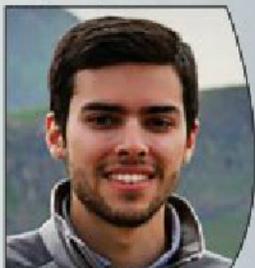




**Emmanuelle Boulfroy**

Emmanuelle Boulfroy obtient son diplôme d'ingénieure agronome (1994) à l'École Nationale Supérieure d'Agronomie de Montpellier en France (nouvellement Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques Montpellier SupAgro) et sa maîtrise en ressources renouvelables à l'Université du Québec à Chicoutimi (1996). Elle est chargée de projet au CERFO depuis 2000 et se spécialise en écologie forestière, en aménagement écosystémique et en foresterie urbaine.



**Mathieu Varin**

Mathieu Varin détient un baccalauréat (2011) et une maîtrise (2013) en géomatique appliquée de l'Université de Sherbrooke. Depuis deux ans, il travaille au sein du CERFO à titre de chargé de projet en géomatique et télédétection, où il se spécialise en analyses spatiales et en utilisation de capteurs actifs (lidar) et passifs (hyperspectral).



**Frank Grenon**

Frank Grenon est chargé de projet au CERFO depuis janvier 2007. Il est biologiste et détient une maîtrise en ressources renouvelables de l'UQAC ainsi qu'un doctorat en biologie de l'Université de Sherbrooke. Il est présentement en charge du développement de l'expertise du Centre en aménagement écosystémique des forêts. Ses champs d'activité sont l'écologie et la sylviculture, et ce, autant en recherche appliquée que fondamentale.

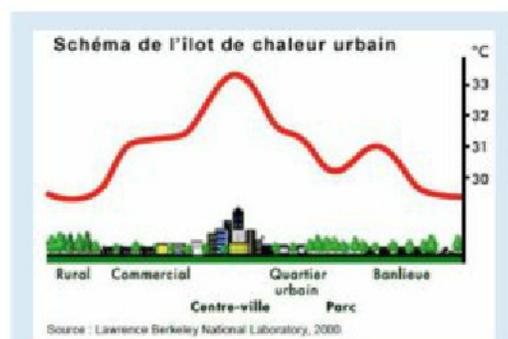
## La cartographie des îlots de chaleur et de fraîcheur en milieu urbain : un outil d'aide à la décision intéressant

Depuis quelques décennies, on ne peut plus nier la réalité des changements climatiques à l'échelle mondiale. La hausse constante de la température ainsi que la présence de périodes de températures extrêmes, en particulier en été, sont davantage accentuées en milieu urbain, créant alors un problème affectant sérieusement les citoyens : l'effet des îlots de chaleur urbains.

Il devient donc urgent de mettre en place des mesures pour lutter contre les effets nocifs de ces îlots de chaleur en milieu urbain et les minimiser. Une gestion efficace de la végétation en milieu urbain, comprenant la formation de zones de fraîcheur urbaines (ou îlots de fraîcheur), est l'une des principales solutions à ce problème. Il apparaît donc très pertinent d'élaborer un outil permettant de localiser les îlots de chaleur et de fraîcheur, à une échelle relativement fine, afin d'appuyer l'aménagement urbain des municipalités axé sur la qualité de vie des résidents de la ville. Une première cartographie des îlots de chaleur et de fraîcheur a été réalisée par le CERFO en 2011, à la demande de l'Institut national de santé publique du Québec. Cette cartographie, issue d'un modèle prédictif de la température de surface, couvrait toutes les zones urbaines de la province de Québec<sup>1</sup>. Pour la région de Québec, elle dressait un portrait en date de 2007. C'est dans ce contexte et dans le cadre de son projet Des milieux de vie en santé que Nature Québec a confié au CERFO le mandat de réaliser une mise à jour de la cartographie des îlots de chaleur et de fraîcheur pour le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ).

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

Ce phénomène se définit par des températures estivales plus élevées dans les milieux urbains que dans les zones rurales avoisinantes, pouvant entraîner des problèmes de santé importants, voire la mort, chez certains groupes de population plus vulnérables (1- individus plus



fragiles comme les personnes âgées, malades, jeunes enfants, 2- personnes défavorisées ayant moins facilement accès à des mesures permettant d'atténuer les effets des îlots de chaleur telles que l'accès à des climatiseurs, des piscines, des cours ombragées, etc., 3- personnes vivant souvent dans des quartiers plus exposés aux îlots de chaleur).

