

## 1 - Introduction

Les climats urbains touchent de plus en plus une part importante de la population, au Québec et dans le monde. Au Québec, c'est plus de 80% de la population qui habite dans un centre urbain (Statistique Canada) et au niveau mondial, pour la première fois de son histoire, la population urbaine a franchi le cap des 50% en 2007 (Banque mondiale). Il est donc à prévoir une augmentation de l'impact sanitaire des vagues de chaleur dans les zones urbaines.

Comme nous le verrons dans ce travail, le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) accentue la fréquence, la durée et l'intensité des vagues de chaleur accablante (Trottier, 2008). Les personnes les plus vulnérables à la chaleur sont: les personnes atteintes de maladies chroniques, les populations socialement isolées, les très jeunes enfants, les travailleurs extérieurs, les personnes de faible niveau socio-économique, les sportifs extérieurs de haut niveau, les personnes souffrant de troubles mentaux et les personnes âgées (Giguère, 2009)

Les ICU comportent d'importants risques de santé publique, puisqu'ils affectent le taux de morbidité et de mortalité de la population exposée (Anquez et al.) en créant un stress thermique provoqué par l'accumulation de chaleur dans le corps humain pour provoquer divers inconforts et malaises ou encore exacerber un état chronique pouvant causer la mort.

L'augmentation des températures aggrave également la pollution atmosphérique qui accroît les effets néfastes du smog sur la santé humaine (Environnement Canada, 2007). Comme la recrudescence des problèmes respiratoires aigus, des cas de bronchites (Bouchard et Smargiassi, 2007). Ces cas amènent de l'affluence dans les urgences. Les ICU causent aussi des dégradations de la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments puisque les hausses de température favorisent la multiplication des acariens, des moisissures et des bactéries (Akbari *et al.*, 2001 tiré de Giguère, 2009).

L'augmentation de la chaleur accablante a aussi des impacts sur la consommation de l'eau. Les piscines privées ou municipales, les jeux d'eau sont plus utilisés; les zones végétalisées en milieu urbain incluant les pelouses et les jardins des particuliers nécessitent un plus grand arrosage. Sans oublier que la population doit s'abreuver en plus grande quantité augmentant la pression sur l'eau potable.

Enfin, les ICU contribuent à une augmentation de la consommation d'énergie. Il en résulte une hausse de la demande énergétique induite par la climatisation, il agit sur notre confort. (Giguère, 2009). Dans le cas d'une élévation de la température de 2 °C induite par les îlots de chaleur, la consommation d'énergie peut grimper de 5 % (op. cit.).

Les ICU sont donc une partie intégrante de l'aménagement urbain. Je débiterai ce texte avec un court historique des ICU qui sera suivi de définitions se rapportant aux enjeux des ICU. Je présenterai des techniques et des méthodologies pour leur localisation, comment ils sont créés par l'aménagement des villes, comment les changements climatiques accentuent les ICU aujourd'hui et dans le futur. Je présenterai aussi la réalité terrain des ICU avec des mesures d'atténuations.

## 2 - Objectifs et Hypothèses

Pour bien comprendre le phénomène des ICU, je vous présente un rapide survole historique de l'étude des climats urbains, suivi des définitions ce qui amènera une meilleure compréhension des objectifs et des hypothèses de travail.

### 2.1 Historique

C'est bien avant Jésus Christ que les premières études sur le climat urbains sont réalisées. Le plus ancien connu est l'architecte et ingénieur Vitruve ou Marcus Vitruvius Pollio (75-26 av. JC). Il a fait des liens entre l'aménagement des villes et les conditions climatiques. L'Indien Manasara Silpasatra (? av. JC) prend en compte les conditions de luminosité et de ventilation pour la conception de l'aménagement urbain. Horace (65-68 av. JC) et Circa (3 av. JC-65) décrivent le climat de Rome. Ils sont une source d'informations pour la comparaison du climat passé et actuel. Sir John Evelyn fait sensiblement le même travail que Horace et Circa, sur le climat de Londres à la fin du XVIIIe siècle, en ajoutant des informations sur la pollution et le smog; avec lui naît vraiment la climatologie urbaine. À la fin du XVIIIe siècle, c'est aussi l'arrivée progressive des mesures instrumentales. Puis, Cotte (en 1774) décrit le climat de Paris à partir d'observations et de mesures scientifiques. (Yoshino, 1990/91)

### 2.2 Définitions

#### 2.2.1 Îlot de chaleur urbain (ICU)

Un ICU se distingue par la différence de température observée entre les milieux urbains et les zones rurales environnantes. Les observations ont démontré que les températures des centres urbains peuvent atteindre jusqu'à 12 °C de plus que les régions limitrophes (figure 1) (Voogt, 2002).

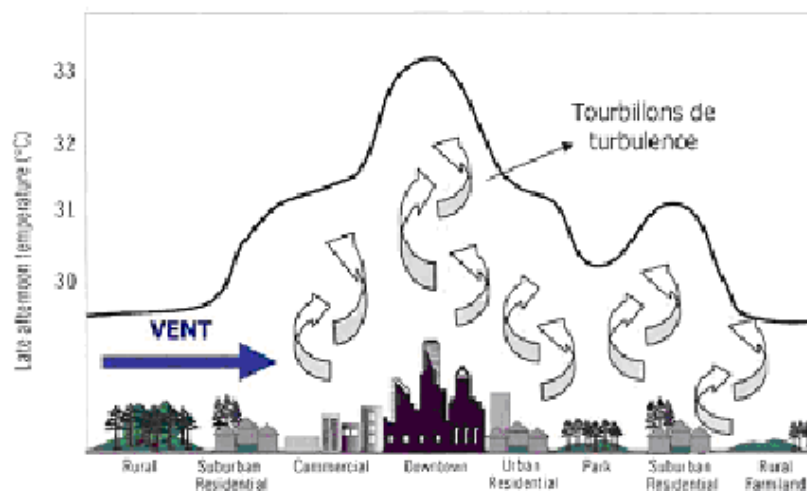


Figure 1 - Profil d'un ICU d'une ville nord-américaine en été. La courbe indique les températures de surfaces en degrés Celsius. Source: [www.adaptation.nrcan.gc.ca](http://www.adaptation.nrcan.gc.ca)

Cette différence peut aussi se faire à l'intérieur même de la zone urbaine:

« Le 25 juin 2005, la température enregistrée dans le parc du Mont-Royal s'élevait à 21,8 degrés Celsius, mais non loin de là, à l'angle du boulevard Saint-Laurent et de l'avenue du Mont-Royal, il faisait plutôt 33,5 degrés. L'écart de 12 degrés dans un rayon de moins de 1,5 kilomètre illustre bien le phénomène des îlots de chaleur créés par la suprématie du béton en milieu urbain au profit de la verdure. » Figure 2.

Le Devoir, 20 février 2008

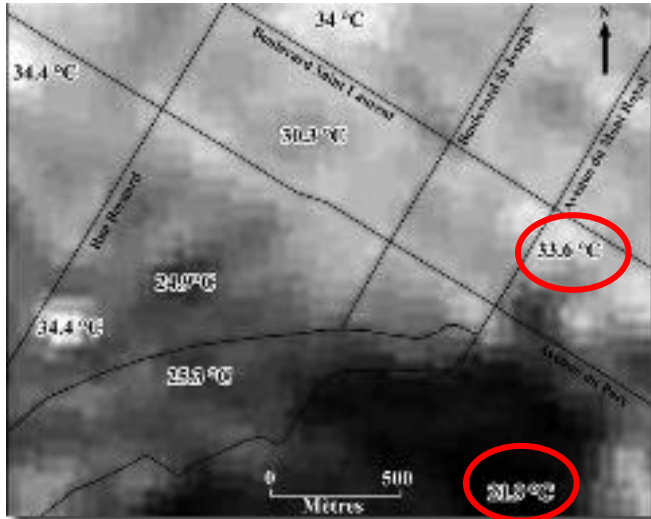


Figure - 2 Température en degrés Celsius entre le Mont-Royal et l'intersection du boulevard Saint-Laurent et l'avenue du Mont-Royal. (Lachance, G, 2006)

### 2.2.2 - Sortes d'ICU

Il existe trois sortes d'ICU (Voogt, 2004). Les îlots de chaleur dans la couche limite atmosphérique. Celle-ci est influencé par les flux turbulents de chaleur sensible et latente avec le frottement de la surface. Les îlots de chaleur au-dessus de la canopée, c'est-à-dire situés à la cime des arbres et des immeubles. C'est celle qui est responsable du smog. Et les îlots de chaleur de surface, les ICU à proprement parlé (figure 3)

