



CERFO

Centre d'enseignement et de recherche
en foresterie de Sainte-Foy inc.



Cartographier la canopée des grandes villes du Québec : une mission pour le lidar et l'intelligence artificielle

Batistin Bour, M.Sc.
Marc-Antoine Genest, M.Sc.
Mathieu Varin, M.Sc.

28 septembre 2022

Plan stratégique du CERFO 2019-2024 : Thématiques d'intervention

- Recherche appliquée en sylviculture
- Changements climatiques et espèces envahissantes
- Aménagement forestier, dont écosystémique
- Gestion faunique
- Agroforesterie
- **Téledétection forestière**



Partenariat

*Institut national
de santé publique*
Québec 



Centre d'enseignement et de recherche en foresterie
de Sainte-foy

Sous-projet #1 : Cartographie de la canopée

Sous-projet #2 : Cartographie des îlots de chaleur urbains (2013)

Sous-projets #3 : Cartographie des îlots de chaleur urbains (2021) + analyse diachronique

Réduction de l'indice de canopée dans le temps

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.




$$\text{Indice de canopée} = \frac{\text{aire canopée}}{\text{aire zone d'intérêt}}$$

Protection



Effort supplémentaire de préservation des arbres existants

Plantation



Effort supplémentaire de plantation sur propriétés municipales et privées

Déminéralisation



Déminéralisation pour augmenter le potentiel de plantation

Cartographies de la canopée existantes

Région Métropolitaine de Recensement	Cartographie réalisée	Cartographie disponible	Année de réalisation	Hauteur minimum
Ottawa Gatineau	OUI	OUI	2019	2 m
Montréal	OUI	OUI	2015 et 2019	3 m
Sherbrooke	OUI	NON	2019	7 m
Trois-Rivières	NON	NON	-	-
Saguenay	NON	NON	-	-
Québec	OUI	OUI	2015 et 2020	2 m

Aucune donnée pan-Québécoise uniforme

Problèmes des méthodes existantes

Imagerie seule (aérienne, satellitaire)

- Pas de mesure de hauteur
- Lourd à appliquer
- Non reproductible



Problèmes des méthodes existantes

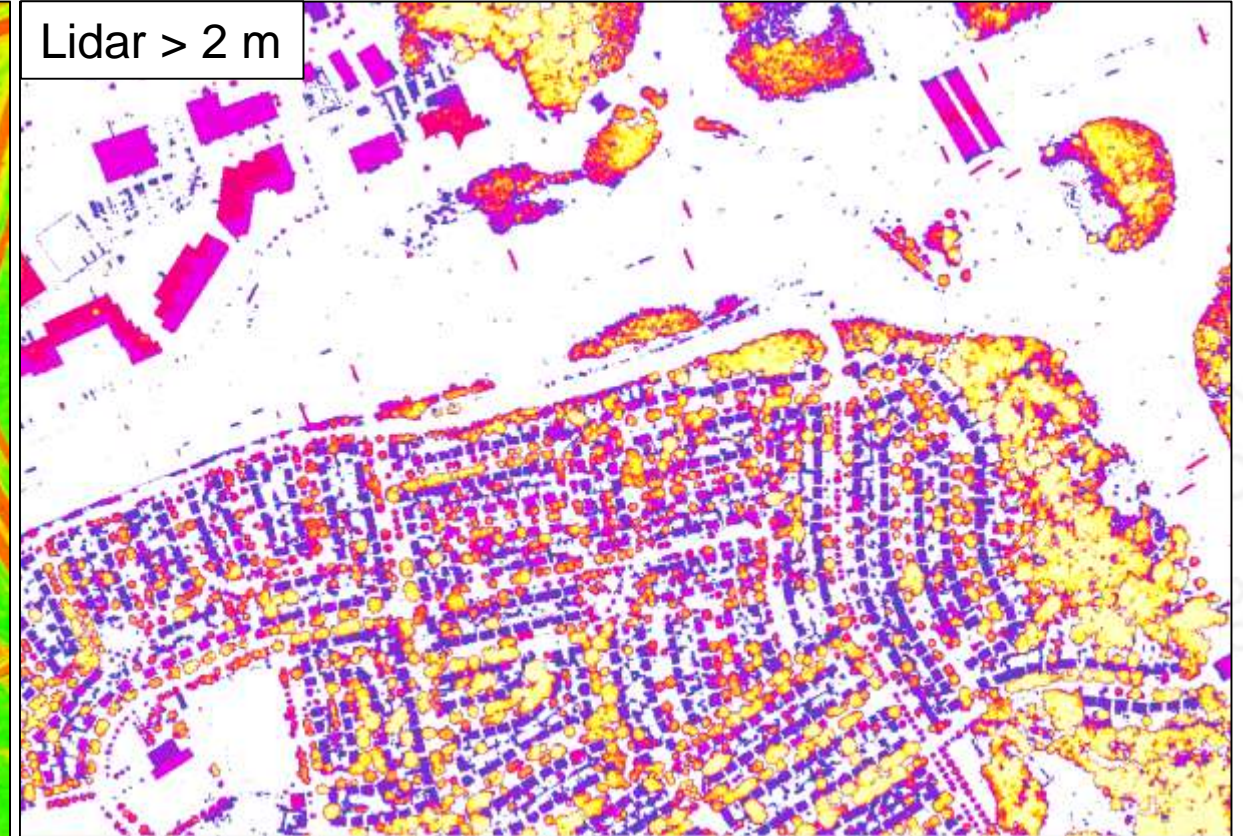
Imagerie seule
(aérienne, satellitaire)

