



**Communauté  
métropolitaine  
de Montréal**

**INDICE CANOPÉE MÉTROPOLITAIN  
MÉTHODOLOGIE**

---

AVRIL 2017

Mise à jour septembre 2024

La Communauté a développé des outils géomatiques et une méthodologie lui permettant de suivre l'évolution de la couverture végétale et la canopée de son territoire à l'aide des photographies aériennes d'été. Le présent document détaille cette méthodologie. Toutes les données sont présentées dans le système de coordonnées de référence NAD83(CSRS)/MTM zone 8.

### Segmentation du territoire métropolitain

Le territoire de la Communauté comporte plus de 4 260 km<sup>2</sup>. Il est donc impossible d'effectuer une analyse ou une caractérisation fine de l'ensemble du territoire d'un seul coup. Le découpage utilisé depuis 2005 pour la production des orthophotographies a donc été utilisé comme tuiles élémentaires pour réaliser l'analyse. Par la suite, ces tuiles d'un kilomètre carré peuvent facilement être assemblées pour former divers territoires d'intérêt.

### Classification du territoire

Dès le départ, il a été décidé de caractériser l'ensemble du territoire en cinq grandes classes en fonction de la nature du territoire. Tout d'abord, la classe 5 correspond aux portions du territoire qui sont aquatiques. Cette classe sert donc à discriminer le territoire terrestre du territoire aquatique. Le territoire terrestre, quant à lui, est divisé en quatre classes, en fonction de deux variables dichotomiques, soit le degré de végétalisation (ou de minéralisation) et la hauteur observée en relation au sol naturel.

La végétalisation est déterminée à l'aide de l'indice de végétation par différence normalisé (Normalized Difference Vegetation Index), appelé NDVI<sup>1 2</sup>. Plusieurs indices de végétation existent, le NDVI est retenu car la procédure de normalisation diminue les différences saisonnières d'angle de soleil et minimise l'effet de l'atténuation atmosphérique. Ce choix est guidé par la nécessité de reproduire l'exercice régulièrement.

Après de multiples essais et validations visuelles, le seuil de 0,3 est retenu (le NDVI oscille entre -1 et +1). Il s'agit du seuil qui permet de saisir le plus la couverture végétale tout en minimisant les erreurs dues aux variations angulaires de la visée, selon la position vis-à-vis du soleil. Étant donné la variation de la végétation selon les années, les dates et les horaires de prises des photographies aériennes, le choix de la valeur du seuil est vérifié chaque année. Pour l'année 2023, le seuil du NDVI a été ajusté à 0,4 pour tenir compte de l'ombrage plus important.

La hauteur observée est déduite par différence entre la hauteur de surface et celle du terrain. Le seuil est établi à 3,0 mètres. Cette hauteur est un bon compromis pour capter les jeunes arbres en croissance sans exagérer la présence des arbustes.

---

<sup>1</sup> Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering (1973) 'Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS', *Third ERTS Symposium*, NASA SP-351 I, 309-317.

<sup>2</sup> Tucker, C.J. (1979) 'Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation', *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.

Le tableau suivant présente les quatre classes de territoire terrestre établies selon les deux critères.

Critères	Hauteur < 3 m	Hauteur ≥ 3 m
<b>NDVI &lt; 0.3</b> <b>Non végétal</b>	1. Minéral bas	2. Minéral haut
<b>NDVI ≥ 0.3</b> <b>Végétal</b>	3. Végétal bas	4. Végétal haut <b>Canopée</b>
* Le seuil du NDVI a été ajusté à 0,4 pour l'année 2023.		

Afin d'être en mesure de réaliser la classification finale, les diverses étapes expliquées plus bas sont réalisées afin de détenir, pour chaque tuile touchant le territoire de la Communauté, quatre couches matricielles de géométrie et de résolution identiques contenant les informations suivantes :

1. Une tuile de masque binaire indiquant si le pixel fait partie ou non du territoire de la Communauté (Masque CMM);
2. Une tuile de masque binaire indiquant si le pixel est aquatique ou non (Masque Eau);
3. Une tuile contenant la hauteur observée par rapport au sol pour chaque pixel en format décimal (float32bits), appelé Modèle Numérique de Hauteur (MNH);
4. Une tuile contenant pour chaque pixel la valeur de l'indice NDVI.

Donc, pour chaque tuile d'un kilomètre carré (1000 pixels x 1000 pixels), un script « Python » est utilisé avec en intrant les quatre tuiles (Masque CMM, Masque Eau, MNH et NDVI) correspondantes et produisant en extrant la tuile classifiée en format TIFF optimisé au format entier 4 bits compressé, avec les codes de 0 à 5 correspondants aux classes suivantes :

0. No data (hors CMM)
1. NDVI < 0,3 et MNH < 3,0m = Minéral bas (route, stationnement, etc.)
2. NDVI < 0,3 et MNH ≥ 3,0m = Minéral haut (constructions)
3. NDVI ≥ 0,3 et MNH < 3,0m = Végétal bas (culture, gazon, etc.)
4. NDVI ≥ 0,3 et MNH ≥ 3,0m = Végétal haut (canopée)
5. Aquatique

\* Le seuil du NDVI a été ajusté à 0,4 pour l'année 2023.

## Préparation des données

Plusieurs étapes sont requises avant de pouvoir réaliser la classification. Les étapes pour préparer chacune des quatre couches matricielles précédentes sont présentées ci-dessous.

### 1. Masque CMM

- a. Il s'agit de transformer la limite officielle de la CMM (vectorielle) en format matriciel (rastériser) à 1,0 m de résolution pour créer un masque négatif avec un code 0 (no-data) à l'intérieur et un code 1 (masque) à l'extérieur.
- b. Les tuiles du masque CMM sont générées en conservant seulement les tuiles requises (4679 tuiles sur 5507 tuiles).