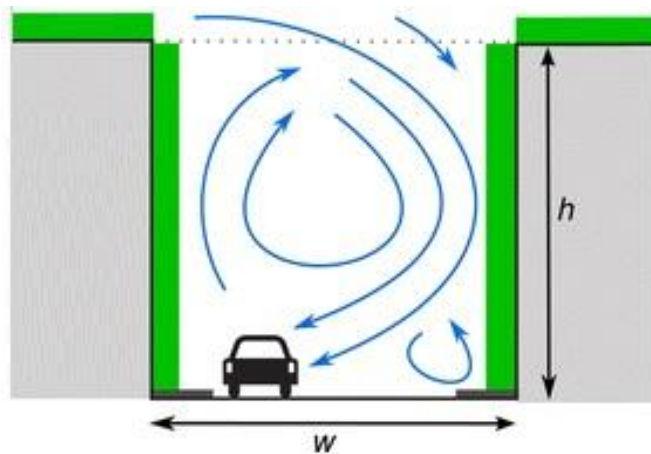
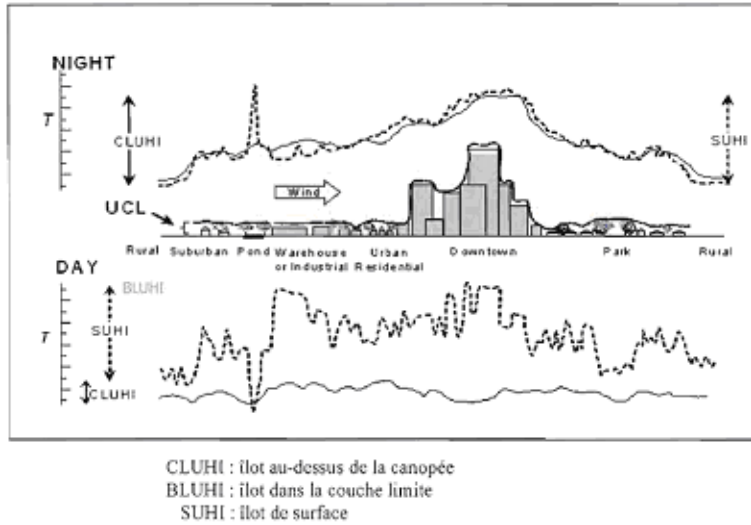


Figure 4 - Circulation de l'air dans un canyon urbain (Santé blog, 2012).



Figure 5 - Canyon urbain, (photo: S. Meslin, 2010)

## 2.3 - Hypothèses

J'ai plusieurs hypothèses de recherche pour ce sujet qui s'inter-relient tous. Premièrement, quelle est l'influence du cadre bâti dans un milieu urbanisé? Deuxièmement, quelle est l'influence du climat? Troisièmement, quelle est l'influence

des changements climatique sur le milieu urbain? Quatrièmement, le corollaire à ces questions: comment rendre les villes plus agréables?

Pour répondre à l'ensemble de ces questions, il est primordial de savoir comment réagi le climat avec le cadre bâti d'une ville, où sont les ICU, leur intensité. Ensuite, comment le climat de la ville influence les données pour le choix des images satellitaires le cas échéant, comment pondérer le tout. Des débats ont cours sur les origines des changement climatiques. Quoiqu'il en soit, les changements climatiques sont un fait, ils existent on ne peut le nier. De quelle façon ces changements vont affecter les climats urbains et selon quel scénario? Finalement qu'elles sont les solutions pouvant être mise de l'avant pour contre les ICU.

## **2.4 - Résultats attendus:**

Les résultats obtenus pourront servir à améliorer les techniques et méthodes déjà utilisées pour localiser les ICU pour n'importe quelle ville ou métropole. Les résultats pourront, également, suivre l'évolution dans le temps et l'espace des ICU.

Ultimement, permettre aux autorités d'établir des politiques, des règlements, des aménagements appropriées pour réduire l'effet des ICU.

## **3- Méthodologies**

J'ai retenu deux études qui proposent deux méthodes différentes pour localiser les ICU sur un territoire urbain. La première, réalisée dans le Grand Lyon en France, elle n'utilise pas de télédétection; elle utilise plutôt une analyse spatiale de l'utilisation du sol et du cadre bâti du milieu urbain. La deuxième, réalisée à Montréal, utilise la télédétection grâce aux images fournis par les satellites Landsat 5 et 7.

### **3.1 - Sans télédétection:**

L'échelle considérée pour l'étude de la région du Grand Lyon est infra-urbaine. L'hypothèse de l'étude est que les ICU peuvent être envisagés comme un phénomène touchant la totalité de la région urbaine qui se manifeste à la fin de la journée. Ils y auraient des ICU nocturnes et des ICU diurnes.

Pour cette étude, les chercheurs ont considéré les propriétés thermiques et optiques des matériaux. Mais aussi :

- La géométrie des canyons urbains;
- l'exposition des rues au rayonnement solaire;
- l'imperméabilité des surfaces;
- la rareté de la végétation;
- la rareté des masses d'eau (figure 6).

Dans les zones dépourvues d'activités industrielles, on a considéré que les sources de chaleur significatives issues d'activités anthropiques en période estivale sont les transports et les systèmes de climatisation des bâtiments du secteur tertiaire (Champiat, 2009).

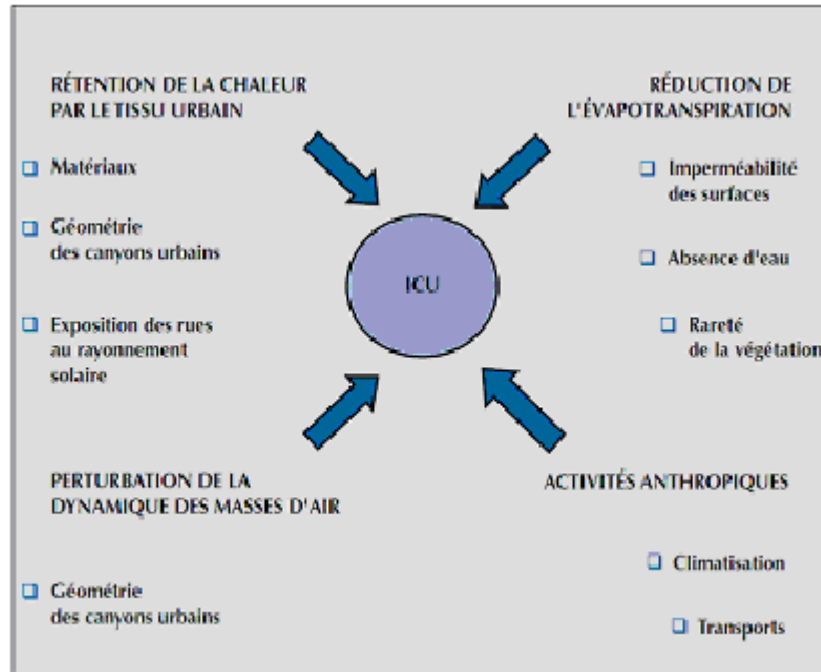


Figure 6 - Paramètres retenus pour l'étude qui influencent les ICU

Les indicateurs favorables aux ICU (liés à la géométrie des canyons urbains, les propriétés des matériaux, etc.) ont été dotés de scores positifs alors que l'indicateur défavorable aux ICU (lié à la végétation) a été doté de scores négatifs. Les masses d'eau ont été dotées d'un score nul. Une pondération différente, diurne et nocturne, des paramètres a aussi été établie (tableau 1). Malheureusement l'équipes de chercheurs n'ont pas mis la pondération négative, sans explications.

Indicateur	Pondération « jour »	Pondération « nuit »
Matériaux	8	8
Géométrie des canyons urbains	3	8
Orientation des rues	6	0
Surface imperméable	8	0
Surface végétalisée	8	0
Transport et climatisation	1	1
Surface en eau	1	0

Tableau 1 - Pondération positive des paramètres.

Il ne restait plus que d'entrer ces paramètres, d'extraire et traiter les données (tableau 2) couche par couche pour construire le modèle cartographique (figure 7) des ICU du Grand Lyon.

