

**Équipe de réalisation**  
Mathieu Varin, M.Sc.  
Emmanuelle Bouffroy, M.Sc.

Les arbres jouent des rôles très importants en milieu urbain : ils rendent de nombreux services écologiques, sociaux et économiques, notamment en diminuant la température ambiante des villes, en contribuant au maintien de la biodiversité, et même en augmentant la valeur foncière des propriétés. Dans ce contexte, de plus en plus de villes ont le souci d'améliorer la qualité de vie de leurs citoyens, par des mesures visant à augmenter la couverture arborescente sur leur territoire.

La ville de Québec en fait partie et a décidé de se doter d'un indice de canopée pour suivre l'état de la couverture arborescente sur son territoire, afin de prioriser les secteurs de plantation où celui-ci est insuffisant et de quantifier les efforts déployés pour le maintien et la bonification du couvert arborescent.

Un projet pilote a été réalisé par le CERFO en 2014 visant à développer une méthode pour cartographier la canopée de la ville de Québec à partir d'images de 2011. Plusieurs améliorations d'ordre méthodologique ont été proposées suite à cet exercice, notamment l'utilisation de la donnée du proche infrarouge.

## Une méthode novatrice pour cartographier la canopée de la ville de Québec : la classification orientée-objet utilisant le proche infrarouge

### Objectifs du projet

L'objectif principal du projet est de calculer l'indice de la canopée pour la portion du territoire de la ville de Québec située à l'intérieur du périmètre urbain (Figure 1).

Plus précisément, il s'agit de :

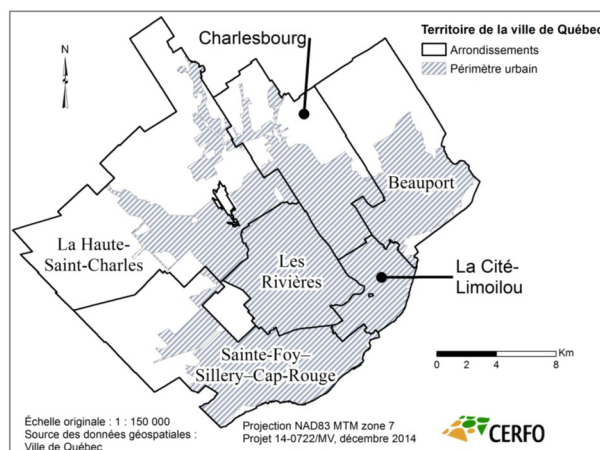
- Développer une méthode fiable et reproductible dans le temps, permettant de générer une cartographie du couvert végétal formé par les arbres d'une part, et la végétation basse d'autre part;
- Améliorer la méthode utilisée dans le projet pilote de 2014, en ajoutant la donnée du proche infrarouge (PIR) dans la classification orientée-objet et en utilisant des images satellitaires de haute résolution plutôt qu'aériennes;
- Calculer l'indice de la canopée et constituer une valeur de référence, en date de 2015 (année 0), afin de pouvoir suivre l'évolution de

### Méthode

La méthode utilisée est la **classification orientée-objet**. Elle repose sur le regroupement homogène des pixels d'une image en objets et l'assignation, pour chaque objet, d'une classe d'occupation du territoire auquel il est identifié.

Le projet pilote de 2014 a permis de développer une première méthode qui utilisait des images aériennes disposant des bandes spectrales RVB (rouge, verte et bleue) seulement (voir CERFO. 2015. Technote 2015-01).

L'une des recommandations issues de ce projet proposait d'utiliser aussi la donnée du proche infrarouge pour améliorer la distinction entre la végétation et les autres classes d'occupation du territoire. Une seconde piste d'amélioration concernait l'utilisation d'images satellitaires plutôt qu'aériennes. Avec un nombre beaucoup plus réduit d'images (quelques images satellitaires *versus* plus de 400 images aériennes), la variabilité temporelle devrait être réduite, diminuant alors l'hétérogénéité



**QU'EST-CE QUE LA CANOPÉE ?**

La canopée se définit comme la projection au sol de la cime (couronne) des arbres, qui est visible du ciel. La cime comprend les feuilles, les branches et le tronc.



