbains de la cmm*. [http://cmm.qc.ca/biotopes/docs/volets\\_1\\_et\\_2.pdf](http://cmm.qc.ca/biotopes/docs/volets_1_et_2.pdf) (Page consultée le 4 août 2014).
- CERFO (2013). Identification et localisation des îlots de chaleur et de fraîcheur pour tout le Québec urbain. In CERFO. *CERFO*. <http://www.cerfo.qc.ca/?id=16> (Page consultée le 20 novembre 2014).

- Charbonneau, E. (2014). Plan d'adaptation aux changements climatiques de la ville de Montréal. Communication orale. *Plan d'adaptation aux changements climatiques de la ville de Montréal*, 12 novembre, Ville de Montréal.
- City of Toronto (2014). Green Roofs. In City of Toronto. *City of Toronto*. <http://www1.toronto.ca/wps/portal/contentonly?vgnextoid=3a7a036318061410VgnVCM10000071d60f89RCRD#industrial> (Page consultée le 21 décembre 2014).
- City of Vancouver (2012). Climate Change Adaptation Strategy. In City of Vancouver. *City of Vancouver*. <http://vancouver.ca/files/cov/Vancouver-Climate-Change-Adaptation-Strategy-2012-11-07.pdf> (Page consultée le 18 décembre 2014).
- City of Vancouver (2014). Developing Vancouver's Urban Forest Strategy. In City of Vancouver. *City of Vancouver*. <http://vancouver.ca/home-property-development/urban-forest-strategy.aspx> (Page consultée le 2 janvier 2015).
- CREM (2008). Lutte aux îlots de chaleur urbain. In Conseil régional de l'environnement de Montréal, Montréal, 19 février 2008.
- Crepin, H. (2014). Îlot de chaleur. In Creative Commons. *Îlot de chaleur*. [http://www.thethermographiclibrary.org/index.php?title=%C3%8Elot\\_de\\_chaleur&oldid=5947&printable=yes](http://www.thethermographiclibrary.org/index.php?title=%C3%8Elot_de_chaleur&oldid=5947&printable=yes) (Page consultée le 20 novembre 2014).
- CTV News (2015). Paris imposes traffic restrictions to fight air pollution. In CTV News. *CTV News*. <http://www.ctvnews.ca/world/paris-imposes-traffic-restrictions-to-fight-air-pollution-1.2292811> (Page consultée le 10 avril 2015).
- Dale, A.G. et Frank, S.D. (2014). The effects of urban warming on herbivore abundance and street tree condition. *PLoS ONE*, vol. 9, n° 7,
- Desjarlais, C., Bourque, A., Décoste, R., Demers, C., Deschamps, P. et Lam, K. (2004). S'adapter aux changements climatiques. In Ouranos. *Ouranos*. [http://www.ouranos.ca/fr/pdf/ouranos\\_sadapterauxcc\\_fr.pdf](http://www.ouranos.ca/fr/pdf/ouranos_sadapterauxcc_fr.pdf) (Page consultée le 2 septembre 2014).
- Direction de l'Urbanisme du Service de la Mise en Valeur du Territoire (DUSMVT) (2015). Schéma d'aménagement. In Direction de l'urbanisme du service de la mise en valeur du territoire de Montréal. *Ville de Montréal*. [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=9517,133997570&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=9517,133997570&_dad=portal&_schema=PORTAL) (Page consultée le 2 février 2015).
- Direction des Grands Parcs et du Verdissement (DGPV) (2012). Plan d'action canopée 2012-2021. In Ville de Montréal. *Ville de Montréal*. [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/grands\\_parcs\\_fr/media/documents/pac\\_juin\\_2012\\_final.pdf](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/grands_parcs_fr/media/documents/pac_juin_2012_final.pdf) (Page consultée le 22 septembre 2014).
- Doyon, B., Bélanger, D. et Gosselin, P. (2006). Effets du climat sur la mortalité au Québec méridional de 1981 à 1999 et simulations pour des scénarios climatiques futurs. In INSPQ. *INSPQ*. [http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/536-effetsclimatmortalite\\_quebec.pdf](http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/536-effetsclimatmortalite_quebec.pdf) (Page consultée le 3 septembre 2014).
- Dumont, A. (2014). Toits blancs : une question de santé publique, selon le maire. In ruemasson.com. *Rue Masson*. <http://ruemasson.com/2014/12/19/toits-blancs-une-question-de-sante-publique-selon-le-maire/> (Page consultée le 4 janvier 2015).