Paramètre	Indicateur	Donnée	Source	Outil
Matériaux	Pouvoir de réflexion (albédo) des surfaces de toits	Classification des matériaux de toiture	Ortho Photo 2005	ER Mapper
	Pouvoir de réflexion (albédo) des surfaces de voirie	Classification des matériaux de voirie	Couche cartographique « Voirie » Couche cartographique « Espaces végétalisés »	Arc GIS
Géométrie des canyons urbains	Aspect ratio (H/W)	H = hauteur des bâtiments W = largeur des rues	Couche cartographique « Bâti » Couche cartographique « Voirie »	FME
Exposition des rues au rayonnement solaire	Orientation des rues	Classification des angles pris par les tronçons de voiries par rapport au nord	Couche cartographique « Voirie »	FME
Imperméabilité des surfaces	Surface imperméable	Surface du domaine artificialisé	Couche cartographique « Espaces végétalisés »	Arc GIS
Absence d'eau	Surface des masses d'eau	Surface en eau	Couche cartographique « Espaces végétalisés »	Arc GIS
Rareté de la végétation	Surface végétalisée	Classification des surfaces végétalisées	Couche cartographique « Espaces végétalisés »	Arc GIS
Transports	Intensité du trafic	Modélisation du trafic	Couche cartographique « Trafic »	FME
Climatisation	Emplacement des bâtiments du secteur tertiaire	Occupation des sols	Couche cartographique « Plan local d'urbanisme »	FME

Tableau 2 - Extractions et traitements des données.

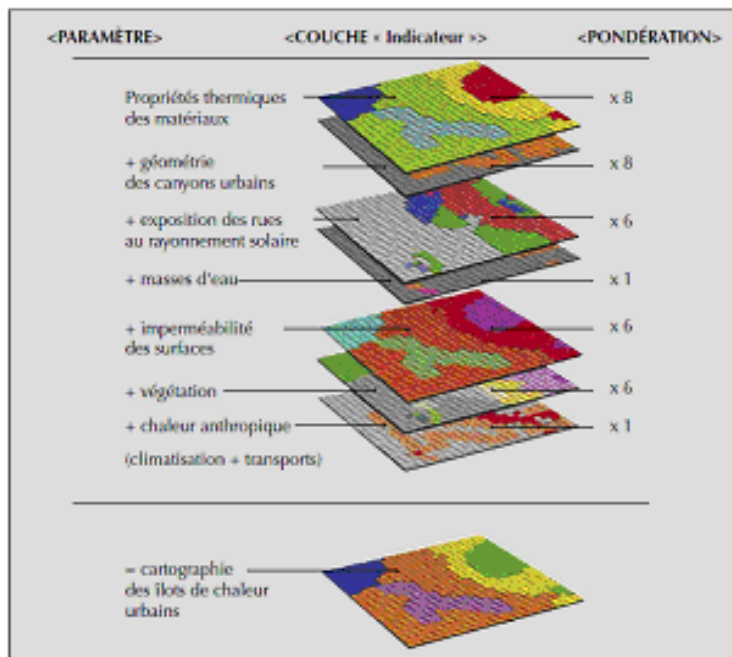


Figure 7 - Construction du modèle cartographique

### 3.2 - Avec télédétection:

Plusieurs études utilisent la télédétection pour trouver où sont les ICU. La plupart des études faites à Montréal utilisent cette technologie. Une étude me semble particulièrement intéressante, le chercheur a analysé une série d'images satellitaires sur vingt ans, entre 1984 et 2005; avec des bonds de quatre ou cinq ans entre chacune d'elle. C'est donc une analyse diachronique spatio-temporelle des ICU que Philippe Martin a réalisé.

Il a utilisé des images Landsat 5 et 7 durant les trois mois d'été. Pour élaborer un système d'information géographique (SIG) en évaluant les relations ICU/profils socio-économiques et le milieu environnant; ainsi qu'une comparaison entre l'évolution du couvert végétale et l'évolution des ICU.

Je ne m'attarderai pas trop sur la description des divers traitements des images pour la cartographie qui n'a pas de particularité propre pour cette étude, à part de spécifier que la bande 6 de l'infrarouge thermique a été transformée en valeurs de température apparente en degrés Celsius. Il sera ainsi possible de faire une cartographie thermique de la ville de Montréal et de la comparer avec le l'indice normalisé de différence de végétation (NDVI; *Normalized Difference Vegetation Index*) des années précédentes.

Le plus important à savoir pour les images, c'est qu'elles ont été acquises pour couvrir sensiblement les mêmes dates à l'intérieur des mois d'été. C'est pour ça que les dates couvrent la fin juin, la mi-juillet et la fin août. Les dates diffèrent pour tenir compte du contexte météorologique pour avoir des journées ensoleillées. Les heures de captures étaient autour de 10h; c'est l'heure où les satellites passent au-dessus de Montréal. Ainsi il sera possible de comparer avec un minimum d'information les journées entre elles, selon leurs similitudes et leurs dissemblances dans les conditions météorologiques et le temps d'ensoleillement total pour chaque image (tableau 3)

Images par années	Heure d'acquisition (h/mn)	Lever du soleil (h/mn)	Temps d'ensoleillement depuis l'heure d'acquisition
17-juin-84	10h06	5h05	5h01
26-août-86	9h59	6h08	3h51
11-juil-90	10h04	5h16	4h48
25-juil-92	10h00	5h30	4h30
18-juin-96	9h50	5h05	4h46
27-août-98	10h16	6h09	4h07
20-juin-00	manquant	5h05	manquant
13-août-02	manquant	5h52	manquant
15-juil-03	10h20	5h20	5h00
27-juin-05	10h25	5h34	4h51

Tableau 3 - Temps d'ensoleillement total pour chaque image (Martin, P)

### 3.3 - Scénarios du GIEC :

Une autre étude a attiré mon attention. Elle lie le phénomène des ICU et les changements climatiques. Les auteurs ont modélisé pour extrapoler l'impact des changements climatiques sur la région Parisienne, pour les années 2030, 2050 et 2080 selon trois différents scénarios élaboré par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Malheureusement les auteurs ne spécifient pas pourquoi ils ont utilisé ces trois scénarios et non pas l'ensemble des six ou d'autres en particulier. Les scénarios retenus sont les A1B, A2 et B1.

L'hypothèse **A1** est caractérisé par:

- une croissance économique très rapide,
- un pic de la population mondiale au milieu du siècle et l'adoption rapide de nouvelles technologies plus efficaces.
- Cette famille de scénarios se répartit en trois groupes, dont **A1B** le scénario retenu par l'étude, qui se caractérise par un équilibrage des ressources.



**B1** à les mêmes caractéristiques démographiques que **A1**, mais:

- il y a une évolution plus rapide des structures économiques vers une économie de services et d'information.

**A2** évolue dans un monde très hétérogène caractérisé par :

- une forte croissance démographique,
- un faible développement économique,
- et de lents progrès technologiques.

Les ICU ne sont pas qu'influencé par les changements climatiques, mais l'inverse serait aussi vrai (Martin, P). Les ICU contribueraient au réchauffement de la planète, bien qu'étant des phénomènes à l'échelle locale, ils occupent de plus en plus une portion significative de la surface terrestre. Surtout dans les zones densément peuplé comme en Europe ou dans certaines parties de l'Asie. Il existe des relations à des échelles urbaines, voire régionales: comme dit plus haut, depuis 2007, plus de la moitié de la population mondiale vit maintenant en ville et cette proportion devrait augmenter à près de 60 % d'ici 2030, soit près de cinq milliards d'individus (Wikipedia, 20 février 2014). Ceci signifie une demande accrue en énergie nécessaire à l'alimentation et davantage de personnes exposées à des troubles liés au smog et aux effets des chaleurs accablantes. Les fortes températures au sein d'une ville nécessitent plus d'air climatisé pour les citadins, contribuant à augmenter les émissions de GES dans l'atmosphère favorisant le réchauffement. La plupart des GES qui contribuent au changement global du climat proviennent des zones urbaines et de leurs industries. Ces émissions contribuent également à des modifications de la température et du climat à des échelles locales et régionales (GIEC, 2001).

## **4 - Résultats et critique**

### **4.1 - Sans télédétection, Grand Lyon:**

Les cartes résultant de l'élaboration du modèle cartographique présenté dans l'étude indiquent l'importance de l'exposition des canyons urbains et le rôle protecteur des zones boisées (figure 8). Dans le but de réduire l'impact des vagues de chaleur, la méthodologie a été élaborée pour caractériser les secteurs les plus vulnérables aux ICU. La méthode offre aussi des éléments d'information et d'aide à la décision lors des vagues de chaleur.