- Pas de mesure de hauteur
- Lourd à appliquer
- Non reproductible



Problèmes des méthodes existantes

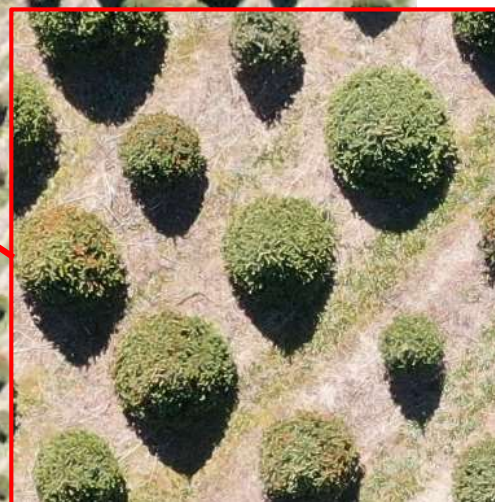
Combinaison d'imagerie et de lidar



Problèmes des méthodes existantes

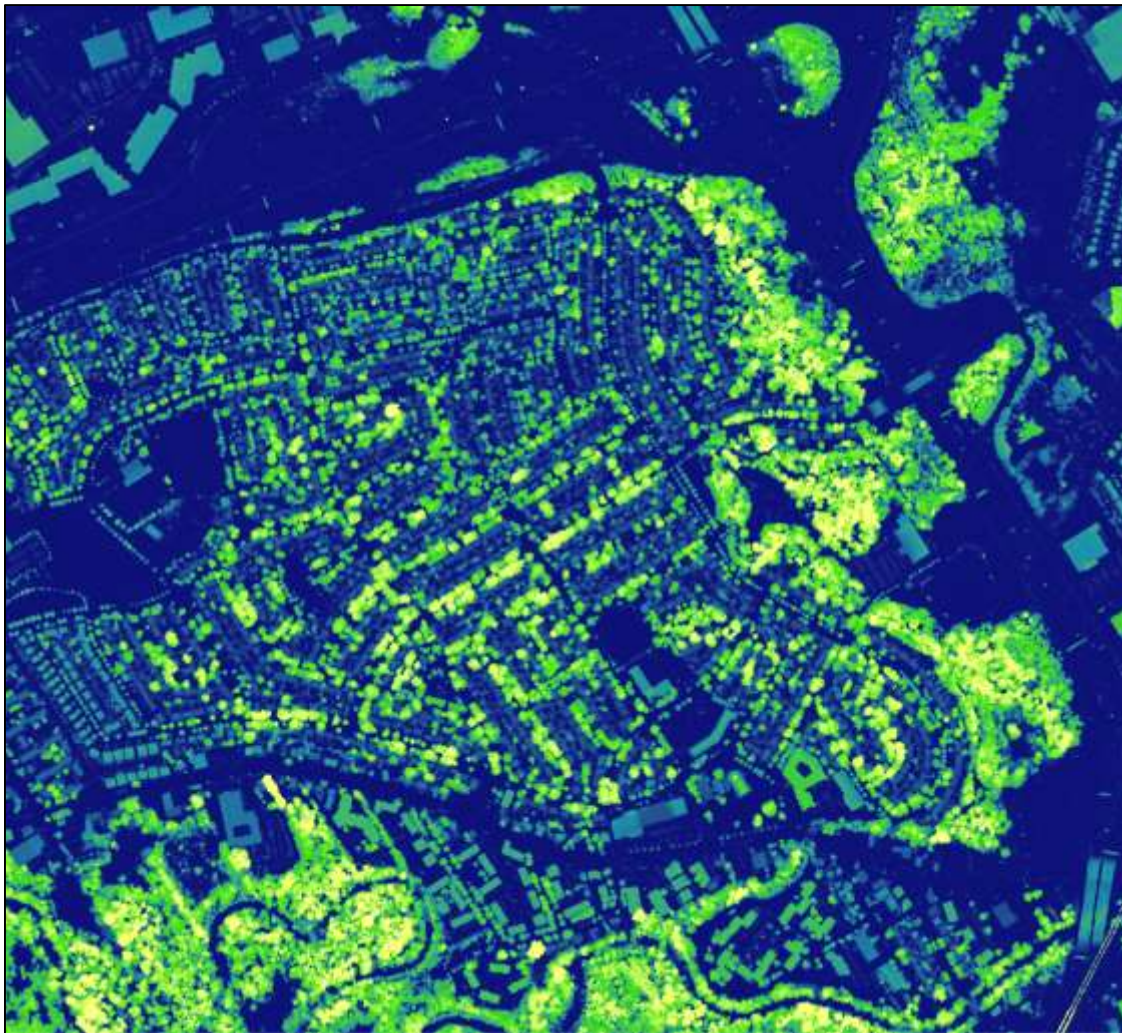
Combinaison d'imagerie et de lidar

- Décalages entre les données
- Distorsions de l'imagerie
- Différences de résolutions
- Dates d'acquisition différentes
- Non reproductible



