

RÉSUMÉ

CONSERVATION DES ÎLOTS DE FRAÎCHEUR URBAINS

DESCRIPTION DE LA MÉTHODE SUIVIE POUR IDENTIFIER ET LOCALISER LES ÎLOTS DE FRAÎCHEUR ET DE CHALEUR

Présenté à :

**Institut national de santé publique
du Québec**

Pierre Gosselin

Préparé par :



Emmanuelle Boulfroy, M.Sc.

Jalal Khaldoune, géographe, Ph.D.

Frank Grenon, biol., Ph.D.

Et



Richard Fournier, Ph.D., professeur titulaire

Juin 2012

1. Cadre méthodologique général

Une première cartographie des îlots de chaleur a été élaborée en 2010. Suite aux demandes des utilisateurs de SUPREME formulées depuis, il a été décidé de bonifier cette première cartographie et d'en développer une nouvelle, élargie aux zones moins peuplées qui sont contigües aux zones urbaines et dont la résolution serait meilleure. La cartographie des îlots de chaleur et de fraîcheur repose sur un modèle spatial de prédiction de la **température relative de surface**, appliqué à l'ensemble des zones habitées de plus de 400 habitants par km² au Québec.

Le projet dans lequel s'inscrit l'élaboration du modèle prédictif présente donc le défi de développer une **méthode qui devra être appliquée à un très grand territoire d'étude** (tout le Québec urbain), **et ce, avec une enveloppe budgétaire limitée**. Dans ce contexte, certains choix méthodologiques ont été faits, de manière à permettre l'élaboration d'un modèle applicable pour tout le Québec urbain, selon un coût raisonnable.

La méthode utilisée est une adaptation d'un précédent modèle de prédiction de la température de surface, utilisant des images Landsat (Kestens *et al.*, 2011¹). Il a été décidé, en premier lieu, d'utiliser le même cadre méthodologique et sensiblement les mêmes variables explicatives que pour le modèle développé par Kestens *et al.* (2011), avec quelques ajustements (par exemple, l'ajout de quelques classes d'occupation du sol). Les variables explicatives à tester dans le nouveau modèle prédictif ont donc été choisies *a priori*, et l'amélioration du pouvoir prédictif du modèle de température devait provenir principalement de l'augmentation de la résolution du type d'image satellitaire utilisé. En effet, la nouvelle approche propose d'utiliser des images satellitaires du capteur SPOT-5 dont la résolution est de 20 m, comparativement à 60 à 100 m dans le cas des bandes thermiques des images Landsat. Notons que parmi le choix de ces variables, deux modifications au modèle initial ont tout de même été apportées, ayant été identifiées par les auteurs de ce dernier comme des pistes intéressantes d'amélioration (ces changements sont présentés dans la section qui décrit les variables explicatives).

2. Données utilisées pour l'élaboration du modèle

Un sous-échantillonnage du territoire d'étude a été réalisé pour l'élaboration et la validation du modèle. Seize images acquises avec le capteur SPOT-5 ont été sélectionnées, de manière à couvrir l'ensemble de l'étendue géographique du territoire d'étude et toute la diversité du tissu urbain retrouvé au Québec. Pour chaque secteur couvert par une scène SPOT-5, la sélection d'une image acquise par le capteur Landsat ETM+ a été réalisée dans le but d'obtenir la mesure réelle de température, étant donné que les images SPOT-5 ne disposent pas de bande thermique. La sélection des 15 images Landsat dans les archives disponibles a été réalisée de manière à ce que leur date d'acquisition soit la plus proche possible (en termes de date journalière) de celle des images SPOT-5 correspondantes. Dans certains cas, il a été nécessaire d'avoir recours à des images prises à des années différentes mais rapprochées le plus possible de l'année de référence. Le tableau suivant présente les dates d'acquisition des images SPOT-5 et Landsat ETM+

¹ Kestens, Y., A. Brand, M. Fournier, S. Goudreau, T. Kosatsky, M. Maloley et Audrey Smargiassi. 2011. *Modelling the variation of land surface temperature as determinant of risk of heat-related health events*. International Journal of Health Geographics, p. 2-9.

correspondantes. À trois reprises, deux images Landsat ont été nécessaires pour couvrir toute l'étendue de l'image SPOT correspondante.