Un plan d'urgences de chaleurs accablantes a déjà été intégré au plan de mesures d'urgences du Grand Lyon et au sein des Plans locaux d'urbanisme. Cette étude a permis d'appréhender la problématique des ICU d'un point de vue sanitaire et d'appliquer les connaissances de la microclimatologie urbaine à la caractérisation de l'exposition aux fortes chaleurs en milieu urbain.

### **Discussion:**

Les cartes résultantes du traitement fait dans la région du Grand Lyon révèlent l'importance de l'impact de l'orientation des façades et des rues. Lorsqu'il y a un alignement Est-Ouest, ça accentuent les ICU par l'effet de canyon urbain, par un ensoleillement continu de la rue et des façades. Cette étude montre l'importance de faire un recoupement avec les données socio-démographiques, âges, santé, revenus, etc. pour la mise en place d'un plan d'urgence efficace dans le cas de canicules s'étendant sur plusieurs jours, pour rejoindre les populations vulnérables.

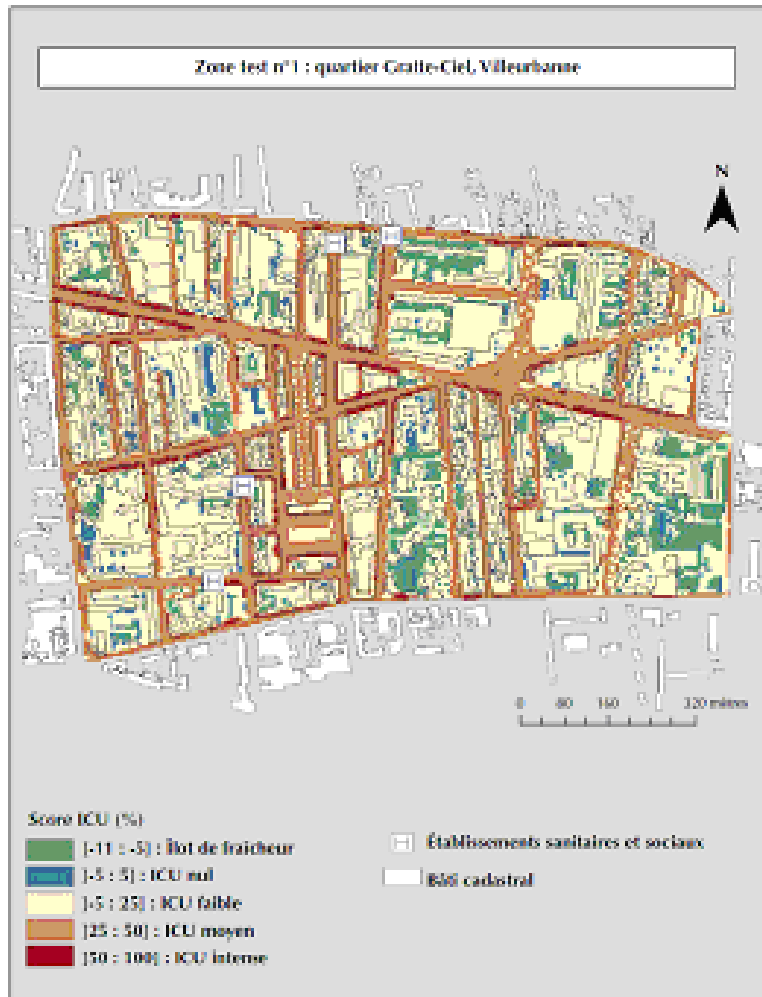


Figure 8 - Exemple de carte des ICU du Grand Lyon, ici le Centre-ville de Lyon

Ce modèle demeure trop simplifié. Il oublie certaines influences, dont la topographie, les pentes influencent la température au sol; il en est de même pour les zones ombragées et de certaines zones végétalisées; il oublie aussi l'influence du vent, entre autre par l'effet "Venturi". Cet effet se produit lorsque l'air rencontre un étranglement, des immeubles par exemple, une accélération se produit pour conserver le débit initial, ce qui cause des vents plus forts que les vents environnants (Martin, P). Ce modèle nécessite aussi une grande connaissance des matériaux des bâtiments qui ne réagissent pas tous de la même façon face au rayonnement solaire. Finalement j'aurais aimé que les auteurs élaborent aussi sur la pondération négative: «alors que l'indicateur défavorable aux ICU (lié à la végétation) a été doté de scores négatifs» (Champiat, p.402), ils ne disent que les masses d'eau ont une pondération nul.

Pour bien mesurer les oublis cités ci-haut (cadre bâtis, les zones ombragées, les zones végétalisées, la topographie et les canyons urbains), ce modèle doit être validé à l'aide de la télédétection au sol pour bien mesurer les microclimats urbains. Ces mesures pourront enrichir le modèle cartographique, celui-ci demeure une déduction de ce qui se passe au sol.

## **4.2 - Avec télédétection, étude diachronique à Montréal**

Puisque c'est une étude diachronique, plusieurs séries de cartes ont été réalisées permettant de mieux anticiper ce qui se passera dans le futur si rien n'est fait pour corriger la situation. Une série de carte met particulièrement en évidence les pratiques actuelles d'aménagement urbain qui accentuent les ICU, entre autre par la dévégétalisation.

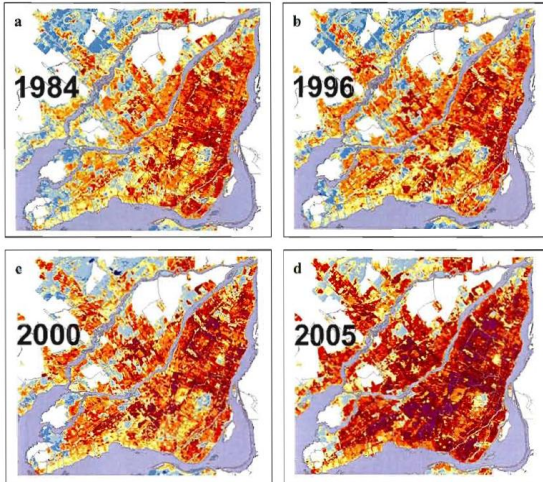
### **4.2.1 Les cartes thermiques de la région de Montréal**

Les figures 9,10 et 11 présentent la répartition des températures sur les dix dates sélectionnées, durant les mois de juin, juillet et août. Le but premier de ces cartes est la localisation spatiale des températures et dans un deuxième temps l'ampleur et l'intensité. Dans le but de simplifier l'analyse des cartes, la classification des couleurs est la même pour les trois séries. Il est important de rappeler qu'Environnement Canada utilise le seuil thermique de 33°C sur plus de 3 jours consécutifs sans atteindre le seuil de 20°C la nuit, afin d'émettre une alerte pour la chaleur accablante (Martin, P).

Ces images montrent une évolution dans les températures maximales, centrées sur la moitié centre-nord de la ville en partant du Plateau Mont-Royal, pour se répandre sur l'ensemble de l'île plus particulièrement vers le West Island; on en retrouve également aujourd'hui sur la Rive-Sud de Montréal et au centre de Laval. Les valeurs brutes issues des bandes thermiques révèlent une intensification des températures maximales au cours des deux dernières décennies peu importe les mois d'été. Les mois d'août sont moins chauds que les autres mois d'été, quelque soit l'année considérée, faut dire que les dates retenus sont celle de la fin du mois (figure 9 à 11).

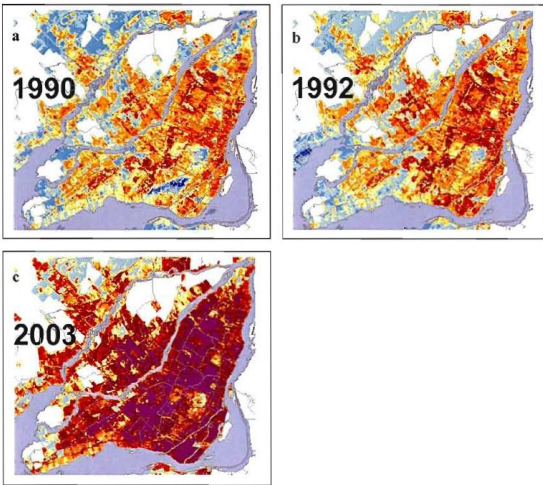
On peut voir un lien directe entre les températures de surfaces et la couverture végétale. Les espaces verts offrent non seulement beaucoup d'ombrage, mais ils captent une bonne part de la chaleur et ils contribuent significativement à la diminution de la climatisation des bâtiments. L'évapotranspiration qui correspond à la perte d'eau du feuillage ou des racines, participe directement à la baisse des températures de l'air en captant la chaleur latente. Un jour d'été, on estime qu'un grand arbre évapore jusqu'à 1 460 litres d'eau (Hanson et *al.*, 1991). La présence d'arbres favorise donc la formation de zones plus fraîches dans l'environnement urbain et contribue à la réduction de l'effet de serre. Par contre les arbres bloquent les flux radiatifs solaires incidents et le refroidissement nocturne du bâti en limitant les pertes thermiques de surface (Martin, P.)