Lidar seul ?

À notre connaissance : aucune méthode automatique existante
Par photo-interprétation : très long, et très pénible...



Lidar seul ?

À notre connaissance : aucune méthode automatique existante
Par photo-interprétation : très long, et très pénible...

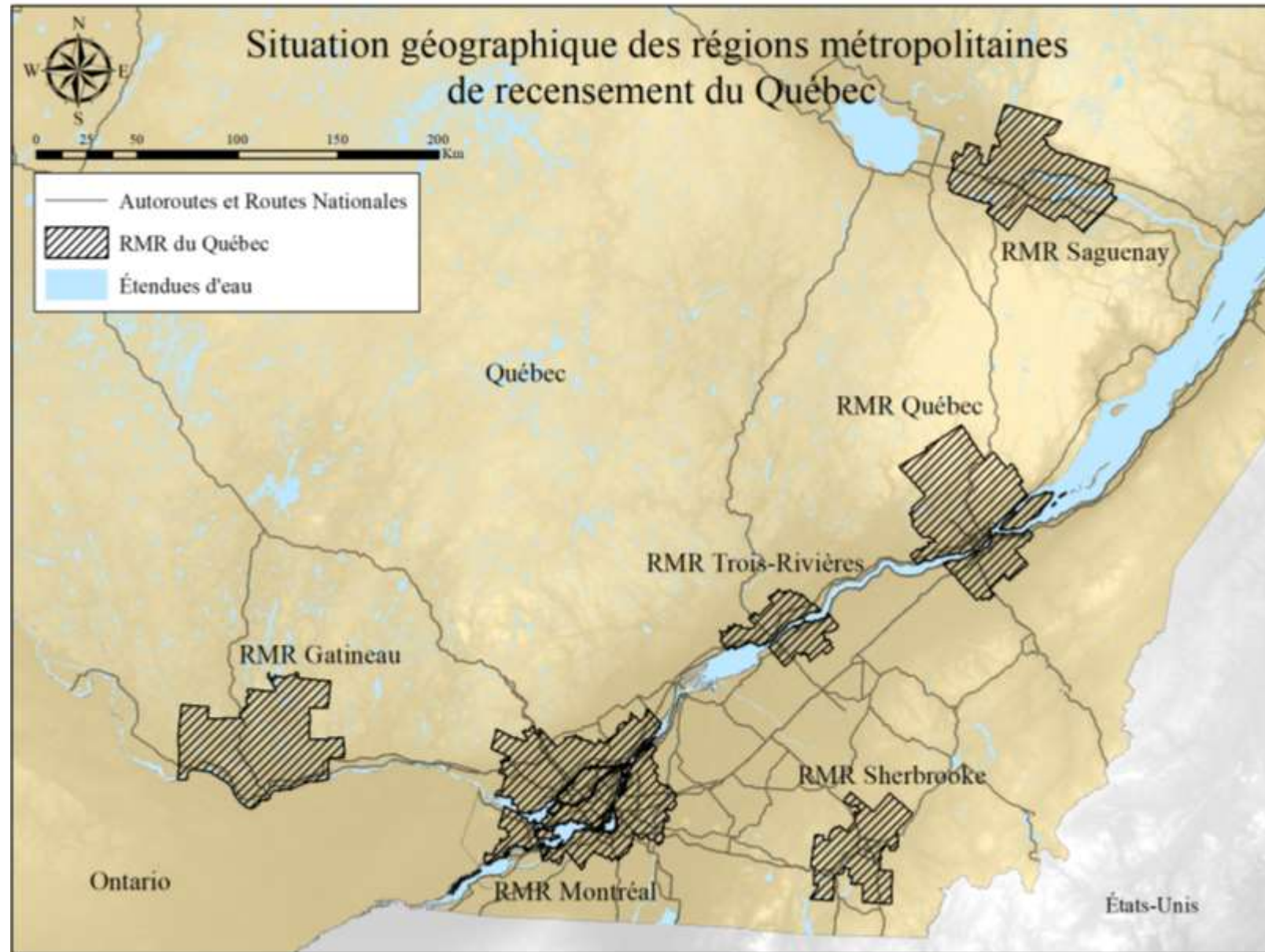


Objectifs du projet

Cartographier la canopée pour les 6 régions métropolitaines de recensement (RMR) du Québec