### Matériel et méthode

La cartographie des îlots de chaleur et de fraîcheur pour le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec a été réalisée à partir de données satellitaires acquises par le satellite Landsat 8, le 12 juillet 2013. Ce satellite présente l'avantage de fournir gratuitement une donnée de température de surface, calculée à partir de la bande thermique (10) du capteur Thermal Infrared Sensor (TIRS) d'une résolution spatiale de 100 m, rééchantillonnée à 30 m.

Un modèle de prédiction de la température de surface a été produit en utilisant comme variable dépendante la température de surface de la bande 10 et comme variables explicatives les données provenant du capteur OLI de Landsat 8, d'une résolution brute de 30 m, rééchantillonnée à 15 m. La température de surface obtenue à la suite de la modélisation a donc une résolution de 15 m, ce qui correspond

<sup>1</sup> Boulfroy, E., J. Khalidouni, F. Grenon, R. Fournier et B. Talbot. 2013. *Conservation des îlots de fraîcheur urbains - Description de la méthode suivie pour identifier et localiser les îlots de fraîcheur et de chaleur (méthode en 9 niveaux)*. CERFO et Université de Sherbrooke. Rapport 2012-11c. 40 pages. Note technique aussi disponible sur [www.cerfo.qc.ca](http://www.cerfo.qc.ca).

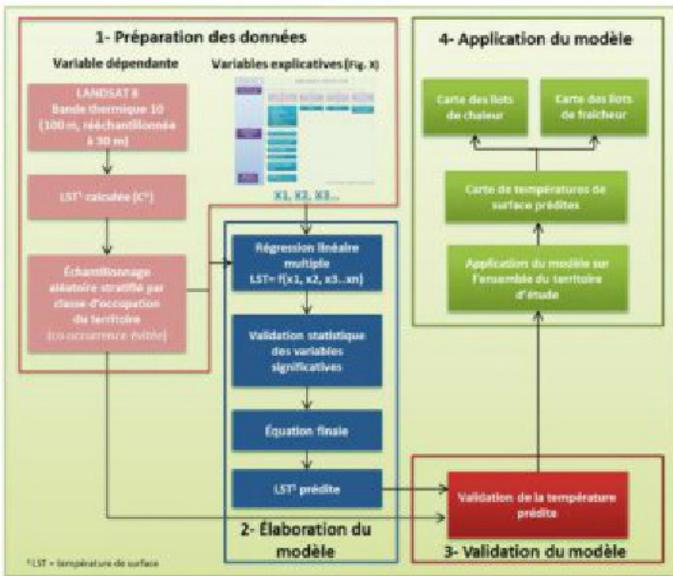


Figure 1 : Principales étapes suivies pour élaborer la cartographie des îlots de chaleur et de fraîcheur

à une donnée plus fine que celle de la température fournie par le capteur TIRS.

L'élaboration et la validation du modèle comprennent plusieurs étapes distinctes, qui sont détaillées dans la figure 1.

a) Préparation des données utilisées pour modéliser la température de surface

Plusieurs séries de variables dérivées des données du capteur OLI ont été testées, de manière à évaluer celles qui permettent d'avoir le pouvoir prédictif le plus significatif ( $p < 0,05$ ). Elles sont présentées dans la figure 2 et peuvent être regroupées en trois catégories :

- Plusieurs décrivent le type de milieu présent, qu'il s'agisse de l'occupation du territoire qui est évaluée en sept classes (Figure 3), de la présence relative de la végétation (deux indices de végétation par différence normalisée NDVI ont été testés) ou du degré d'anthropisation (présence de surfaces