L'impact de la météo a beaucoup influencé le choix des dates des images, un problème qui peut être difficilement résolu pour une région au climat tempéré. Cette influence a joué sur l'interprétation des données thermiques des images satellites. Si le satellite est passé au-dessus de la région de Montréal quelques heures après de fortes pluies, les capteurs ne vont pas réagir de la même façon, que s'il était passé après plusieurs jours de fort ensoleillement. Quelle a été l'influence dans la force et la direction des vents, la pression atmosphérique, le fait qu'il ait plu ou non etc.? Ce sont des questions qui pourront être développées pour le futur pour diminuer l'influence de la météo. Les conditions les plus favorables auraient été d'avoir dix images prises sous des journées ensoleillées depuis 24 heures et sans vent les ICU s'atténuent fortement lorsque les vents soufflent à plus de 11 km/h (Kassomenos et Katsoulis, 2006; Kim et Baik, 2002).



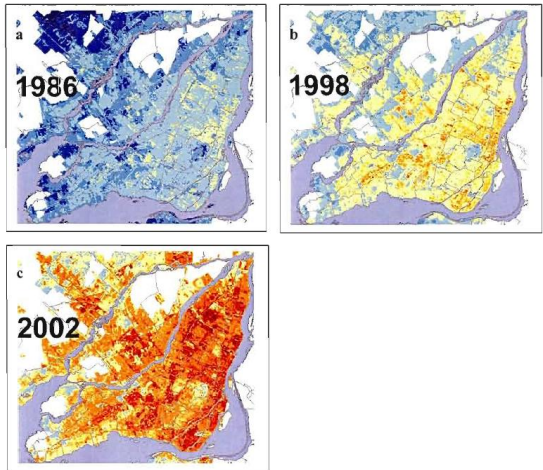
Projection NAD83, UTM18

Figure 9 - fin juin



Projection NAD83, UTM18

Figure 10 - mi-juillet



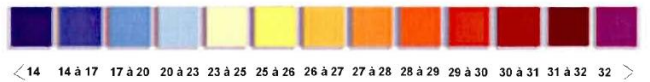
Projection NAD83, UTM18

Figure 11 - fin août

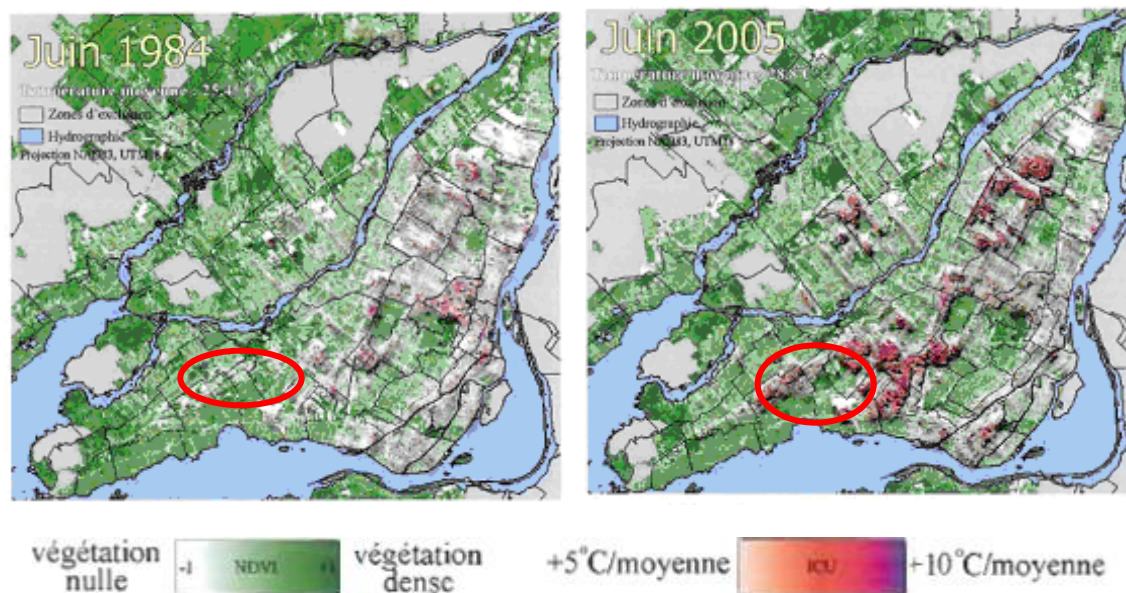
Figure 9, 10 et 11 (Martin, P)

Cartes établissant les ICU dans la région de Montréal, fin juin (figure 9), mi-juillet (figure 10) et fin août (figure 11).

La légende au centre indique la température pour chaque secteur. Certaines cartes sont "manquantes" à cause du manque de données pour ces années là, dû aux conditions météorologiques.



Cette étude démontre aussi qu'il n'y a pas nécessairement de lien entre le profil socio-économique et les ICU. Dans le West Island, il y a une importante dévégétalisation, pour laisser place à de nouvelles constructions tant des habitations que des industries ou des commerces. De plus, à Pointe-Claire et à Kirkland, ces municipalités ont aussi connu un boom immobilier ces dernières années (Wikipedia, 24 mars 2014), certains secteurs résidentiels ont peu d'arbres, voir pas du tout, les ICU s'y sont développés. Alors que la partie Est de l'île a eu très peu de changement (Figure 12).



Source: bandes thermiques et NDVI créées du capteur ETM+ de Landsat 5, 17 juin 1984 et 27 juin 2005

Figure 12 - Représentation des ICU par rapport à l'indice de végétation entre juin 1984 et juin 2005.

C'est une méthodologie que je privilégie. Elle nous permet de localiser directement où sont les ICU avec peu de manipulation. Cette méthode permet aussi de réaliser différentes études, comme celle sur la couverture végétale. Elle permet aussi de joindre d'autres types de données comme des données socio-démographique. Elle permet aussi et surtout de réaliser des études diachroniques pour analyser l'évolution.

L'idéal serait de joindre les deux études, celle de la région de Montréal et celle du Grand Lyon. De cette façon on pourrait mieux cibler les causes, les origines des ICU. Pour raffiner les données et avoir une meilleure idée de ce qui se passe réellement sur le terrain, il serait utile d'avoir recours à la télédétection au sol, puisque Landsat 5 et 7 ont une précision au 30m.