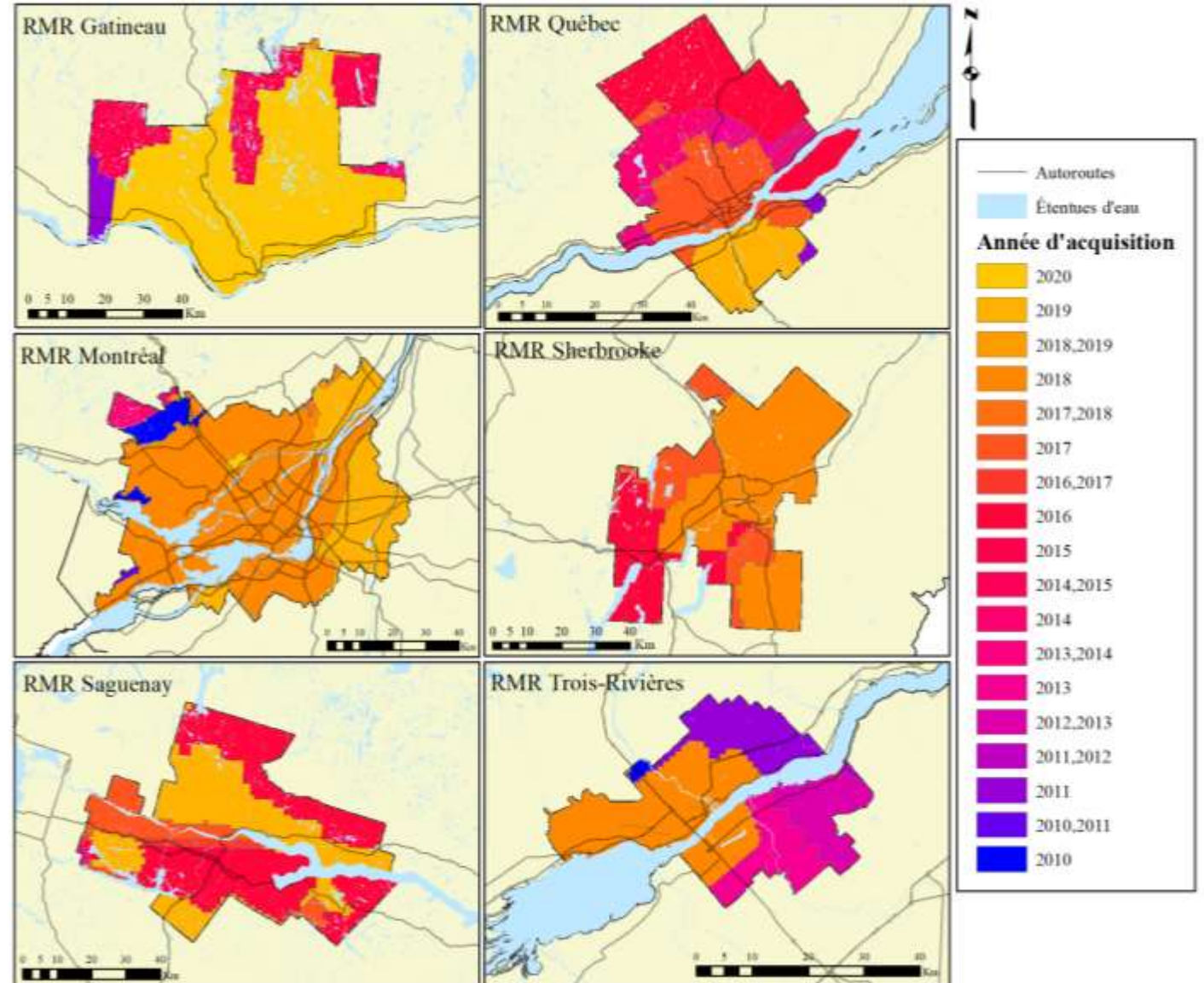
- 16 403 km²
- 70% de la population

Uniquement à partir de lidar !