- Dunbar, B. (2014). Landsat 8. In Garner, R. NASA.  
[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/landsat/main/#.VCccR\\_IdXz4](http://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/main/#.VCccR_IdXz4) (Page consultée le 9 septembre 2014).
- éco-habitation (2013). Question. In éco habitation. *éco habitation*.  
<http://www.ecohabitation.com/assistance/question/plantes-grimpantes-le-lierre-a-commence-a-envahir-la-facade-en-pierre-de-mon-triplex-et-jai> (Page consultée le 3 janvier 2015).
- Cosgrove, E. et Spino, A. (2015). Toits végétaux : étape par étape, avantages et inconvénients. In éco habitation. *éco habitation*. <http://www.ecohabitation.com/guide/toits-vegetaux-etape-etape-avantages-inconvenients> (Page consultée le 29 septembre 2014).
- Environnement Canada (2014). Risques de printemps et d'été. In Environnement Canada. *Environnement Canada*. <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=6C5D4990-1> (Page consultée le 11 octobre 2014).
- EPA (2013). Measuring Heat Islands. In EPA. *United States Environmental Protection Agency*.  
<http://www.epa.gov/heatisland/about/measuring.htm> (Page consultée le 2 septembre 2014).
- Gaumont, C. (2007). Le verdissement montréalais pour lutter contre les îlots de chaleur urbains, le réchauffement climatique et la pollution atmosphérique. In CREM. *Conseil régional de l'environnement de Montreal*.  
<http://www.cremtl.qc.ca/sites/default/files/upload/documents/publications/leverdissementmontrealais.pdf> (Page consultée le 22 décembre 2014).
- GIEC (2013). Changement climatiques 2013. In GIEC. *GIEC*. <http://www.climatechange2013.org/> (Page consultée le 2 septembre 2014).
- GIEC (2014). Changements climatiques 2014 Incidences, adaptation et vulnérabilité. In GIEC. *GIEC*.  
[http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5\\_SPM\\_French.pdf](http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5_SPM_French.pdf) (Page consultée le 2014 2014).
- Giguère, M. (2009). Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains. In Institut national de Santé Publique du Québec. *Institut national de Santé Publique du Québec*.  
[www.inspq.qc.ca/pdf/publications/988\\_MesuresIlotsChaleur.pdf](http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/988_MesuresIlotsChaleur.pdf) (Page consultée le 15 septembre 2014).
- Gouvernement du Québec (2013). Données ouvertes. In Gouvernement du Québec. *Gouvernement ouvert*. <http://geoegl.msp.gouv.qc.ca/golocmsp/?id=temperature> (Page consultée le 2 septembre 2014 2014).
- Grimmond, S. (2011). London's urban climate: historical and contemporary perspectives. In economic and social research council. *city weathers: meteorology and urban design 1950-2010*.  
[http://www.sed.manchester.ac.uk/architecture/research/csud/workshop/programme/Grimmond\\_ClimateOfLondon.pdf](http://www.sed.manchester.ac.uk/architecture/research/csud/workshop/programme/Grimmond_ClimateOfLondon.pdf) (Page consultée le 12 août 2014).
- Guay, J. (2014). Perspective monde. In Université de Sherbrooke. *Outil pédagogique des grandes tendances mondiales depuis 1945*.  
<http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMTendanceStatPays?codeTheme=1&codeStat=SP.URB.TOTL.IN.ZS&codePays=CAN&codeTheme2=1&codeStat2=x&codePays2=USA&langue=fr> (Page consultée le 12 septembre 2014).
- INSPQ (2010a). Adaptation aux îlots de chaleur - Comment lutter contre les îlots de chaleur urbains? In Gouvernement du Québec. *Mon climat Ma santé*.

- <http://www.monclimatmasante.qc.ca/public/adaptation-%C3%AElots-de-chaleur.aspx> (Page consultée le 3 février 2015).
- INSPQ (2010b). Les vagues de chaleur : un danger pour la santé? *In* INSPQ. *Mon climat ma santé: pour mieux s'adapter aux changements climatiques*.  
<http://www.monclimatmasante.qc.ca/public/vagues-de-chaleur.aspx> (Page consultée le 12 août 2014).
- INSPQ (2010c). Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur urbain? *In* INSPQ. *Mon climat, ma santé*. Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur urbain? (Page consultée le 3 septembre 2014).
- i-Tree (s.d.). I-tree Canopy. *In* i-Tree Canopy. *I-tree Canopy*. <http://www.itreetools.org/canopy/> (Page consultée le 6 janvier 2012).
- I-Tree Canopy (2011). i-Tree Canopy Technical Notes. *In* i-Tree Canopy. *i-Tree*.  
[http://www.itreetools.org/canopy/resources/iTree\\_Canopy\\_Methodology.pdf](http://www.itreetools.org/canopy/resources/iTree_Canopy_Methodology.pdf) (Page consultée le 20 décembre 2014).
- Jones, S. (2014). Can Mexico City's roof gardens help the metropolis shrug off its smog? *In* *The Guardian*. *The Guardian*. <http://www.theguardian.com/global-development/2014/apr/24/mexico-city-roof-gardens-pollution-smog> (Page consultée le 20 septembre 2014).
- Jutras, P. (2015). Mesure de l'indice de canopée. Communication orale. *rencontre*, 22 janvier, Montréal.
- Jutras, P. (s.d.). Recherche appliquée sur l'arbre urbain en support à une stratégie de verdissement. Communication orale. *Forum de l'arbre urbain*, Montréal.
- Knowlton, K., Rotkin-Ellman, M., King, G., Margolis, H.G., Smith, D., Solomon, G., Trent, R. et English, P. (2009). The 2006 California Heat Wave: Impacts on Hospitalizations and Emergency Department Visits. *Environmental health perspectives*, vol. 117, n° 1, p. 61-7.
- Manley, G. (1958). On the frequency of snowfall in metropolitan Englandthe frequency of snowfall in metropolitan England. *In* Read cube. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*  
[http://www.readcube.com/articles/10.1002%2Fqj.49708435910?r3\\_referer=wol&tracking\\_action=preview\\_click&show\\_checkout=1](http://www.readcube.com/articles/10.1002%2Fqj.49708435910?r3_referer=wol&tracking_action=preview_click&show_checkout=1) (Page consultée le 2 novembre 2014).
- Marchal, M. (2012). Les toits verts poussent peu à Montréal. *In* Journal Métro. *Journal Métro*.  
<http://journalmetro.com/actualites/montreal/157624/les-toits-verts-poussent-peu-a-montreal/> (Page consultée le 21 décembre 2014).
- Insolation, urban heat islands in Montreal* (2008). P. Martin, réalisateur(s), Martin, Philippe, youtube.  
<http://www.youtube.com/watch?v=xRD8maZuXr4>
- MDDELCC (2002). Indice de la qualité de l'air (IQA). *In* Gouvernement du Québec. *MDDELCC*.  
<http://www.iqa.mddelcc.gouv.qc.ca/contenu/calcul.htm> (Page consultée le 3 janvier 2015).
- MDDELCC (2006). Programme Climat Municipalité : Contenu-type d'un plan d'adaptation. *In* MDDELCC. *Trousse d'information à l'intention des municipalités*.  
<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/programmes/climat-municipalites/plan-adaptation-contenutype.pdf> (Page consultée le 5 août 2014).
- MDDELCC (2013). Programme Climat municipalités. *In* MDDELCC. *Programme Climat municipalités*.  
<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/programmes/climat-municipalites/> (Page consultée le 14 août 2014).