### 4.3 - Changement climatiques:

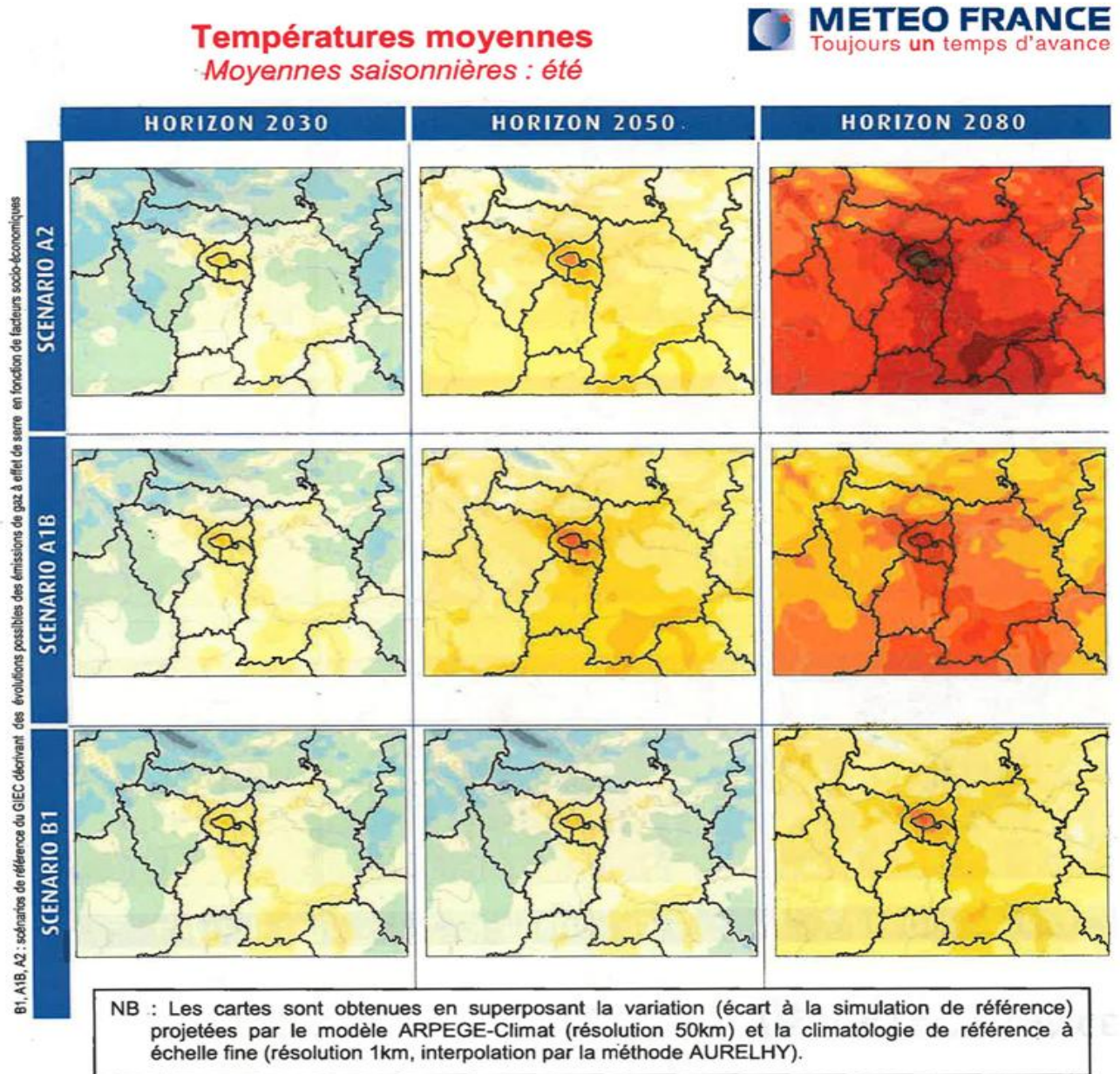


Figure 13 - Cartes établies selon trois différents scénarios du GIEC, dans la région parisienne (Cordeau, E)

Les cartes démontrent clairement que les changements climatiques influenceront grandement le milieu urbain. Peu importe le scénario. Ce qui devient préoccupant, puisque c'est un élément qui s'ajoute qui est difficilement, voir pas contrôlable. C'est aussi préoccupant étant donnée, comme vu précédemment, l'augmentation sans cesse des populations urbaines partout sur la planète. Il va falloir rendre les villes plus confortables, je traiterai de cette question un peu plus loin dans la section 4.4 de ce travail. Mais le résultat à retenir, c'est les changements climatiques affectent effectivement le climat urbain.

J'aurais bien aimé savoir pourquoi que les auteurs n'ont choisi que les scénarios A1B, A2 et B2. Est-ce que ces scénarios les confortaient dans leurs "croyances" ou est-ce que ces scénarios sont les plus plausibles?

#### 4.4 - Résultats attendus

Comme je l'ai dit plus haut, les résultats obtenus pourraient servir à améliorer les techniques et méthodes déjà utilisées pour localiser les ICU pour n'importe quelle ville ou métropole où quelle soit. Les résultats pourront, également, suivre l'évolution spatio-temporelle des ICU et ultimement, permettre aux autorités d'établir des politiques, des règlements, des aménagements appropriés pour réduire l'effet des ICU. Ce que l'on verra de façon plus approfondi dans cette section.

En regardant les cartes réalisées selon les diverses méthodes de localisation des ICU, on constate que ceux-ci sont localisés dans les zones de fortes densité du cadre bâti, mais aussi dans les endroits de fortes circulations automobiles et des zones entourées d'immenses stationnements. Le transport est donc un facteur important dans la création des ICU, il y a la présence de canyon urbain.

L'aménagement urbain n'est plus à repenser, on ne compte plus le nombre d'études sur les ICU et sur la manière d'atténuer leurs effets; nous en sommes maintenant à transformer les villes en appliquant ces mesures d'atténuations. À Montréal et dans certaines villes, la mode est à la densification des quartiers centraux, pour réduire l'utilisation du mode de transport auto-solo. Ce faisant, les villes densifient leurs quartiers centraux, mais est-ce vraiment la solution? La réponse est oui, mais pas de la façon que la densification se fait présentement à Montréal.

##### 4.4.1 - Réalité:

La densification se fait au grés des développeurs et promoteurs immobiliers, je me pose des questions sur certains changements de zonage; des terrains où il n'y avait qu'un duplex avec une cours avec des végétaux (photo 1) sont rasés pour faire place à une nouvelle construction multi logements où presque chaque centimètre carré est construit ou asphalté (photo 2 et 3).



Photo 1 - Duplex du 4239 rue Parthenais, Montréal, avant sa démolition (Google Street View, 23 avril 2014).



Photos 2 et 3 - Nouvelles habitations qui occupent tout l'espace du 4239 Parthenais à Montréal. Photo: Denis Hébert, 23 avril 2014

Ces pratiques se répètent trop souvent aujourd'hui. Il aurait été plus simple de permettre de construire un ou deux étages supplémentaires (photo 4) pour augmenter la densité sans détruire la végétation.



Photo 4 - Exemple de densification par l'ajout d'étages ([www.surlestoits.net](http://www.surlestoits.net))

La densification est un concept qui est à la fois simple mais qui peut être nébuleux dans la réalité. La densification urbaine est un concept qui consiste à faire vivre davantage de population sur un même espace urbain (Densification urbaine, Wikipedia, 6 février 2014)



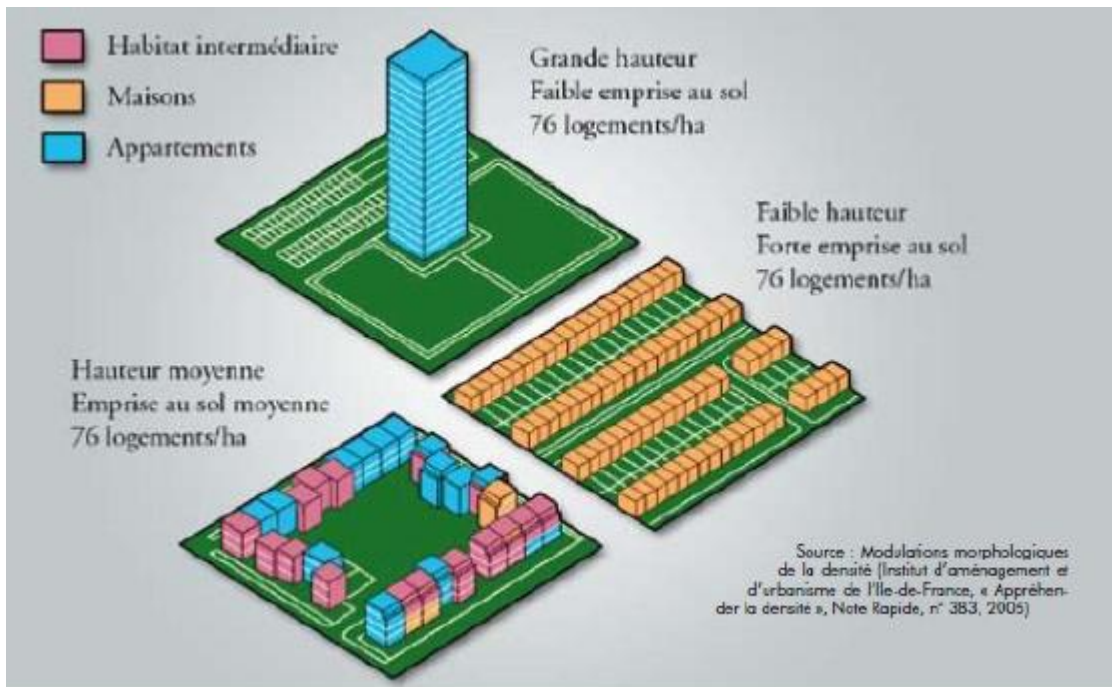


Figure 14 - Exemple de terrains ayant la même densité urbaine  
Source: Terreal, octobre 2012

Comme la figure 14 le démontre, la densification urbaine a différentes possibilités d'application. Certaines occupent plus d'espace que d'autres, certaines créent des ICU, d'autres non. Il n'en dépend qu'au niveau politique d'appliquer les bonnes solutions pour avoir des villes saines et plus fraîches.