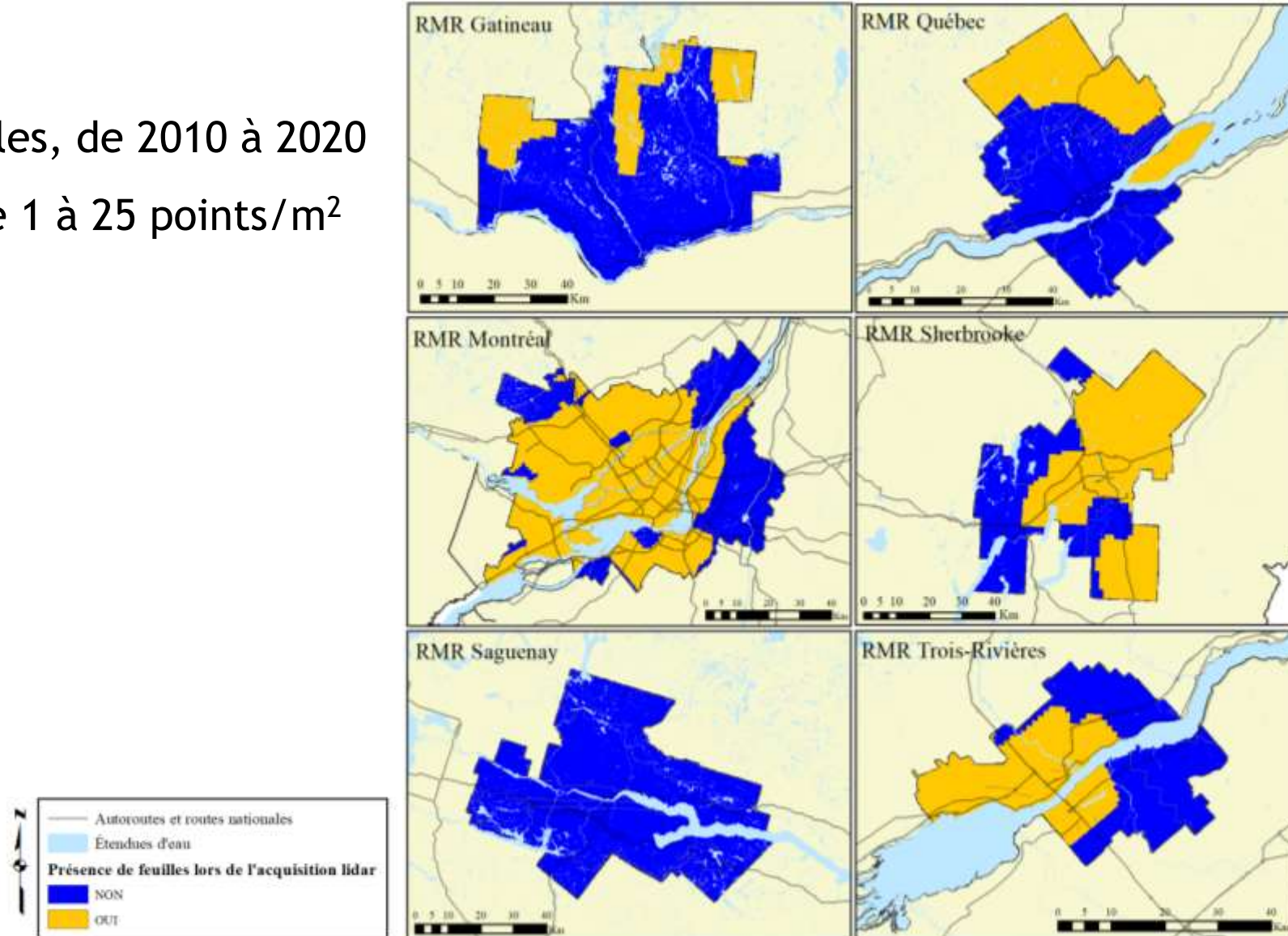
Données utilisées : lidar aéroporté

- Avec et sans feuilles, de 2010 à 2020
- Densité variant de 1 à 25 points/m²
- 46 710 tuiles
- 3,29 To



Données utilisées : lidar aéroporté

- Avec et sans feuilles, de 2010 à 2020
- Densité variant de 1 à 25 points/m²
- 46 710 tuiles
- 3,29 To