- MDELCC (2015). Infosmog. In MDELCC. *MDELCC*. <http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/AIR/info-smog/index.htm> (Page consultée le 29 janvier 2015).
- Mirzaei, P.A. et Haghghat, F. (2010). Approaches to study Urban Heat Island e Abilities and limitations. In Elsevier. *Elsevier*. file:///C:/Users/Ysa/Downloads/second%20paper.pdf (Page consultée le 20 novembre 2014).
- Nature Québec (2012). Des îlots de chaleur aux îlots de fraîcheur. In Nature Québec. *Nature Québec*. [http://www.naturequebec.org/fichiers/Biodiversite/Ilotsdefraicheur/Fi13-06\\_Ilots\\_fiche1\\_web.pdf](http://www.naturequebec.org/fichiers/Biodiversite/Ilotsdefraicheur/Fi13-06_Ilots_fiche1_web.pdf) (Page consultée le 2 septembre 2014).
- Novae (2014). Toronto: première ville nord-américaine à exiger des toits verts. In Novae. *Novae*. <http://novae.ca/actualites/2012-04/toronto-premi%C3%A8re-ville-nord-am%C3%A9ricaine-%C3%A0-exiger-des-toits-verts> (Page consultée le 21 décembre 2014).
- Nyuk, H.W., Steve, K.J. et Chun, L.T. (2011). Integrated urban microclimate assessment method as a sustainable urban development and urban design tool (English). *Landsc.urban plan.*, vol. 100, n° 4, p. 386-389.
- Oleson, K.W., Bonan, G.B. et Feddema, J. (2010). Effects of white roofs on urban temperature in a global climate model. *Geophysical Research Letters*, vol. 37, n° 3, p. n/a.
- Ouranos (2010). Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques. In Ouranos. *Ouranos*. [http://www.ouranos.ca/media/publication/111\\_PlanadaptationCC-Guidemunicipalites-Ouranos.pdf](http://www.ouranos.ca/media/publication/111_PlanadaptationCC-Guidemunicipalites-Ouranos.pdf) (Page consultée le 3 décembre 2014).
- Ouranos (2014). Vers l'adaptation : Des connaissances scientifiques de pointe pour mieux se préparer aux changements climatique. In Ouranos. *Ouranos*. <http://www.ouranos.ca/fr/synthese2014/doc/Resume.pdf> (Page consultée le 30 novembre 2014).
- Ouranos (s.d.). Le processus d'adaptation. In Ouranos. *Vers l'adaptation aux changements climatiques*. <http://adaptation.ouranos.ca/fr/processus-adaptation/> (Page consultée le 22 décembre 2014).
- PACC (2014). L'enquête sur l'adaptation aux changements climatiques. In PACC. *PACC adaptation*. <http://www.paccadaptation.ca/resources/PACC%20R-%20Canada%20Jan%202014.pdf> (Page consultée le 3 décembre 2014).
- Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* (internet). GIEC édition, Genève, GIEC, 103 p.
- Parmentier, A. (2010). *Élaboration d'un outil d'aide à la décision pour atténuer le phénomène d'îlots de chaleur en milieu urbain*. Maîtrise en génie de l'environnement, École des technologies supérieures, Montréal, 109 p.
- Peña, M.A. et Arrau, C.P. (2010). Urban heat island. In Anonyme. *Urban heat island*. <http://www.urbanheatlands.com/montreal> (Page consultée le août/2 2014).
- Reeves, F. (2011). *Planète Cœur*. Québec, Multimondes, 203 p.
- Régie de l'Assurance Maladie du Québec (RAMQ) (2014). Données sur demande. In Gouvernement du Québec. *Régie de l'Assurance Maladie du Québec*. <http://www.ramq.gouv.qc.ca/fr/donnees-statistiques/sur-demande/donnees-msss/Pages/med-echo.aspx#sejour> (Page consultée le 2015 5 janvier).
- Regroupement des éco quartiers (2015). Ruelle verte. In Charbonneau, S. *Regroupement des éco quartiers*. [http://www.eco-quartiers.org/ruelle\\_verte](http://www.eco-quartiers.org/ruelle_verte) (Page consultée le 2 janvier 2015).