#### 4.5 - Ce qui m'a remis en question

Ce sont des études très intéressantes que j'ai lues, mis à part les aspects techniques, je me suis surtout attardé sur l'aspect de gestion et d'application des outils de planification. Entre autres, que les changements climatiques sont là, ils nous affectent, ils accentuent les effets des ICU, donc des microclimats urbains. Lutter contre les changements climatiques, c'est bien, mais il faut aussi mettre des mesures d'atténuation qui vont de toute façon améliorer le climat urbain.

Parmi ces mesures au niveau de l'aménagement, ce travail m'a fait réaliser certains aspects de l'aménagement urbain, comme l'alignement Est-Ouest des rues cause un canyon urbain emprisonnant l'air chaud. Ce type de rue est à éviter pour de nouveaux aménagements. Les ICU peuvent avoir différentes origines (figure 15), que ces causes se mêlent et aggravent les effets des ICU.

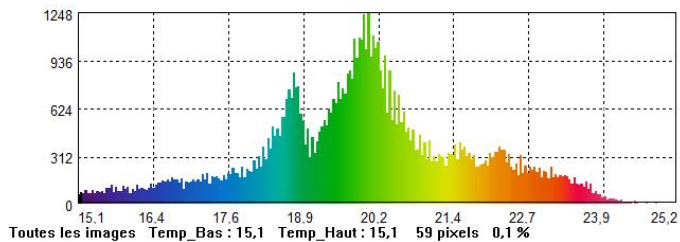
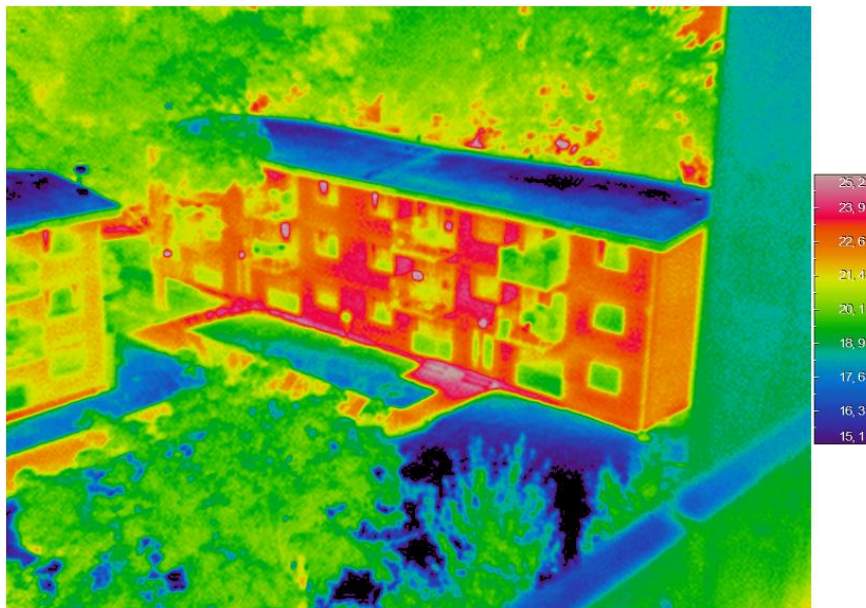
Pour avoir une réelle idée des effets des ICU dont les problèmes sont surtout vécus la nuit, puisque le refroidissement n'est pas suffisant grand pour que les résidents aient une période de rafraîchissement; il faudrait faire des relevés thermiques au sol la nuit, pour encore mieux localiser où sont les véritables ICU.

Au niveau des techniques d'atténuation, les toits verts ne sont pas aussi efficaces qu'on le dit (figure 16). La végétalisation des murs est beaucoup plus efficace et beaucoup moins coûteuse.

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

Source : Adapté de Lachance et al. 2006.

Figure 15 - Causes de la formation des ICU



Nom:T00030IR.JPG  
date de mesure:2012/09/02  
Temps de mesure:01:21:18  
Commentaires:  
Caméra Type:R300Z  
Gamme:1[-20,0C-60,0C]  
Mode image:S4x-  
lentille extérieure:f = 30mm  
émissivité:1.00  
Environnement Température: 24,4C  
Thermal imagex1,00

Figure 16 - Température prise à 1h20 du matin. Le toit est plus froid que la température extérieure.

## 5 - Conclusion

Les climats urbains bien qu'ils aient été étudiés depuis l'antiquité n'ont pas toujours révélé leurs secrets. Les modèles et les méthodologies continuent de se raffiner pour mieux les localiser et pour mieux trouver la cause. Nous en sommes aussi à la mise en place de nouvelles pratiques d'aménagement urbain, seul la volonté politique semble faire défaut pour au moins atténuer ce que sont maintenant les erreurs du passé.

Les ICU ne peuvent être causés que par les humains. C'est nous qui aménageons les territoires qu'ils soient urbains ou ruraux. Les ICU sont le résultat indéniablement de l'organisation spatiale des villes et de la densité d'espaces verts qu'elles offrent. Les zones bâties qui ne sont pas revégétalisées, deviennent des puits de chaleur dans lesquels cette dernière est emmagasinée.

La télédétection a la capacité d'observer l'évolution de ces différences de température de façon spatio-temporelle. Elle offre ainsi la possibilité aux autorités publiques de mieux comprendre et de prévoir l'évolution thermique d'une ville où quelle soit. Ce travail s'appuie sur des études réalisées dans d'autres villes du monde qui ont trouvé un lien direct entre la variation des températures et les modifications des types d'occupation du sol. C'est un domaine prometteur en considérant l'urbanisation galopante de la planète, ajouté à cela les changements climatiques qui risquent d'exacerber les vagues de chaleurs. Les villes doivent prendre des mesures pour rendre leur environnement agréable et sain. C'est une question de santé publique.

En terminant, pour répondre à mon questionnement du début, à savoir qu'est-ce qui influence le plus le climat urbain et ses microclimats, à savoir le climat à proprement dit, le cadre bâti ou les changements climatiques? C'est un peu se poser la question de l'œuf ou de la poule. Par contre sur les trois, seul le cadre bâti peut être modifié rapidement.

## Références/Bibliographie

Anquez, P et Herlem, A, Les îlots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal : causes, impacts et solutions, Chaire de responsabilité sociale et du développement durable, UQAM, avril 2011, document pdf, consulté le 16 mars 2014, à partir de: [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)

Banque mondiale, Population urbaine (% du total), consulté le 20 avril 2014, à partir de: <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.URB.TOTL.IN.ZS/countries/1W?display=graph>

Baudouin Y., Leprince J. et Perez C., 2007, *Représentations cartographiques de la Communauté urbaine de Montréal*, Conseil régional de l'environnement de Laval, 200 p.

Bouchard M. et Smargiassi A., 2007, *Estimation des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique au Québec : essai d'utilisation du air quality benefits assessment tool (AQBAT)*, Institut National de Santé publique du Québec, 59 p. Disponible à cette adresse : [http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/817\\_ImpactsSanitairesPollutionAtmos.pdf](http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/817_ImpactsSanitairesPollutionAtmos.pdf)

Cavayas F. et Baudouin Y., 2008, *Étude des biotopes urbains et périurbains de la CMM, Volets 1 et 2 : Évolution des occupations du sol, du couvert végétal et des îlots de chaleur sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal (1984-2005)*. Conseil Régional de l'Environnement de Laval 123p.

Champiat, C, Identifier les îlots de chaleur urbains pour réduire l'impact sanitaire des vagues de chaleur, Environnement, Risques et Santé, septembre-octobre 2009.