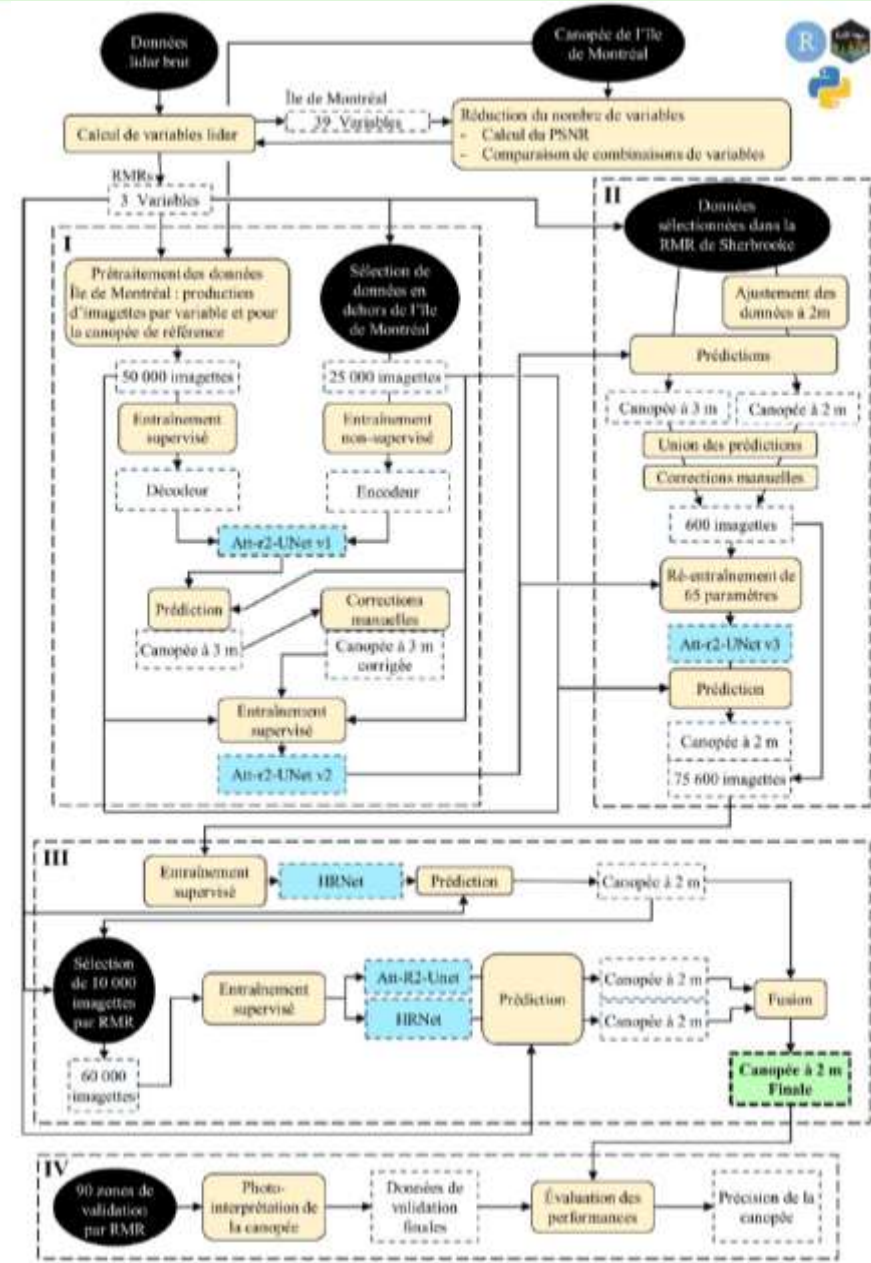


Données utilisées : canopée de référence (Montréal 2015)



Principales étapes

1. Calcul et sélection de variables
2. Développement sur la canopée de Montréal
3. Généralisation du modèle
4. Ajustement du seuil à 2 m de hauteur
5. Prédiction sur l'ensemble du territoire