- Réseau de surveillance de la qualité de l'air (RSQA) (2014). Bilan environnemental 2013: qualité de l'air à Montréal. *In* Ville de Montréal. *Service de l'environnement*. [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/RSQA\\_bilan2013\\_FR.pdf](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/RSQA_bilan2013_FR.pdf) (Page consultée le 30 janvier 2015).
- Ressources Naturelles Canada (RNC) (2010). Cartographie de l'utilisation du sol. *In* Gouvernement du Canada. *Ressources Naturelles Canada*. <http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/geomatique/imagerie-satellitaire-photos-aeriennes/imagerie-satellitaire-produits/ressources-educatives/9516> (Page consultée le 20 novembre 2014).
- Ressources Naturelles Canada (RNC) (2013). En quoi consiste l'adaptation? *In* Gouvernement du Canada. *Ressources Naturelles Canada*. <http://www.rncan.gc.ca/environnement/adaptation-101/10026> (Page consultée le 22 décembre 2014).
- Ressources Naturelles Canada (2014). Initiatives régionales. *In* Gouvernement du Canada. *Ressources Naturelles Canada*. [http://www.rncan.gc.ca/environnement/impacts-adaptation/initiatives-regionales/10632?\\_ga=1.148300727.1644910665.1420471822](http://www.rncan.gc.ca/environnement/impacts-adaptation/initiatives-regionales/10632?_ga=1.148300727.1644910665.1420471822) (Page consultée le 22 décembre 2014).
- Ressources Naturelles Canada (2014). Mesures visant la réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain dans Rosemont–La Petite-Patrie. *In* Gouvernement du Canada. *Ressources Naturelles Canada*. [http://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/mun/pdf/13-0616-Rosemont%20Case%20Study\\_f.pdf](http://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/mun/pdf/13-0616-Rosemont%20Case%20Study_f.pdf) (Page consultée le 22 décembre 2014).
- Hot Cities : The Urban Heat Island Effect* (2009). R. Rettner, réalisateur(s), Columbia University, youtube. <http://www.youtube.com/watch?v=yB8xcSwrvhY>
- Roy, L., Price, K., Pâquet, M., Vida, S., Sénécal, G., Lefebvre, L., Perron, S. et King, N. (2011). Canicule 2010 à Montréal : Rapport du directeur de santé publique. *In* Direction de la santé publique. *Santé Montréal*. [http://publications.santemontreal.qc.ca/uploads/tx\\_asssmpublications/978-2-89673-036-0.pdf](http://publications.santemontreal.qc.ca/uploads/tx_asssmpublications/978-2-89673-036-0.pdf) (Page consultée le 11 août 2014).
- Sailor, D.J. et Lu, L. (2004). A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas. *Atmospheric Environment*, vol. 38, n° 17, p. 2737.
- Sakai, S., Iizawa, I., Umetani, K., Onishi, M., Ito, A., Ono, K., Yajima, A. et Amemura, N. (2007). *Old and New Mechanisms of the Urban Heat Island: Thermal Inertia and Fractal Surface*. (20001464; 8329313).
- Salerno, D. et Chorlay, Y. (2008). matériaux réfléchissants et perméables pour contrer les îlots de chaleur urbains. *In* Conseil régional de l'environnement de Montréal. *Ville de Montreal*. [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND\\_RPP\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/TOITS%20BLANCS.PDF](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND_RPP_FR/MEDIA/DOCUMENTS/TOITS%20BLANCS.PDF) (Page consultée le 22 décembre 2014).
- Santé Canada (2009). Changements climatiques et santé: Bulletin sur l'adaptation . *In* Santé Canada. *Santé Canada*. [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt\\_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/climat/adapt\\_bulletin-adapt1/adapt\\_bulletin-adapt1-fra.pdf](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/climat/adapt_bulletin-adapt1/adapt_bulletin-adapt1-fra.pdf) (Page consultée le 9 août 2014).
- SCHL (2007). Recherche sur les toits et les murs verts à Québec. *In* SCHL. *Société d'hypothèque et de logement*. <https://www03.cmhc-schl.gc.ca/catalog/productDetail.cfm?cat=127&itm=30&lang=fr&fr=1420584711823> (Page consultée le 22 décembre 2014).