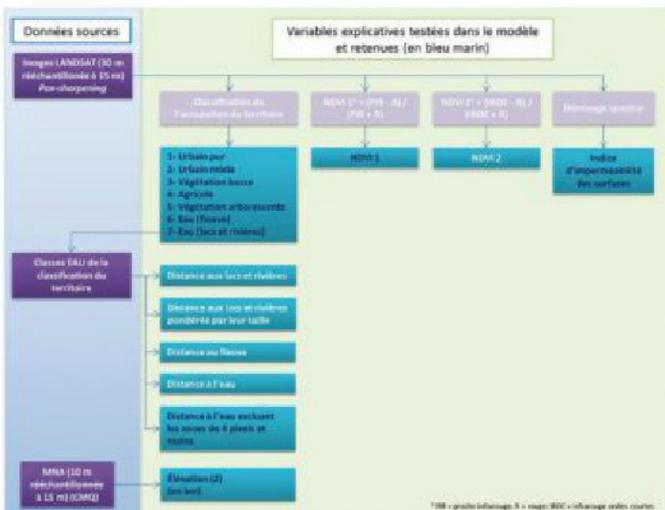


Figure 2 : Variables explicatives testées et retenues (en bleu marin) dans le modèle

imperméables comme les routes, les toitures, les stationnements, les trottoirs, etc.);

- Plusieurs caractérisent l'influence de la distance d'un plan d'eau sur le rafraîchissement de la température de surface;
- Une dernière décrit l'altitude.

Parmi toutes les variables testées, celles qui ont montré le meilleur pouvoir prédictif et qui ont par conséquent été retenues dans le modèle sont présentées en bleu marin dans la figure 2.

Qu'est-ce que le NDVI ?

Le NDVI permet d'estimer la quantité de végétation présente. Les valeurs de NDVI peuvent varier de -1 à +1. En présence de végétation, elles sont généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs supérieures de l'indice correspondent à la présence d'une couverture végétale dense et en bonne santé, alors que les nuages et la neige entraînent des valeurs de NDVI proches de 0. L'indice le plus courant se calcule à partir des bandes spectrales du proche infrarouge et du rouge (NDVI1). Un second indice a été testé en utilisant la bande de l'infrarouge à ondes courtes (bande 6) plutôt que le proche infrarouge (bande 5) (NDVI2).

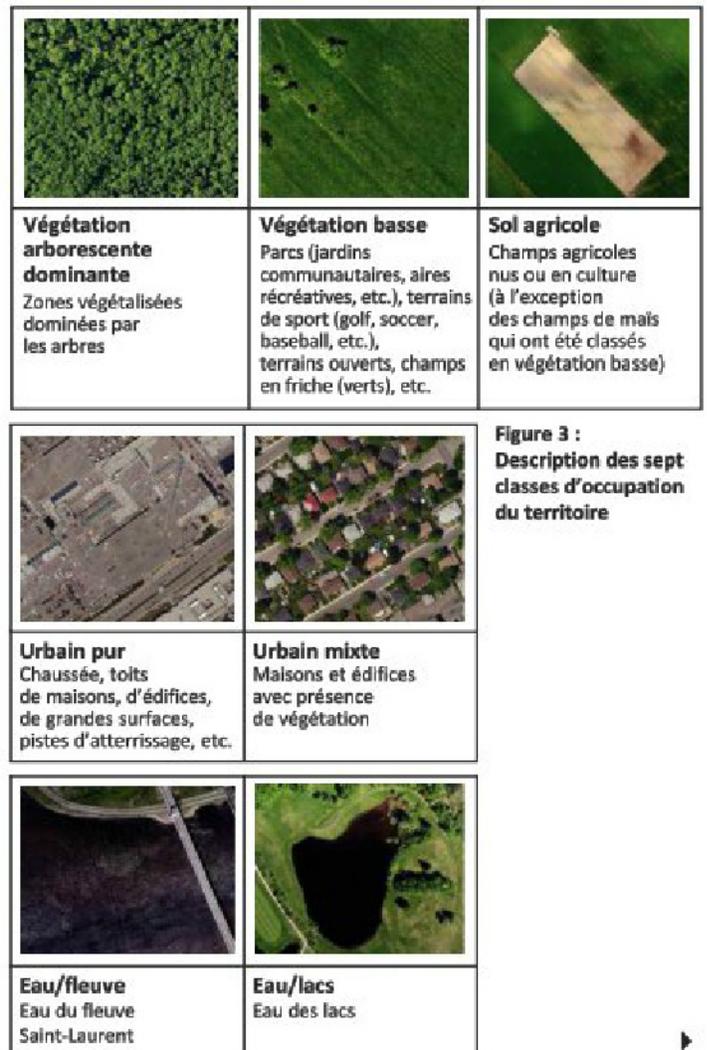


Figure 3 : Description des sept classes d'occupation du territoire

## b) Élaboration et validation du modèle

Le modèle a été construit à partir d'un échantillonnage aléatoire stratifié dans l'ensemble du territoire d'étude, permettant une sélection de 500 pixels par classe d'occupation du territoire. Le modèle de prédiction de la température a été établi selon une approche statistique par ANOVA.