Date de la scène de l'image SPOT-5				Date de l'image Landsat correspondante		
Année	Mois	Jour	id*	Année	Mois	Jour
2005	8	26		2005	8	6
2006	7	19		2006	7	19
				2007	7	29
2006	8	30	a	2008	8	21
2006	8	30	b	2007	7	25
2007	6	18		2011	6	15
2007	8	2		2007	8	21
				2007	8	5
2007	8	28		2007	8	21
2007	9	4	a	2007	8	21
2007	9	4	b	2008	8	21
2008	7	7		2010	7	23
				2005	7	17
2008	8	21		2008	8	26
2009	8	15		2010	8	20
2009	9	6		2010	6	17
2010	6	21		2010	6	17
2010	9	1		2010	8	20
2011	7	2		2011	7	10

* Deux images ont été prises la même journée mais ne sont pas localisées au même endroit.

La variable dépendante du modèle, soit la température de surface, est calculée à partir de la bande thermique (bande 6) des images Landsat. Le choix d'utiliser des images Landsat pour calculer la variable dépendante du modèle repose sur la décision d'utiliser le même cadre méthodologique que pour le modèle développé par Kestens *et al.* (2011).

Étant en présence de plusieurs images Landsat prises dans des conditions météorologiques pouvant être très différentes, la plage de températures de surface couverte sur chaque image peut être, elle aussi, très variable d'une image à l'autre. Malgré ce constat, il a néanmoins été décidé de ne pas normaliser la donnée de température réelle à l'échelle des 15 images Landsat, mais plutôt d'utiliser les valeurs brutes de température calculées à partir du canal thermique pour chaque image Landsat. Cette décision a été dictée par l'incertitude concernant la plus-value de l'étape de normalisation (dans certains cas, la normalisation nivelle certaines informations qui pourraient influencer la sélection des variables explicatives significatives du modèle) dans un contexte où les budgets ne permettaient pas de faire plusieurs essais. Il est également essentiel de ne pas s'écarter de l'objectif final du modèle, qui consistait à produire une cartographie de température relative permettant de distinguer les zones les plus fraîches des zones les plus chaudes. Dans cette situation, on pose donc l'hypothèse que l'approximation éventuelle du

modèle liée à la présence de plages de températures de surface variables d'une image Landsat à l'autre ne devrait pas affecter de manière importante le résultat final recherché.

Les variables explicatives du modèle qui se sont avérées significatives dans la procédure de régression statistique et qui ont été retenues dans le nouveau modèle sont :

- Indice de végétation NDVI, calculé à partir des images SPOT-5;
- Indice d'imperméabilité, calculé à partir des images SPOT-5 (variable ajoutée par rapport au modèle initial);
- Classes d'occupation du sol provenant des images SPOT-5 : (1) zone urbaine pure correspondant aux chaussées, toits de maisons, édifices de grandes surfaces, pistes d'atterrissage, (2) zone urbaine mixte correspondant aux maisons et édifices avec présence de végétation, (3) forêt correspondant aux zones végétalisées dominées par les arbres, (4) zone de basse végétation correspondant aux champs agricoles, parcs récréatifs, jardins communautaires, terrains de sport, terrains ouverts et (5) eau (le choix d'avoir 5 classes constitue une amélioration comparativement au modèle initial, qui ne comportait que 3 classes : forêt, eau et bâti-sol nu);
- Localisation (coordonnées X et Y);
- Distance par rapport à l'eau;
- Altitude;
- Température moyenne de l'air lors de la journée d'acquisition de l'image Landsat provenant de relevés météorologiques;
- Moyenne des températures 72 heures avant la date d'acquisition des images Landsat provenant de relevés météorologiques.

3. Élaboration et validation du modèle

Un échantillonnage de 35 099 pixels stratifié selon les classes d'occupation du territoire a été réalisé. Le modèle de prédiction de la température a été établi selon une approche par modèle mixte. L'analyse statistique a montré que le NDVI et l'occupation du sol sont les deux variables complémentaires qui présentent les plus fortes valeurs explicatives dans le modèle. Le coefficient de corrélation (R^2) du modèle est de 0,67 avec une erreur quadratique moyenne (RMSE) de 2,35°C, soit 9,6 %.