Figure 1 : Territoire d'analyse de la canopée

Aux fins du présent projet, **deux images satellitaires couvrant la ville de Québec ont été prises par le couple de satellites Pléiades les 24 juin et 13 juillet 2015**. La donnée est composée des 3 bandes spectrales RVB et du proche infrarouge, en 16 bits et à 50 cm de résolution spatiale. Un inventaire géoréférencé des arbres publics du territoire de la ville de Québec a servi de données de validation.

Les principales étapes effectuées sont les mêmes que celles réalisées lors du projet pilote de 2014. La classification orientée-objet a été réalisée avec le logiciel *eCognition Developer 9.1* de Trimble.

Les étapes sont les suivantes (Figure 2) :

1. **Tuilage de la mosaïque** : La mosaïque d'images a été découpée en 15 tuiles pour faciliter l'analyse.
2. **Choix des classes** : Préalablement à toute classification, une étape importante consiste à choisir les classes d'occupation du territoire qui le caractérisent. Cinq classes principales sont retenues et celle de végétation est subdivisée en sous-classes, pour mieux détailler la classification (Figure 3).
3. **Segmentation multiéchelle** : La mosaïque d'images est découpée (segmentée) en objets (segments), correspondant à des regroupements de pixels présentant des caractéristiques semblables. Deux tailles d'objets sont considérées (voir encadré page suivante). Cette étape permet d'intégrer dans l'analyse non seulement des éléments spectraux, mais aussi spatiaux.
4. **Définition de 15 indices** : Quinze indices spectraux et spatiaux ont été utilisés, à l'échelle de chaque objet créé (Figure 4). L'ajout de la donnée du PIR a permis de réduire le nombre d'indices de 5 comparativement au projet pilote de 2014.
5. **Assignment des classes selon les indices utilisés** : L'objectif de cette étape est d'attribuer une classe à chaque objet issu de la segmentation. Une sélection spécifique d'indices parmi les 15 utilisés est d'abord réalisée, sur la base de leur caractère discriminant pour chaque classe et sous-classe. Plusieurs classifications (par seuillage et par algorithme) reposant sur ces indices sélectionnés sont ensuite réalisées pour attribuer à chaque objet une classe. Il est important de mentionner que la méthode d'assignation des classes proposées est réalisée de façon à obtenir une précision maximale de l'attribution des sous-classes des arbres et de la végétation basse (4i, 4ii, 4iii, 4iv).
6. **Peaufinage de la classification orientée-objet** : Cette étape permet d'augmenter la qualité de la classification, en rectifiant certaines attributions de classes qui ne seraient pas optimales. Il s'agit :
  - d'extraire les objets qui ne sont pas des arbres ou de la végétation basse, mais qui ont été classés comme tels;
  - d'extraire les arbres et la végétation basse qui ont été classés dans une autre classe;
  - d'effectuer une correction manuelle des classes pour les confusions qui persistent après les traitements précédents (ex. : certains champs qui avaient été classifiés en arbres).
7. **Validation complète de la classification** : Cette étape représente une amélioration par rapport à celle utilisée dans le projet pilote de 2014, car elle tient compte de l'ensemble des classes utilisées. Il s'agit donc d'une validation standard et complète permettant de mesurer le degré de concordance entre les objets classifiés et leur présence réelle sur le terrain. Cette validation a été réalisée sur deux zones de 9 et 1 km<sup>2</sup>, étant des portions représentatives des deux images utilisées pour créer la mosaïque. Un échantillonnage aléatoire stratifié a permis de sélectionner 200 objets pour chacune des classes 1) d'arbres, 2) de végétation basse et 3) des autres classes (hydrographique, anthropique, ombre et sol). Certains des 200 objets n'ont pu être retenus lors de la validation, car il était impossible d'identifier la classe réelle par interprétation d'image (en particulier la classe de végétation basse). La validation a généré trois indices<sup>1</sup> : la précision globale de la classification, la précision de l'utilisateur et la précision du producteur. On vise habituellement une valeur de précision globale au moins supérieure à 85 % en milieu urbain.
8. **Calcul de l'indice de canopée** : L'indice de canopée a été calculé en divisant la superficie occupée par la canopée sur un territoire donné par la superficie totale de ce territoire. La superficie de référence ne comprend que les **portions terrestres** et exclut les plans d'eau et les rivières. Cet indice a été calculé à l'échelle du périmètre urbain, pour des fins de comparaison avec d'autres villes.