- Shipman, M., S. Frank et A. Dale (2014). Urban Heat Boosts Some Pest Populations 200-fold, Killing Red Maples. *US Fed News Service, Including US State News*, Jul 24, 2014, p. n/a.
- Singh, T. (2011). Creating Roads From Sand and Bacteria Instead of Oil . In *Inhabitat. Inhabitat*. <http://inhabitat.com/creating-roads-from-sand-and-bacteria-instead-of-oil/> (Page consultée le 22 septembre 2014).
- Smargiassi, A., Fournier, M., Griot, C., Baudouin, Y. et Kosatsky, T. (2008). Prediction of the indoor temperatures of an urban area with an in-time regression mapping approach. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, vol. 18, n° 3, p. 282-288.
- 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 and community health*, vol. 63, n° 8, p. 659-664.
- 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. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, vol. 6, n° 1, p. 39-49.
- Soverdi (s.d.a). Le Plan d'action canopée. In *Soverdi. Soverdi*. <http://www.soverdi.org/plan-daction-canopee/> (Page consultée le 2 janvier 2015).
- Soverdi (s.d.b). Ruelles Vertes. In *Soverdi. Soverdi*. <http://www.soverdi.org/ruelles-vertes/> (Page consultée le 2 janvier 2015).
- Stewart, I.D., Oke, T.R. et Kravynhoff, E.S. (2014). Evaluation of the 'local climate zone' scheme using temperature observations and model simulations. *International Journal Of Climatology*, vol. 34, n° 4, p. 1062–1080.
- Stewart, I.D. et Oke, T.R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 93, n° 12, p. 1879-1900.
- Stewart, I.D. et Oke, T.R. (2006). Methodological concerns surrounding the classification of urban and rural climate stations to define urban heat island magnitude. In *World Press. Dr. Iain Douglas Stewart*. [http://iainstew.files.wordpress.com/2013/01/stewart\\_oke\\_2006.pdf](http://iainstew.files.wordpress.com/2013/01/stewart_oke_2006.pdf) (Page consultée le 1 septembre 2014).
- Stewart, I.D. et Oke, T. (2009). A new classification system for urban climate sites. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 90, n° 7, p. 922-923.
- St-Pierre, M. et Letarte, P. (2014). Urburb. In *Radio-Canada. Radio-Canada*. [http://ici.radio-canada.ca/emissions/c\\_est\\_pas\\_trop\\_tot/2013-2014/archives.asp?date=2014/09/30&indTime=2511&idmedia=7169544](http://ici.radio-canada.ca/emissions/c_est_pas_trop_tot/2013-2014/archives.asp?date=2014/09/30&indTime=2511&idmedia=7169544) (Page consultée le 30 septembre 2014).
- Streutker, D.R. (2003). Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. *Remote Sensing of Environment*, vol. 85, n° 3, p. 282-289.
- Tairou, F.O., Bélanger, D. et Gosselin, P. (2010). Proposition d'indicateurs aux fins de vigie et de surveillance des troubles de la santé liés à la chaleur. In *Institut Nationale de Santé Publique du Québec. Institut Nationale de Santé Publique du Québec*. [www.inspq.qc.ca/pdf/.../1079\\_IndicateursVigieSanteChaleur.pdf](http://www.inspq.qc.ca/pdf/.../1079_IndicateursVigieSanteChaleur.pdf) (Page consultée le 3 janvier 2015).
- Trottier, A. (2007). *Toitures végétales : implantation de toits verts en milieu institutionnel*. Maîtrise, Université du Québec à Montréal, Montréal, 84 p.



- Vergriete, Y. et Labrecque, M. (2007). Rôles des arbres et des plantes grimpantes en milieu urbain : revue de littérature et tentative d'extrapolation au contexte montréalais . In *Agrireseau. Agrireseau*. <http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-pepiniere/documents/pdf891.pdf> (Page consultée le 11 octobre 2014).
- Ville de Montreal (s.d.). Chaleur extrême. In Ville de Montréal. *Ville de Montréal*. [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=7637,82363585&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7637,82363585&_dad=portal&_schema=PORTAL) (Page consultée le 22 septembre 2014).
- Ville de Montréal (2011). Densité de la population, 2011. In Ville de Montréal. *Ville de Montréal*. [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/MTL\\_STATS\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/1.1%20DENSIT%C9\\_2011\\_0.PDF](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/MTL_STATS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/1.1%20DENSIT%C9_2011_0.PDF) (Page consultée le 2 janvier 2015).
- Ville de Montréal (2015). Suivi de la qualité de l'air. In Ville de Montréal. *Ville de Montréal*. [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=7237,74495616&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7237,74495616&_dad=portal&_schema=PORTAL) (Page consultée le 2 janvier 2015 2015).
- Villeneuve, C. (2013). *ENV 704 Développement durable dans les organisations*. Université de Sherbrooke, Centre universitaire de formation en environnement et développement durable (CUFE), 70 p.
- Voogt, J.A. (2007). How Researchers Measure Urban Heat Islands. In EPA. *United States Environmental protection Agency*. [http://www.epa.gov/heatlands/resources/pdf/EPA\\_How\\_to\\_measure\\_a\\_UHI.pdf](http://www.epa.gov/heatlands/resources/pdf/EPA_How_to_measure_a_UHI.pdf) (Page consultée le 15 septembre 2014).
- Voogt, J.A. (2004). Urban heat islands: hotter cities. In ActionBioscience.org. *America Institute of Biological Sciences*. <http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html#educator> (Page consultée le 15 septembre 2014).
- Watt, L. (2014). Chinese group launches app to shame polluters. In Deseret News. *Deseret News*. <http://www.deseretnews.com/article/765654679/Chinese-group-launches-app-to-shame-polluters.html> (Page consultée le 8 novembre 2014).
- Webster, A., Gagnon-Lebrun, F., DesJarlais, C., Nolet, J., Sauvé, C. et Uhde, S. (2008). L'évaluation des avantages des coûts de l'adaptation aux changements climatiques. In Ouranos. *MAMROT*. [http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/observatoire\\_municipal/etudes\\_donnees\\_statistiques/evaluation\\_avantages\\_couts\\_adaptation.pdf](http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/observatoire_municipal/etudes_donnees_statistiques/evaluation_avantages_couts_adaptation.pdf) (Page consultée le 22 septembre 2014 2014).
- Yuan, F. et Bauer, M.E. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, vol. 106, n° 3, p. 375-386.