Le modèle théorique obtenu a été validé à partir de points d'échantillonnage non utilisés pour la construction du modèle. À cette fin, des valeurs prédites ont été obtenues par itération pour l'ensemble des données de l'échantillon. À chaque itération, 90 % des données ont servi à prédire le 10 % restant utilisé pour la validation. La validation du modèle montre également un coefficient de corrélation (R^2) de 0,67 entre les valeurs observées et prédites. Quant à l'erreur quadratique moyenne (RMSE) de validation, elle est de 2,36°C, soit 10,1 %. La relation linéaire entre les valeurs observées et prédites présente une pente de 1 et une ordonnée à l'origine qui n'est pas significativement différente de zéro.

4. Application du modèle à l'ensemble du territoire d'étude pour la production de la carte de température relative

Le modèle développé a été appliqué à chacune des 67 images SPOT-5 acquises entre 2005 et 2011 et couvrant toutes les zones urbaines du Québec. Parmi ces 67 images, la grande majorité

(85 %) a été acquise en 2007 ou lors d'années ultérieures. La carte résultante de la température de surface permet de localiser avec une précision aux 20 m près, selon un gradient relatif, les zones couvertes par le spectre de températures les plus chaudes (îlots de chaleur) et les zones couvertes par le spectre de températures les plus froides (îlots de fraîcheur) en milieu habité.

Cinq niveaux de températures relatives ont été retenus pour distinguer les îlots de fraîcheur des îlots de chaleur. La représentation spatiale de la distribution des cinq niveaux de température a été réalisée scène par scène, étant donné que l'amplitude des températures observées au sein d'une même scène varie d'une scène à l'autre. Ces différences entre scènes s'expliquent par le fait que les images n'ont pas toutes été prises dans des conditions météorologique semblables.

La représentation spatiale de température en cinq niveaux utilise la méthode de Jenks, disponible dans ArcGIS, qui est une méthode inductive consistant à choisir les seuils qui maximisent la variance interclasse et minimisent la variance intraclasse. Si la distribution comporte des discontinuités (zones de faible densité des valeurs), celles-ci seront nécessairement détectées par la méthode de Jenks, qui constitue une variante rigoureuse de la méthode bien connue des « seuils naturels ». Notons que plusieurs tests de nombres de classes ont été réalisés, de manière à comparer les éléments que l'on retrouve dans chaque niveau. Le contenu de niveau de température provient d'une analyse visuelle de l'occupation du sol en utilisant des images de haute résolution (Google Earth). Ces tests ont permis de confirmer que l'utilisation de 5 niveaux était optimale pour identifier les zones les plus chaudes correspondant à une concentration élevée de surfaces imperméables et recoupant les zones identifiées comme des îlots de chaleur dans l'analyse de Kestens *et al.* (2011) (l'application à des images SPOT-5 a toutefois permis d'affiner la représentation spatiale à des pixels de 20 m). Avec un découpage en 5 niveaux, il est également apparu qu'il était possible de distinguer, parmi les 2 niveaux les plus froids, les zones boisées des zones végétalisées plus ouvertes. Après vérification des cartes de niveaux de températures obtenus, il s'est avéré qu'il existait une confusion entre les champs agricoles nus et les îlots de chaleur. La température prédite pour les terres agricoles nues s'apparente en effet à celle des îlots de chaleur, de par leur signature spectrale qui présente de fortes similitudes avec les zones hautement imperméables. Pour éviter des erreurs d'interprétation dues à cette confusion, les îlots de chaleur localisés en zone agricole sont associés à un sixième niveau qui leur est propre et remplace celui qui caractérise les îlots de chaleur en zone urbaine. Cette nouvelle classe évite donc la confusion possible entre les îlots de chaleur et la présence de champs agricoles nus.

Rappelons enfin que cet exercice de cartographie des températures de surface relatives comporte diverses sources d'imprécision souvent non contrôlables (les diverses dates d'acquisition des images satellitaires, qui entraînent des conditions météorologiques qui peuvent être variables d'une image à l'autre, les conditions atmosphériques présentes, etc.) qui doivent être considérées lors de l'interprétation. Certains choix méthodologiques ont également été faits en lien avec les contraintes budgétaires et temporelles du projet (dont l'adaptation d'un modèle déjà existant). Les classes de températures de surface relatives doivent donc être considérées comme des indicateurs robustes, permettant d'identifier et de localiser les îlots de fraîcheur et de chaleur dans un milieu urbain. Nous sommes confiants que ces résultats pourront être utiles aux fins de planification et d'intervention en santé publique et protection civile, tant par les autorités sanitaires que municipales.