Le modèle théorique obtenu a ensuite été validé à partir de points d'échantillonnage non utilisés pour la construction du modèle.

## c) Application du modèle à l'ensemble du territoire d'étude

Le modèle développé a ensuite été appliqué à l'ensemble du territoire de la CMQ, attribuant à chaque pixel une valeur de température de surface prédite issue de l'équation obtenue.

## Résultats

L'analyse statistique a montré que l'occupation du territoire présente la plus forte valeur explicative dans le modèle, suivie de l'altitude et du NDVI. Le coefficient de détermination ( $R^2$ ) du modèle est de 0,84, ce qui est très satisfaisant. Ceci signifie que les variables retenues dans le modèle expliquent 84 % de la variabilité de la température de surface mesurée à partir de la bande thermique de Landsat 8. La validation du modèle montre un coefficient de détermination ( $R^2$ ) entre les valeurs observées et prédites de 0,84, ce qui indique que les températures observées et prédites sont similaires dans 84 % des cas. L'erreur quadratique moyenne (RMSE) de validation est quant à elle de 1,97°C. La valeur prédite se situe donc en moyenne à plus ou moins 2°C de la valeur mesurée par le capteur TIRS à l'échelle de 30 m.

La carte de températures de surface obtenues est représentée en sept niveaux de températures relatives. Cette représentation spatiale est créée à partir de 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. Ainsi, 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 ».

La figure 4 présente la cartographie du gradient de températures relatives pour le territoire du périmètre urbain de la ville de Québec et ses environs. La carte de la température de surface permet ainsi de localiser, à l'échelle de pixels de 15 m, les zones couvertes par le spectre des températures les plus chaudes (îlots de chaleur) et les zones couvertes par le spectre des températures les plus froides (îlots de fraîcheur) en milieu habité. Les zooms sur un secteur de Québec permettent de comparer la cartographie de la température relative de surface obtenue à partir du modèle prédictif (fenêtre du centre) au portrait du territoire issu d'une image Pléiades (fenêtre de droite) qui localise les espaces verts, les rues, les zones urbaines pures et urbaines mixtes. Ainsi, on constate que les grands espaces

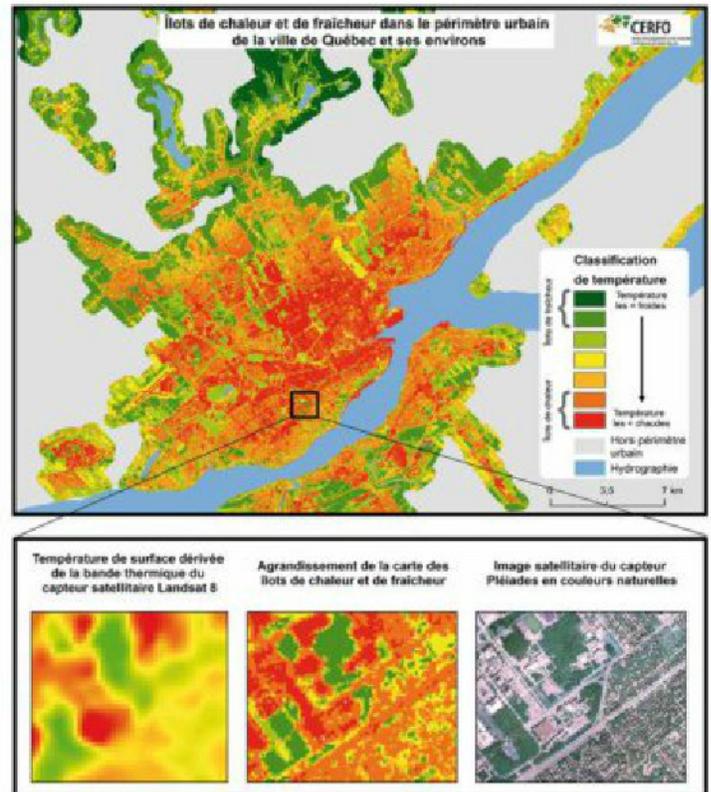


Figure 4 : Îlots de chaleur et de fraîcheur dans le périmètre urbain de la ville de Québec et ses environs