## BIBLIOGRAPHIE

- ASSSM (2014). Chaleur accablante ou extrême 2014 – Plan régional de prévention et de protection Guide à l'intention des établissements de santé. In Gouvernement du Québec. *Agence de santé et services sociaux de Montréal*. <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs2394682> (Page consultée le 2 octobre 2014).
- Anquez, P. et Herlem, A. (2011). Les îlots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal : causes, impacts et solutions . In UQAM. *Ville de Montréal*. [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND\\_RPP\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PDF-ILOTS.PDF](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND_RPP_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PDF-ILOTS.PDF) (Page consultée le 2 décembre 2014).
- Bailey, W.G., Oke, T.R. et Rouse, W.R. (1997). *Surface Climates of Canada*. Canada, McGill-Queen' s University Press, 396 p.
- Bélanger, D., Gosselin, P., Valois, P. et Abdous, B. (2008). Vagues de chaleur au Québec méridional : Adaptations actuelles et suggestions d'adaptations futures. In INSPQ. *INSPQ*. [http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/764\\_VaguesChaleur.pdf](http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/764_VaguesChaleur.pdf) (Page consultée le 11 août 2014).
- Bourque, A. et Simonet, G. (2008). Vivre avec les changements climatiques au Canada. In Ouranos. *Ouranos*. [http://www.ouranos.ca/fr/pdf/ouranos\\_chapitre-quebec\\_vivreaveclesccl\\_fr.pdf](http://www.ouranos.ca/fr/pdf/ouranos_chapitre-quebec_vivreaveclesccl_fr.pdf) (Page consultée le 22 septembre 2014).
- Brochu, E. et Bello, M. (2013). Plan d'adaptation aux changements climatiques de la ville de Trois-Rivières. In Ville de Trois-Rivières. *Changements Climatiques*. [http://citoyen.v3r.net/docs\\_upload/documents/langue1/Environnement/Plan\\_d\\_adaptation.pdf](http://citoyen.v3r.net/docs_upload/documents/langue1/Environnement/Plan_d_adaptation.pdf) (Page consultée le 15 septembre 2014).
- CEUM (2011). Guide sur l'installation de plantes grimpantes. In Centre d'écologie urbaine de Montréal. *Centre d'écologie urbaine de Montréal*. <http://www.ecologieurbaine.net/fr/documentation/guide-techniques-documents> (Page consultée le 12 octobre 2014).
- CEUM (2013). aménager des îlots de fraîcheur et améliorer les espaces de vie . In Centre d'écologie urbaine de Montréal. *Centre d'écologie urbaine de Montréal*. <http://www.ecologieurbaine.net/fr/documentation/guide-techniques-documents> (Page consultée le 4 octobre 2014).
- Chalifoux, N. (2012). *L'application des stationnements verts au québec*. Maîtrise, Université de Sherbrooke, 2012, 94 p.
- City of Vancouver (2011). Greenest City : 2020 Action plan. In City of Vancouver. *Greenest City 2020 Action Plan*. <http://vancouver.ca/green-vancouver/greenest-city-2020-action-plan.aspx> (Page consultée le 25 octobre 2014).
- Conseil régional de l'environnement de Montréal (2007). Les outils développés pour sensibiliser et faciliter l'action de verdissement. In Agrisseau. *Agrisseau*. <http://www.agrresseau.qc.ca/horticulture-pepiniere/documents/pdf795.pdf> (Page consultée le 2 octobre 2014).
- Desjarlais, C., Bourque, A., Décoste, R., Demers, C., Deschamps, P. et Lam, K. (2004). S'adapter aux changements climatiques. In Ouranos. *Ouranos*. [http://www.ouranos.ca/fr/pdf/ouranos\\_sadapterauxcc\\_fr.pdf](http://www.ouranos.ca/fr/pdf/ouranos_sadapterauxcc_fr.pdf) (Page consultée le 2 septembre 2014).
- Desjarlais, C. et Larrivée, C. (2011). Analyse économique de l'adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec : comparaison de diverses stratégies d'adaptation pour un secteur de Montréal. In Ouranos. *Ouranos*.

[http://www.ouranos.ca/media/publication/227\\_fimr\\_ace\\_ouranos\\_aout2011.pdf](http://www.ouranos.ca/media/publication/227_fimr_ace_ouranos_aout2011.pdf) (Page consultée le 3 octobre 2014).

Enviro-access (2013). *Plan d'adaptation aux changements climatiques 2013 - 2023 Ville de Sherbrooke* (plan d'adaptation aux changements climatiques). Programme Climat Municipalités édition, Ville de Sherbrooke, 160 p.

EPA (2014). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Green Roofs. In Gouvernement des États-Unis. *Environmental protection agency*. <http://www.epa.gov/heatlands/resources/pdf/GreenRoofsCompendium.pdf> (Page consultée le 3 septembre 2014).

Fedele, C. (2010). *Adaptation de la ville à l'augmentation des températures étude en droit de l'urbanisme*. Maîtrise, Centre d'Études Juridiques en Urbanisme, Université Paul Cezanne Aix-Marseille III, 100 p.

GéoBase (2012). Les orthoimages de GéoBase : un résultat à l'échelle du Québec. In GéoBase. *GéoBase*. [http://www.geobase.ca/images/action/Orthoimages\\_4.jpg](http://www.geobase.ca/images/action/Orthoimages_4.jpg) (Page consultée le 20 novembre 2014).

Giguère, M. et Gosselin, P. (2006). Vagues de chaleur, îlot thermique urbain et santé : examen des initiatives actuelles d'adaptation aux changements climatiques au Québec. In Gouvernement du Québec. *INSPQ*. <http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/515-ChangeementsClimatiquesVagueChaleur.pdf> (Page consultée le 4 octobre 2014).

Gouvernement du Canada (2013). Cartographie de l'utilisation du sol. In Gouvernement du Canada. *Gouvernement du Canada*. <http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/geomatique/imagerie-satellitaire-photos-aeriennes/imagerie-satellitaire-produits/ressources-educatives/9516> (Page consultée le 9 novembre 2014).