### 2. Masque Eau

- a. Il s'agit de transformer la limite officielle des cours et plans d'eau de la CMM (vectorielle) en format matriciel (rastériser) à 1,0 m de résolution pour créer un masque positif avec un code 1 pour les surfaces aquatiques et 0 (no-data) hors des surfaces aquatiques.
- b. Les tuiles du masque EAU sont générées en conservant seulement les tuiles requises (4679 tuiles sur 5507 tuiles).

### 3. Modèle Numérique de Hauteur (MNH)

Le MNH est obtenu en soustrayant le Modèle Numérique de Terrain (MNT) du Modèle Numérique de Surface (MNS). Comme la Communauté ne dispose pas de données LiDAR pour l'ensemble de son territoire, les données intermédiaires provenant du processus de production de l'orthophotographie ont été adaptées et utilisées.

- a. **Modèle Numérique de Surface (MNS)**  
Le MNS provient de l'autocorrélation réalisée à partir du logiciel Correlator 3D. Il faut cependant faire remarquer que les stéréomodèles d'août 2015 ont dû être retraités afin d'utiliser les images originales RGBI 64 bits (à 4 canaux de 16 bits par canal) au lieu des images optimisées RGB 24 bits (à 3 canaux de 8 bits) utilisées pour la production des orthophotographies courantes. Pour août 2015, ces traitements sont réalisés pour 18 blocs distincts qui se chevauchent. À la suite d'un contrôle de qualité visuel, chacun des 18 blocs de MNS a été conservé pour le calcul du MNH.
- b. **Modèle Numérique de Terrain (MNT)**  
Le MNT provient d'un traitement réalisé à partir du logiciel Correlator 3D. Pour août 2015, ces traitements sont réalisés pour 18 blocs distincts qui se chevauchent. À la suite d'un contrôle de qualité visuel, des correctifs ont été appliqués, principalement dans les grands bois et sous les lignes électriques à haute tension, où le MNT du printemps 2009 a été préféré. Chacun des 18 blocs de MNT a été conservé pour le calcul du MNH.
- c. **Modèle numérique de Hauteur (MNH)**  
Pour chacun des 18 blocs de production, le MNH a été calculé par un script utilisant la librairie GDAL, en soustrayant le MNT du MNS. Un contrôle de qualité visuel a été réalisé et des correctifs mineurs ont été appliqués lorsque requis.

#### 4. NDVI

Afin de calculer l'indice NDVI, les images originales RGBI 64 bits (à 4 canaux de 16 bits par canal) ont été utilisées au lieu des images optimisées RGB 24 bits (à 3 canaux de 8 bits) qui ont servi à la production des orthophotographies courantes. Ces images devaient être ortho-rectifiées afin d'être spatialement cohérentes avec les positions du MNH.

L'ensemble des images a donc été ortho-rectifié en utilisant le MNS et les images RGBI 64 bits au lieu du MNT et des images RBC 24 bits utilisées pour la production des orthophotographies courantes. Une mosaïque a été réalisée pour chacun des 18 blocs de production.

Cette mosaïque a été découpée en tuiles RGBI 64 bits d'un kilomètre carré à 1 m de résolution. L'indice NDVI a été calculé à partir de ces tuiles RGBI et en utilisant la librairie mathématique « NumPy » ainsi que la librairie géomatique de traitement d'images « GDAL ».

#### Limitations

La méthodologie a été développée pour des fins de mesure et de suivi à l'échelle du territoire de la Communauté. Bien que les résultats soient très satisfaisants et puissent être utilisés au niveau municipal, ils sont de moins en moins précis plus le territoire analysé rétrécit. L'utilisation locale doit être réalisée avec prudence. La comparaison visuelle détaillée de la canopée par rapport aux photographies aériennes peut notamment faire ressortir certains écarts, négligeables à l'échelle métropolitaine :

- Certaines erreurs de NDVI persistent malgré la recherche du seuil optimal.
- Une imprécision de la hauteur demeure.
- Le masque d'eau peut montrer des différences avec la réalité visible sur les orthophotographies.
- Enfin, un écart de positionnement par rapport aux orthophotographies peut être observé. En présence de bâtiments hauts, certains espaces verts ne sont pas visibles sur les photographies aériennes alors que la couverture végétale les capte. Ce biais est inévitable afin de faciliter la mesure de l'évolution de la couverture végétale dans le temps et parce que les orthophotographies ne peuvent être redressées sur le MNS.

Étant donné que la méthodologie est basée sur l'utilisation de photographies aériennes, la couverture (végétale ou minérale) captée est celle-là plus haute. Les arbres surplombant les infrastructures, les bâtiments, etc., diminuent d'autant la perception de la minéralisation du territoire. Ainsi, les bâtiments peuvent ne pas présenter une forme rectangulaire, mais semblent « grugés » par les arbres les recouvrant. La même chose est observée aux abords des plans d'eau. Par ailleurs, la végétation basse doit être considérée avec précaution en raison de la proportion importante de sols cultivés sur le territoire de la Communauté. En effet, les photographies aériennes à la base du calcul sont du mois d'août et plusieurs cultures sont déjà récoltées à cette époque de l'année laissant le sol à nu. L'identification de la couverture végétale basse en milieu agricole est sensible au moment de la prise des photographies aériennes, bien plus que la canopée. C'est pourquoi, les données ne peuvent pas être utilisées pour calculer un indice de minéralisation.

1801, avenue McGill College, bureau 1010 Montréal (Québec) H3A 2N4  
T. 514 350-2550 • [Info@cmm.qc.ca](mailto:Info@cmm.qc.ca)



Communauté  
métropolitaine  
de Montréal