verts sont clairement identifiés comme les îlots de fraîcheur<sup>2</sup>, ce qui est cohérent avec le pouvoir rafraîchissant reconnu de la végétation, alors que les concentrations de surfaces imperméables des îlots de chaleur sont représentées en rouge. Le quartier résidentiel constitué d'un mélange d'arbres et de surfaces imperméables (toits et routes) et situé au sud-est de la fenêtre présente, quant à lui, une température intermédiaire (orange-jaune) qui montre l'effet refroidissant de la végétation sur une zone urbaine mixte. Les plus gros groupements d'arbres sont d'ailleurs identifiés comme des îlots de fraîcheur, en vert. Enfin, la comparaison entre les données de température de surface provenant du capteur thermique de Landsat 8 (fenêtre de gauche) et celles issues du modèle prédictif (fenêtre du centre) met, quant à elle, bien en évidence les gains obtenus par la modélisation de la température en ce qui a trait à la résolution spatiale et à la précision de la cartographie des îlots de chaleur et de fraîcheur.

## Limite et mise en garde

Une limite du modèle concerne la confusion qui est parfois observée entre les champs agricoles nus et les îlots de chaleur. La température prédite pour les terres agricoles nues s'appa-

<sup>2</sup> À noter que le terrain de sport situé au nord-ouest de la fenêtre, qui est en gazon synthétique, est identifié comme un îlot de chaleur.



rente, en effet, parfois à celle des îlots de chaleur, en raison des confusions existant entre les champs et les surfaces imperméables. Ces confusions sont par contre ponctuelles.

De plus, il est essentiel de garder en tête que l'objectif poursuivi par ce modèle n'était pas de produire une cartographie précise de températures absolues, mais une cartographie de températures relatives, permettant de localiser les zones potentielles les plus chaudes et les plus fraîches. Les classes de températures de surface relatives doivent donc être considérées comme des indicateurs distinctifs, permettant d'identifier et de localiser les îlots de fraîcheur et de chaleur dans un milieu urbain.

### Conclusion

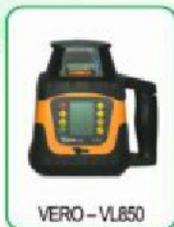
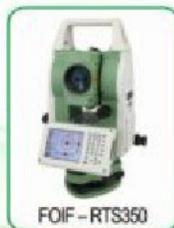
Le projet a donc permis de produire une cartographie de températures de surface relatives à partir d'un modèle prédictif fiable et de localiser, à l'échelle de pixels de 15 m, les zones

potentielles les plus chaudes (îlots de chaleur) et les plus fraîches (îlots de fraîcheur). Cette cartographie présente également un portrait récent pour le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec, qui repose sur des images prises en 2013. Ce nouveau portrait permet alors de prendre en considération les nouveaux développements qui ont vu le jour depuis 2007 (date pour laquelle est disponible la première cartographie des îlots de chaleur et de fraîcheur) et de suivre l'évolution récente des îlots de chaleur et de fraîcheur. Une telle cartographie représente un outil fort utile aux fins de planification et d'intervention en santé publique, protection civile et environnement, tant pour les autorités sanitaires que municipales.

*Ce projet est financé par le Fonds vert dans le cadre du Plan d'action 2013-2018 sur les changements climatiques (PACC) du gouvernement du Québec. ◀*

# K Kompass Geo

**FOIF** **PENTAX** **Veto** Laser



**Instruments d'Arpentage et Produits Laser : VENTE – SERVICE – RÉPARATION – (Techniciens Certifiés)**  
**Vaste Gamme d'Accessoires pour Toutes les Marques**

**GÉO-ÉQUIPEMENTS KOMPASS INC.:** Email : [office@kompassgeo.com](mailto:office@kompassgeo.com) - [www.kompassgeo.com](http://www.kompassgeo.com) - [www.foif.ca](http://www.foif.ca)  
 4180 Boulevard Thimens – Ville St-Laurent – QC – H4R 2B9 – Tél: +1 (514) 336-0003 – Fax: +1 (514) 336-0300