Conseil régional de l'environnement de Montréal (CRE de Montréal), 2010, *Guide sur le verdissement pour les propriétaires institutionnels, commerciaux et industriels*, 42 p. Disponible à l'adresse suivante : [http://www.cremtl.qc.ca/fichiers-cre/files/SBM2010/Guide\\_Verdissement\\_Entreprises.pdf](http://www.cremtl.qc.ca/fichiers-cre/files/SBM2010/Guide_Verdissement_Entreprises.pdf)

Cordeau, E, IAU île-de-France, Le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU), et ses conséquences 2e colloque national PCET – Atelier n°9 « Adapter les villes aux ICU », consulté le 16 mars 2014, à partir de : <http://fr.slideshare.net/IAUIDF/le-phnomne-dlot-de-chaleur-urbain-icu-et-ses-consquences>

Environnement Canada., 2007, *À propos de la CAS*. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.ec.gc.ca/cas-aqhi/default.asp?lang=Fr&xml=BD834AFE-250E-4D6A-B0CEDCF4D4F8B4C6>

Environnement Canada., 2011, *Le SMOG*. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=Fr&n=13D0EDAA-1>

Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Third Assessment Report, Watson, R.T. and the Core Writing Team, Genève. 184 p

GIEC, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, communiqué de presse du 27 septembre 2013, *Selon un rapport du GIEC, l'influence de l'homme sur le climat est claire*, [http://www.ipcc.ch/news\\_and\\_events/docs/ar5/press\\_release\\_ar5\\_wgi\\_fr.pdf](http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/press_release_ar5_wgi_fr.pdf)

Giguère M., 2009, *Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains*, Institut National de Santé publique du Québec. 77 p. Disponible à l'adresse suivante : [http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/988\\_MesuresIlotsChaleur.pdf](http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/988_MesuresIlotsChaleur.pdf)

Hanson, R., R. W. Chase, E. B. Roberts, and D. W. Moody. 1991. «Evapotranspiration and Droughts, in Paulson. Compilers, National Water Summary 1988-89--Hydrologic Events and Floods and Droughts: U.S». *Geological Survey Water-Supply Paper 2375*, p. 99-104.

Kassomenos, P. A., and B. D. Katsoulis. 2006. «Mesoscale and macroscale aspects of the morning Urban Heat Island around Athens, Greece». *Meteorological. Atmospheric. Physics.*, 67,1-10.

Lachance G., Baudouin Y. et Guay F., 2006, *Étude des îlots de chaleur montréalais dans une perspective de santé publique*. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.inspq.qc.ca/bise/post/2006/06/15/Etude-des-ilots-de-chaleur-montrealais-dans-une-perspective-de-sante-publique.aspx>

Morgane Colombert, Jean-Luc Salagnac, Denis Morand et Youssef Diab, « Le climat et la ville : la nécessité d'une recherche croisant les disciplines », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Hors-série 12 | mai 2012, mis en ligne le 04 mai 2012, consulté le 05 février 2014. URL : <http://vertigo.revues.org/11811> ; DOI : 10.4000/vertigo.11811

Paroli R.M. et Elmahdy. H., 2009, *Les toitures et la conservation de l'énergie*. Conseil national de recherches (CNRS) Institut de recherche en construction (NRC). Disponible à l'adresse suivante : [http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/bsi/2009/roofing\\_f.pdf](http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/bsi/2009/roofing_f.pdf)

Oke, T. R. and C. East, 1971: "The urban boundary layer in Montreal," *Boundary-Layer Meteorology*, 1, 411-437.

Oke, T. R., 1973: "City size and the urban heat island," *Atmospheric Environment*, 7, 769-779

Oke, T. R. and G. B. Maxwell, 1975: "Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver," *Atmospheric Environment*, 9, 191-200.

Roth, M., Oke, T.R. et Emery, W.J. 1989. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*. 10 : 1699- 1720.

Statistique Canada, Population urbaine et rurale, par province et territoire (Québec), dernière modification: 13 février 2013, consulté en ligne le 20 avril 2014, à partir du site: <http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l02/cst01/demo62f-fra.htm>

Trottier A., 2008, *Toitures végétales : implantation de toits verts en milieu institutionnel. Étude de cas :UQAM*, 80 p.

Ville de Montréal., 2004, *Plan d'urbanisme de Montréal*. Disponible à l'adresse suivante : [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=2761,3096665&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=2761,3096665&_dad=portal&_schema=PORTAL)

Ville de Montréal, 2005, *Politique de l'arbre de Montréal*. La Ville, Montréal. 29 p. Disponible à l'adresse suivante : [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/portail\\_fr/media/documents/politique\\_arbre.pdf](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/portail_fr/media/documents/politique_arbre.pdf)

Ville de Montréal, 2005, *Plan de développement durable de la collectivité montréalaise 2010-2015*. La Ville, Montréal. Disponible à l'adresse suivante : [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/PES\\_PUBLICATIONS\\_FR/PUBLICATIONS/PLAN\\_2010\\_2015.PDF](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/PES_PUBLICATIONS_FR/PUBLICATIONS/PLAN_2010_2015.PDF)

Ville de Montréal., S.D, *Le Plan de transport à l'échelle des citoyens « 21 chantiers pour réinventer Montréal en dix ans! »*. Disponible à l'adresse suivante :

[http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/TRANSPORT\\_V2\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/dep  
liant\\_plan.pdf](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/TRANSPORT_V2_FR/MEDIA/DOCUMENTS/dep<br/>liant_plan.pdf)

Ville de Montréal., 2011, *Rénovation à la carte*. Disponible à l'adresse suivante :  
[http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/HABITER\\_V2\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/FEUILL  
ET\\_RENOVATION\\_A\\_LA\\_CARTE.PDF](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/HABITER_V2_FR/MEDIA/DOCUMENTS/FEUILL<br/>ET_RENOVATION_A_LA_CARTE.PDF)

Voogt, J.-A, 2002, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Urban Heat  
Island Basics, Environmental Protection Agency's Office of Atmospheric Programs, consulté en  
ligne à partir de: <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/BasicsCompendium.pdf>

Voogt, J. A. 2004. Application of a 3-D urban surface-sensor sun model to estimate urban 5th,  
*thermal anisotropy for a range of urban geometries*. Symposium of the Urban Environment,  
American Meteorological Society, 23-26 Aug. 2004 Vancouver, BC, Canada.

Voogt J.2007 How researchers measure urban heat islands. Washington, : USEPA,  
[www.epa.gov/heatisd/resources/news.html](http://www.epa.gov/heatisd/resources/news.html).

Voogt, J.A. 2008 'Assessment of an urban sensor view model for urban thermal anisotropy'  
*Remote Sensing of Environment* 112: 482-495

Densification urbaine. (6 février 2014). *Wikipédia, l'encyclopédie libre*. Page consultée le 20  
avril 2014 à partir de  
[http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Densification\\_urbaine&oldid=100956686](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Densification_urbaine&oldid=100956686).

Population urbaine. 20 février 2014. *Wikipédia, l'encyclopédie libre*. Page consultée le 16 mars  
2014, à partir de  
[http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Population\\_urbaine&oldid=101435772](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Population_urbaine&oldid=101435772).

"Urban canyon." Wikipedia contributors. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 15 Apr. 2014. Web.  
20 Apr. 2014. [http://en.wikipedia.org/wiki/Urban\\_canyon](http://en.wikipedia.org/wiki/Urban_canyon)

"Pointe-Claire." Wikipedia contributors. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 21 Mar. 2014. Web.  
22 Apr. 2014. <http://en.wikipedia.org/wiki/Pointe-Claire>

Yoshino, M., 1990-1991, Development of urban climatology and problems today, *Energy and  
buildings*, vol. 15, pp. 1-10.

## **Photos:**

Canyon urbain, POLLUTION: Des espaces verts intelligents pour la réduire 8 fois plus, Santé  
blog, mis en ligne le 21 juillet 2012, consulté le 20 avril 2013, à partir de:  
[http://blog.santelog.com/2012/07/21/pollution-des-espaces-verts-intelligents-pour-la-reduire-  
8-fois-plus-environmental-science-technology/](http://blog.santelog.com/2012/07/21/pollution-des-espaces-verts-intelligents-pour-la-reduire-<br/>8-fois-plus-environmental-science-technology/)

Hébert, Denis, *Parthenais-Rachel*, crédit photographique, Montréal, 23 avril 2014, Creative  
commons, paternité, utilisation non-commerciale et interdiction de modification.

Meslin, S, Canyon urbain, crédit photo, Stiphotographe, mis en ligne en mai 2010, consulté en  
ligne à partir de: <http://stiphotographe.blogspot.ca/2010/05/canyon-urbain.html>