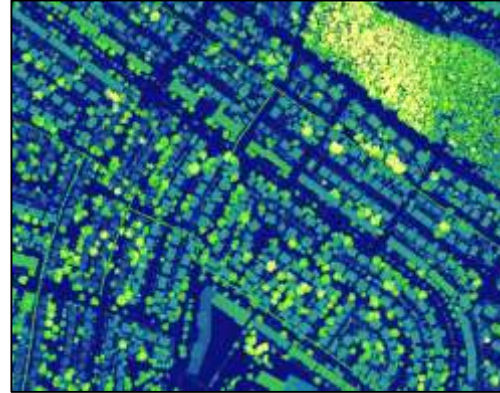
Principales étapes

1. Variables calculées

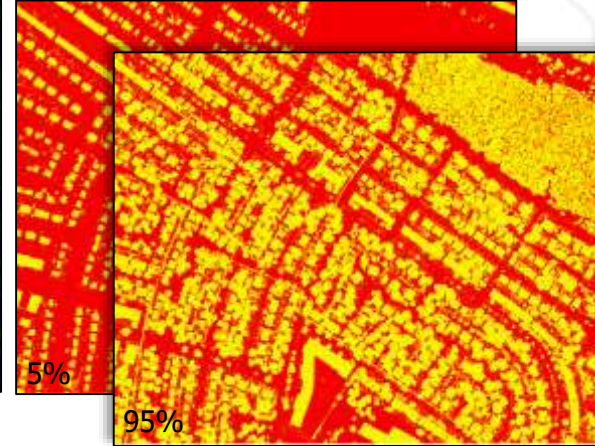
Photo aérienne



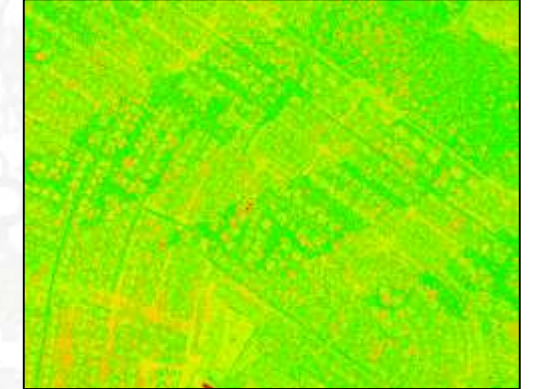
MNH



Percentiles de hauteur 5 à 95%



kurtosis



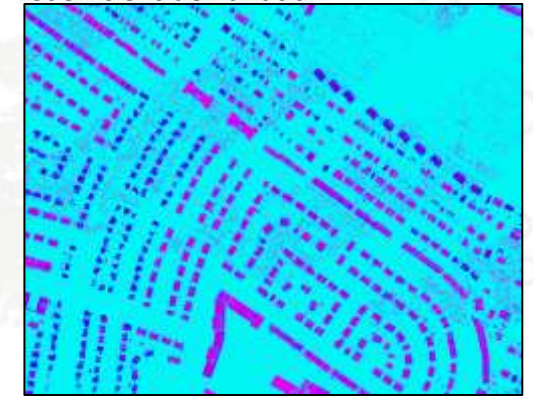
Écart-type



Skewness



Coefficient de variation



Mais aussi :

- Hauteur moyenne
- Hauteur maximum
- Entropie de la hauteur
- *Canopy relief ratio*
- Pourcentage de points au-dessus de 3 m de hauteur
- Pourcentage de points au-dessus de la hauteur moyenne

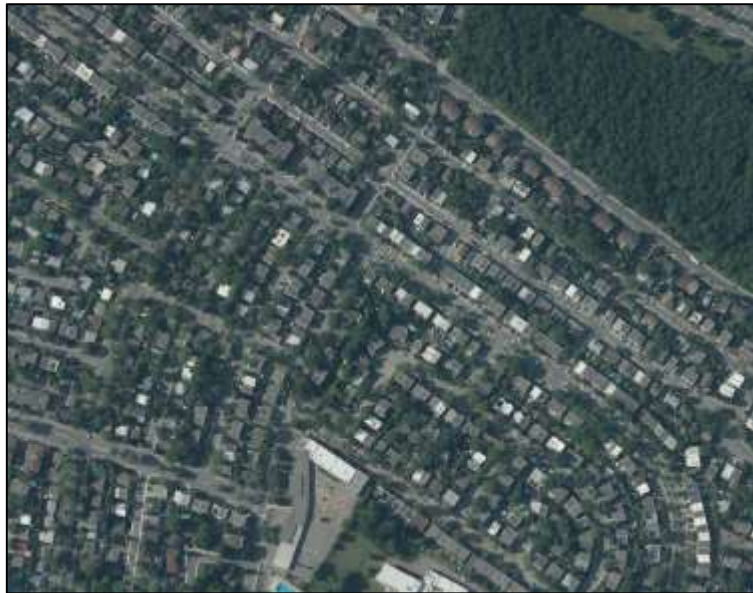
- Hauteurs cumulatives de 5 à 95 %
- Distance inter-quartiles