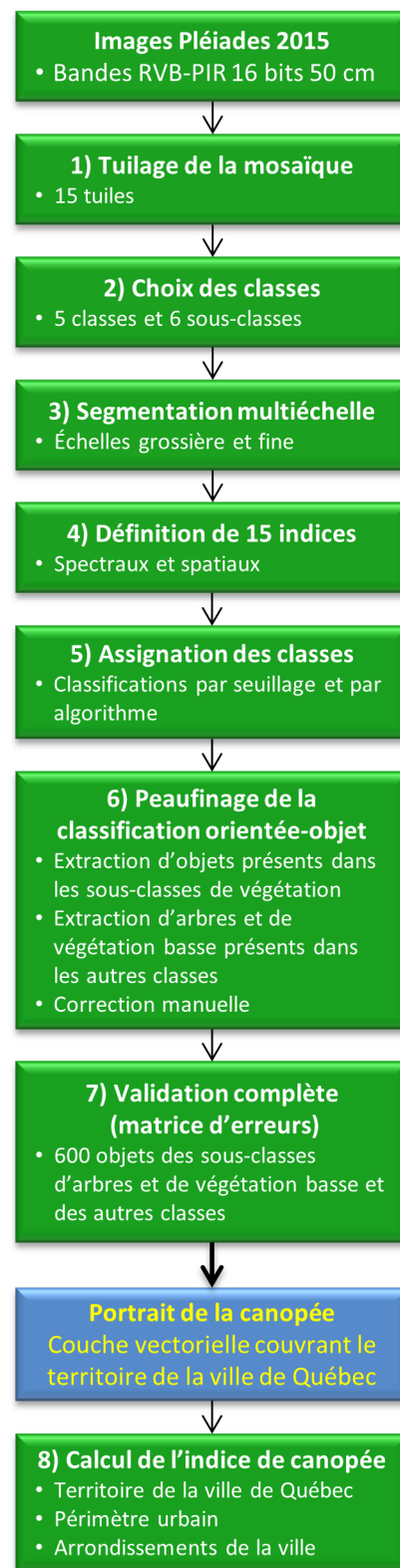


Figure 2 : Principales étapes ayant conduit au calcul de l'indice de la canopée

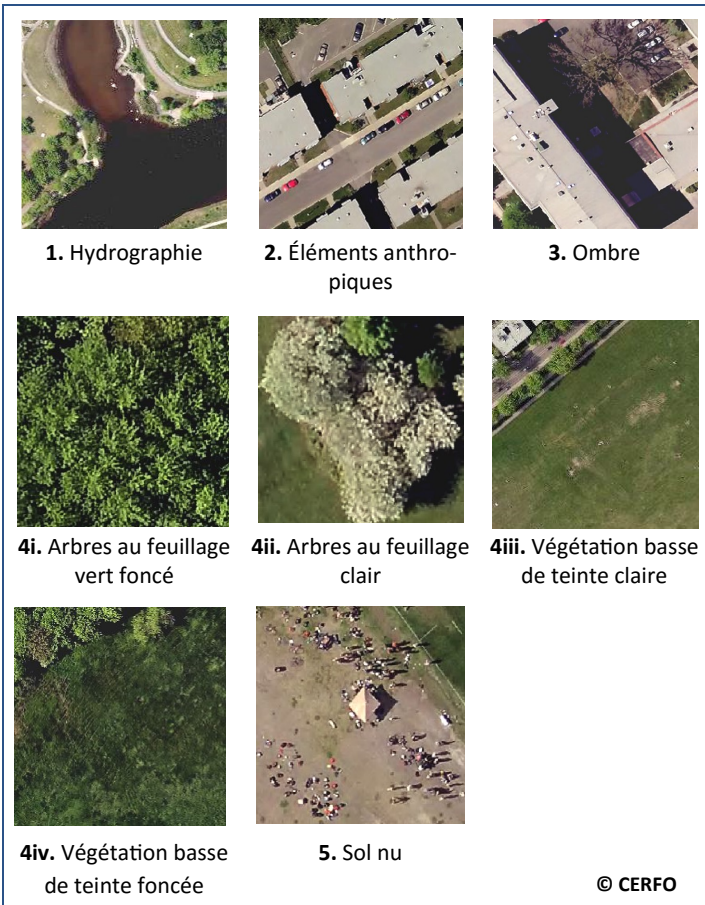


Figure 3 : Choix des classes d'occupation du territoire

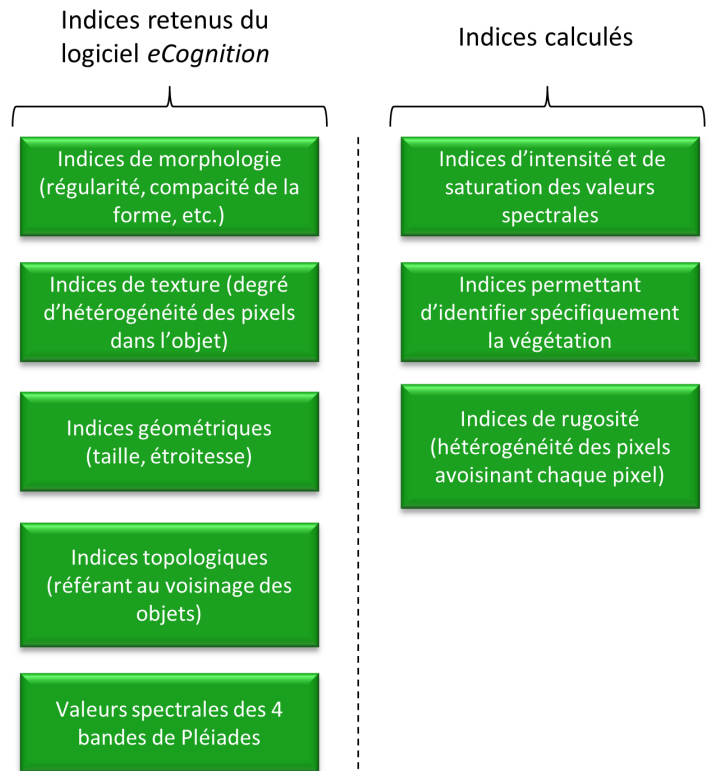


Figure 4 : Indices spectraux et spatiaux produits à l'aide du logiciel eCognition et calculés à partir de la littérature

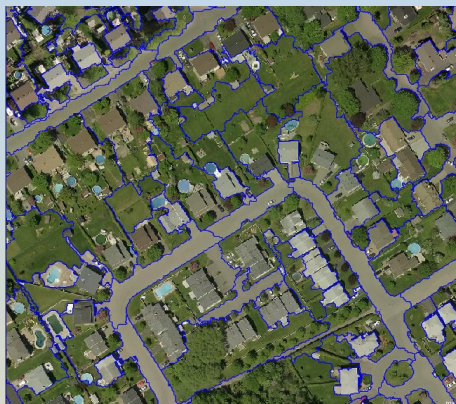
**EXEMPLE DE SEGMENTATION EN OBJETS GROSSIERS ET FINS**

**Segments grossiers :**

Objets relativement grands (taille moyenne de 350 m<sup>2</sup>), influencés par leur homogénéité spectrale, leur forme et leur compacité.

Cette segmentation a permis de créer 3 445 000 objets relativement homogènes

et est particulièrement utile pour l'attribution des 5 classes générales.



**Segments fins :**

Objets de taille plus réduite, permettant de raffiner l'identification des objets (taille moyenne de 10 m<sup>2</sup>).