Gouvernement du Québec (2014). Risques liés à la chaleur pour l'intervention, l'atténuation et la planification urbaine à Montréal. In Gouvernement du Québec. *Gouvernement du Québec*. <http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/activites-evenements/colloque-sci/colloque-2014/14270.html> (Page consultée le 2 janvier 2015).

Institution publique des affaires environnementales de Beijing (2015). Air Quality Application. In Application iTunes. *Itunes*. <https://itunes.apple.com/us/app/china-air-quality-index/id477700080?mt=8> (Page consultée le 20 janvier 2015).

Howard, L. (1833). *The climate of London*. London, Oxford University, 222 p.

Jacquet, S. (2010). *Étude de la performance énergétique d'une toiture végétale extensive installée au centre-ville de Montréal*. Maîtrise, École des technologies supérieures, Montréal, 154 p.

Joerin, F., Després, C., Potvin, A., Rodriguez, M., Vachon, G. et Vandersmissen, M. (2010). Changements climatiques et transformation urbaine: un projet de recherche-action pour renforcer la résilience de la communauté métropolitaine de Québec. In Ouranos. *Ouranos*. [http://www.ouranos.ca/media/publication/174\\_RapportJoerin2014.pdf](http://www.ouranos.ca/media/publication/174_RapportJoerin2014.pdf) (Page consultée le 2 septembre 2014).

Kononowech, H. (2015). Tools and Resources for Building Resilience. In ICLEI USA. *ICLEI*. [http://www.icleiusa.org/library/documents/heat-health-workshop-series-presentations/Presentation\\_Hughes\\_Kononowech.pdf](http://www.icleiusa.org/library/documents/heat-health-workshop-series-presentations/Presentation_Hughes_Kononowech.pdf) (Page consultée le 2 septembre 2014).

Lalande-Boris, Y. (2007). *Le cas des stationnements à Montréal : leurs impacts environnementaux et les aménagements possibles pour les atténuer*. Maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 130 p.

- Mason, B. (2013). See the Sizzle: Infrared Photos Reveal the Brutal Urban Heatscape. *In Wired. Wired.* <http://www.wired.com/2013/08/urban-heat-nyc/#slideid-594761> (Page consultée le 2 novembre 2014).
- Masson, V., Gomes, L., Pigeon, G., Lioussé, C., Pont, V., Lagouarde, J., Voogt, J., Salmond, J., Oke, T.R., Hidalgo, J., Legain, D., Garrouste, O., Lac, C., Connan, O., Briottet, X., Lachéradé, S. et Tulet, P. (2008). The Canopy and Aerosol Particles Interactions in Toulouse Urban Layer (CAPITOU) experiment. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 102, n° 3-4, p. 135-157.
- Marturano, A. (2009). Burning up: Tracking the Urban Heat Island Effect in New York City from 1984-1999. *In Tufts University UEP Department. Worldpress blogues.* [http://sites.tufts.edu/gis/files/2013/02/Marturano\\_Alissa.pdf](http://sites.tufts.edu/gis/files/2013/02/Marturano_Alissa.pdf) (Page consultée le 12 octobre 2014).
- MDDELCC (2014). Les aires protégées par désignation. *In MDDELCC. MDDELCC.* [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/biodiversite/aires\\_protegees/registre/carte-aires-protegees.htm](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/registre/carte-aires-protegees.htm) (Page consultée le 11 octobre 2014).
- OMM (2014). Les gaz à effet de serre atteignent des concentrations records qui se répercutent sur l'atmosphère et les océans. *In Organisation météorologique mondiale. Organisation météorologique mondiale.* [http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press\\_releases/pr\\_1002\\_fr.html](http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_1002_fr.html) (Page consultée le 10 septembre 2014).
- Otis, F. (2013). *Conception d'un outil de reddition de comptes en développement durable pour les municipalité du Québec.* Maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 168 p.
- Price, K. et Hubert, F. (2012). Plan régional de santé publique 2010-2015 : un environnement urbain favorable à la santé. *In Agence de la santé et des services sociaux de Montréal. Direction de la santé publique de Montréal.* [http://publications.santemontreal.qc.ca/uploads/tx\\_asssmpublications/978-2-89673-140-4.pdf](http://publications.santemontreal.qc.ca/uploads/tx_asssmpublications/978-2-89673-140-4.pdf) (Page consultée le 18 septembre 2014).
- Spronken-Smith, R. et Oke, T.R. (1998). The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 19, n° 11, p. 2085-2104.
- Stewart, I.D. (2007). Landscape representation and the urban-rural dichotomy in empirical urban heat island literature, 1950–2006. *In Universitatis Szegediensis. Universitatis Szegediensis.* <http://www2.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/akta07/111-121.pdf> (Page consultée le 22 septembre 2014).
- The Guardian (2014). Air pollution 'kills 7 million people a year'. *In The Guardian. The Guardian.* <http://www.theguardian.com/environment/2014/mar/25/air-pollution-kills-7m-people-a-year> (Page consultée le 20 septembre 2014).
- Thermographics Library (2014). Îlot de chaleur. *In the thermographic library. the thermographic library.* [http://www.thethermographiclibrary.org/index.php?title=%C3%8Elot\\_de\\_chaleur#cite\\_note-4](http://www.thethermographiclibrary.org/index.php?title=%C3%8Elot_de_chaleur#cite_note-4) (Page consultée le 22 décembre 2014).
- Ville de Montréal (2004). Politique de protection et de mise en valeur des milieux naturels. *In Ville de Montreal. Ville de Montreal.* [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/grands\\_parcs\\_fr/media/documents/politique\\_protection\\_mise\\_en\\_valeur\\_milieux\\_naturels.pdf](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/grands_parcs_fr/media/documents/politique_protection_mise_en_valeur_milieux_naturels.pdf) (Page consultée le 2 décembre 2014).
- Ville de Montréal (2011). Population totale et variation de la population, agglomération de Montréal. *In Ville de Montréal. Ville de Montréal.* [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=6897,67887840&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6897,67887840&_dad=portal&_schema=PORTAL) (Page consultée le 12 janvier 2015).