Les mêmes paramètres que ceux utilisés pour la segmentation grossière ont été retenus, mais selon

des ratios différents (valeur spectrale, forme, compacité), ce qui a permis de générer 81 645 000 objets.

<sup>1</sup>La **précision globale** est une mesure qui tient compte de la précision de la classification dans son ensemble en calculant le nombre d'objets correctement classifiés selon les classes de référence (la diagonale dans la matrice d'erreurs) (Congalton, 1991).

La **précision de l'utilisateur** détermine si les objets identifiés par la classification appartiennent réellement à ces classes.

La **précision du producteur** permet d'évaluer si des objets appartenant à une classe de référence (identifiée sur le terrain ou visuellement à partir de l'image) ont été correctement identifiés par la classification (Jensen, 2005).

**Cartographie de la canopée et indices en 2015**

La figure 5 présente un exemple de classification du couvert arborescent en milieu résidentiel. **Pour l'ensemble du périmètre urbain de la ville de Québec, l'indice de canopée est évalué à 32 %.** Les valeurs par arrondissement sont présentées dans le tableau 1. L'indice varie de 17 % dans la Cité-Limoilou, l'arrondissement le plus densément peuplé, à 43 % dans la Haute-St-Charles, situé aux limites nord de la ville.

**Tableau 1 : Indice de la canopée par arrondissement dans le périmètre urbain de Québec**

Arrondissements	Indice de canopée (%)
Beauport	26
Charlesbourg	34
La Cité-Limoilou	17
La Haute-Saint-Charles	43
Les Rivières	27
Sainte-Foy-Sillery-Cap-Rouge	36
<b>Ville de Québec</b>	<b>32</b>

La validation confirme que **la classification obtenue est d'une précision conforme aux attentes.** En effet, on obtient une précision globale supérieure au seuil satisfaisant. Pour ce qui est de la classe des arbres, presque tous les arbres de référence ont été correctement classifiés en arbres. De plus, une forte proportion des objets classifiés en arbres sont réellement des arbres, la principale source de confusion étant avec la végétation basse.

**Lidar.** Ces dernières permettent en effet de mesurer ponctuellement, et avec une grande précision, l'altitude d'éléments sur le territoire. En les ajoutant dans l'analyse, la distinction entre les arbustes et les arbres, basée sur la hauteur réelle du couvert serait précisée et la qualité de la couverture arborescente vraisemblablement améliorée.

**Enfin, toute comparaison temporelle de l'indice de la canopée doit être faite avec prudence,** car les limites de référence pour le calcul qui influencent les résultats (ex : arrondissements, périmètre urbain) subissent régulièrement des modifications dans le temps.

**Conclusion**

La méthode bonifiée utilisant une mosaïque de 2 images Pléiades disposant du proche infrarouge s'est avérée satisfaisante, car sa précision globale est supérieure au seuil satisfaisant. La ville de Québec dispose donc d'une valeur de référence de la canopée fiable, en date de 2015, pour faire son suivi dans le temps. La cartographie de la végétation basse représente aussi un outil fort intéressant pour identifier des sites potentiels de plantations d'arbres.

**Limites et pistes d'amélioration**

La précision de la classification obtenue est conforme aux attentes. Néanmoins, il est possible que des confusions subsistent entre certaines classes. En effet, une limite de la méthode et des données utilisées concerne la difficulté à identifier avec certitude les arbustes, afin de les exclure de la cartographie de la canopée. **Une piste d'amélioration consisterait alors à utiliser conjointement des données**

**Principales références**

Congalton, R.G.A. 1991. *Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data.* Remote Sensing of Environment, vol. 37, p. 35-46.

Jensen, J.R. 2005. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective.* Prentice Hall Series in Geographic Information Science, Third Edition, University of South Carolina, 526 p.

Varin, M. et E. Boulfroy. 2014. Une méthode novatrice pour déterminer l'indice de canopée de la ville de Québec : La classification orientée-objet. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Note technique 2015-01. 4 p.



Figure 5 : Cartographie de la canopée (droite) et image satellitaire (gauche) pour une zone résidentielle de Québec