ANNEXE 1 - EXEMPLE DES DIFFÉRENTS DE PAYSAGES URBAINS IDENTIFIÉS

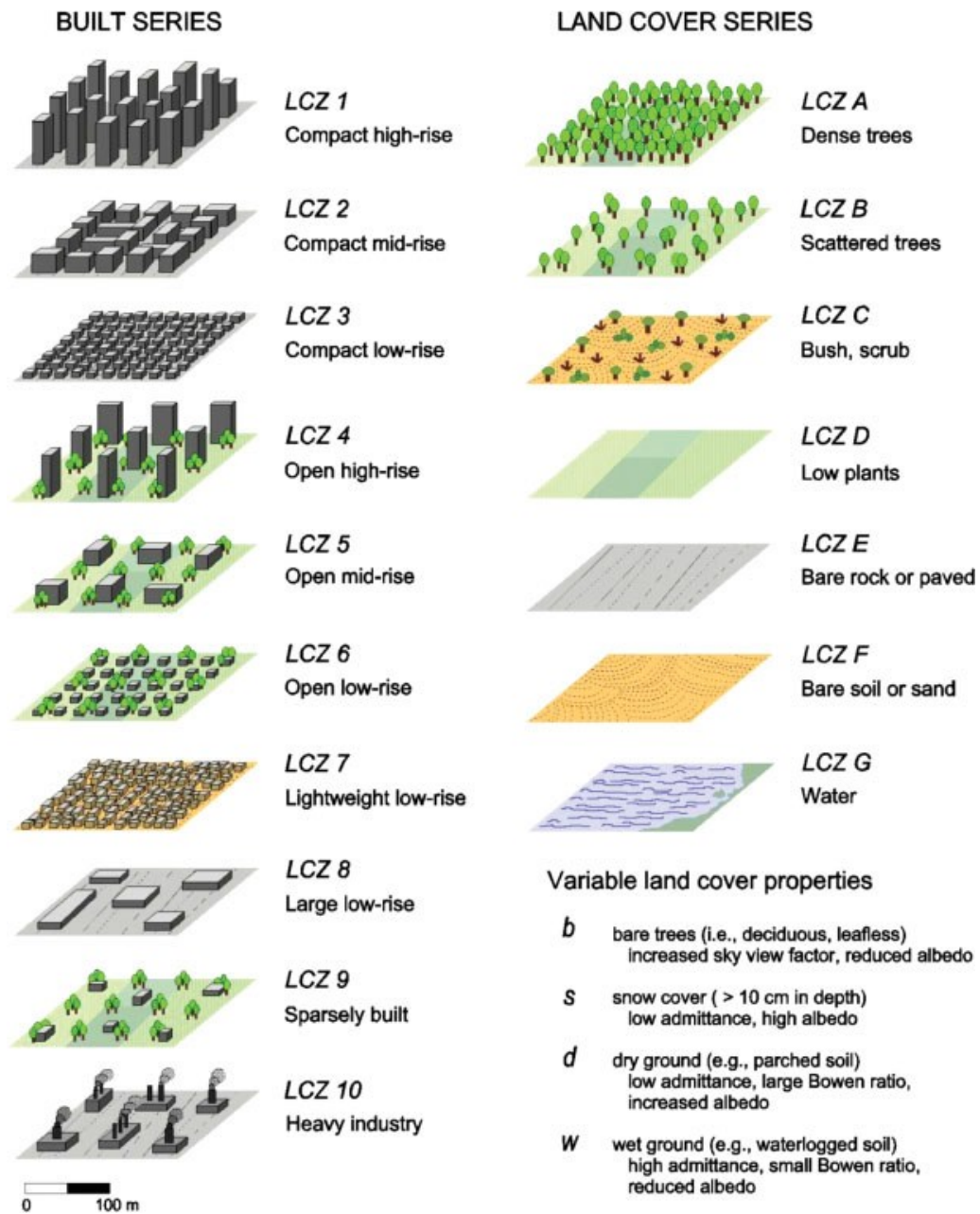












Table 2. Metadata for Sakakibara and Matsui's (2005) mobile observation sites in Nagano, 2001–2002.

Site number	Classification	Photographs Eye level	Properties <sup>a</sup>	
1	 LCZ 24: compact mid-rise with open high-rise		SVF % Built-up $z_H$	0.7 >95 20–30
2	 LCZ 3: compact low-rise		SVF % Built-up $z_H$	0.6 80 7
3, 4	 LCZ 6 : open low-rise		SVF % Built-up $z_H$	0.8–0.9 55 5
5, 6	 LCZ D: low plants		SVF % Built-up $z_H$	>0.9 <5 <1
7–10	 LCZ B: scattered trees		SVF % Built-up $z_H$	0.6–0.7 <5 3

Exemple des différents de paysages urbains identifiés (tiré de : Stewart et autres, 2014, p. 2 et 7)