Au total : 39 variables calculées

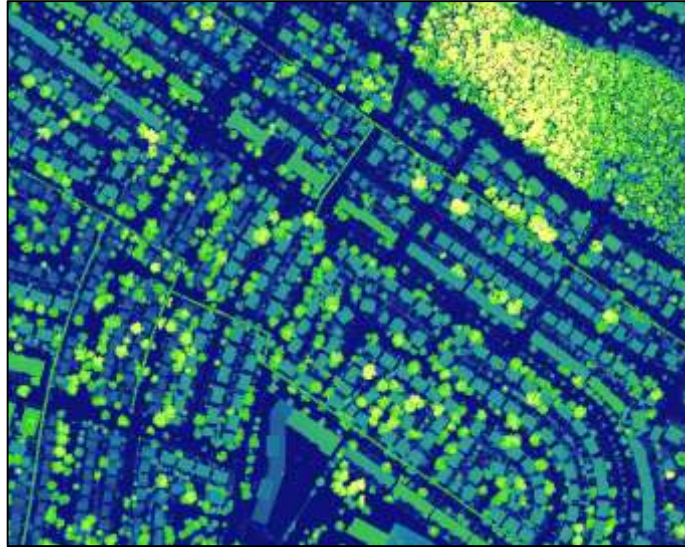
Principales étapes

1.2 Variables sélectionnées

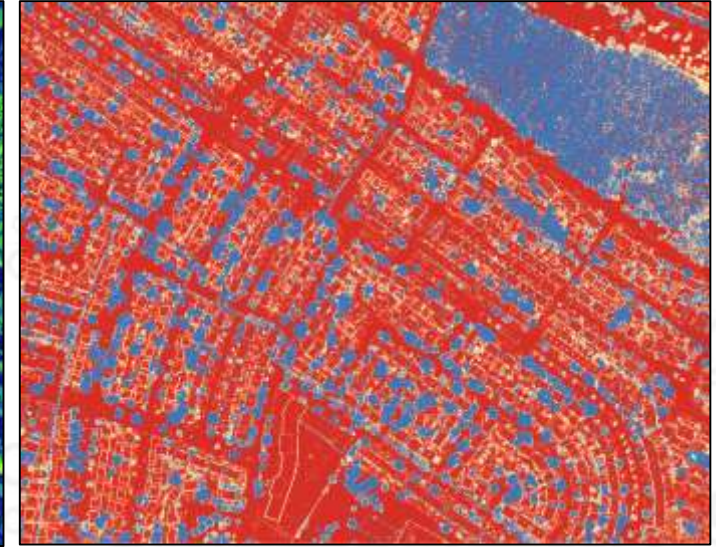
Photo aérienne



MNH



Écart-type



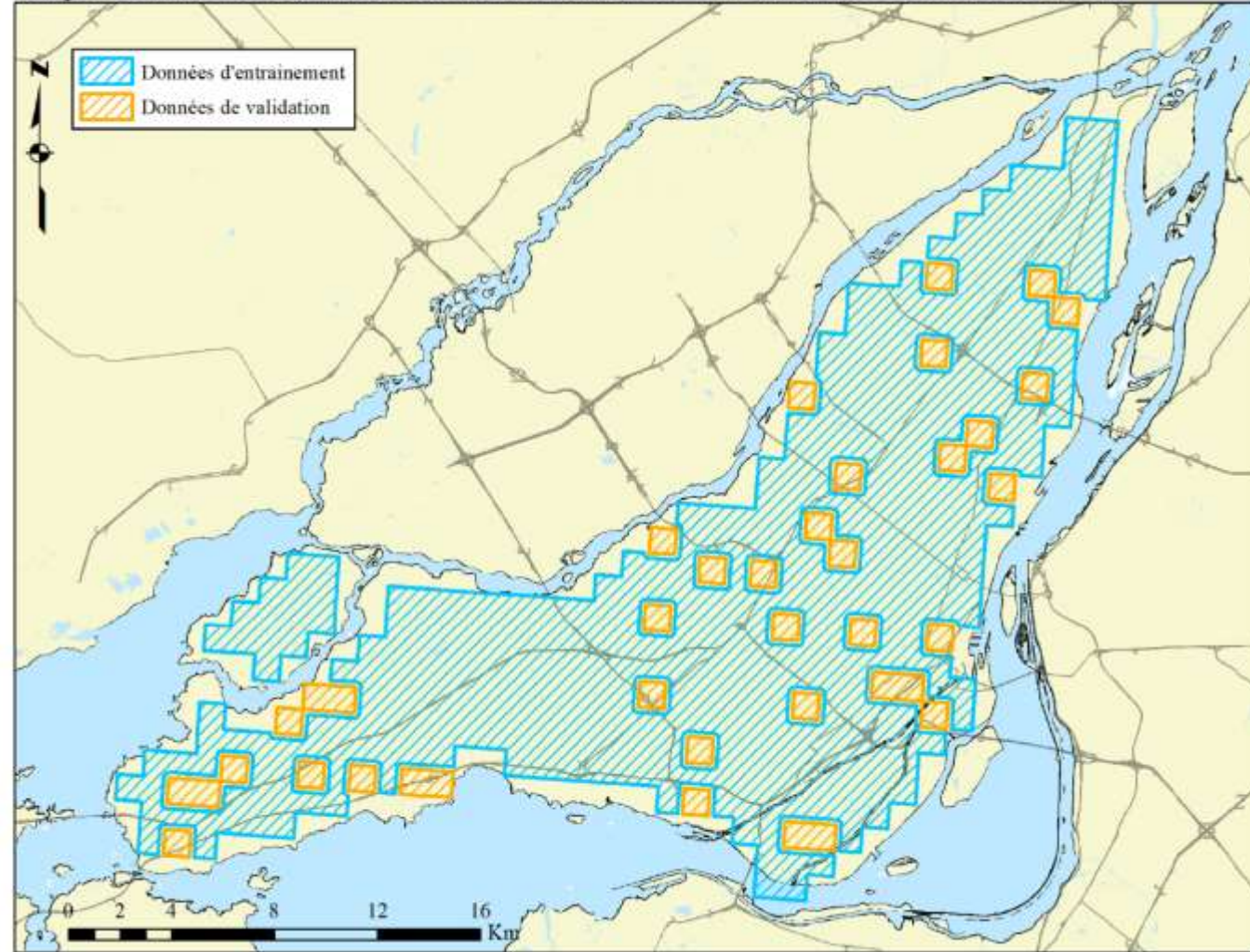
Hauteur moyenne



Principales étapes

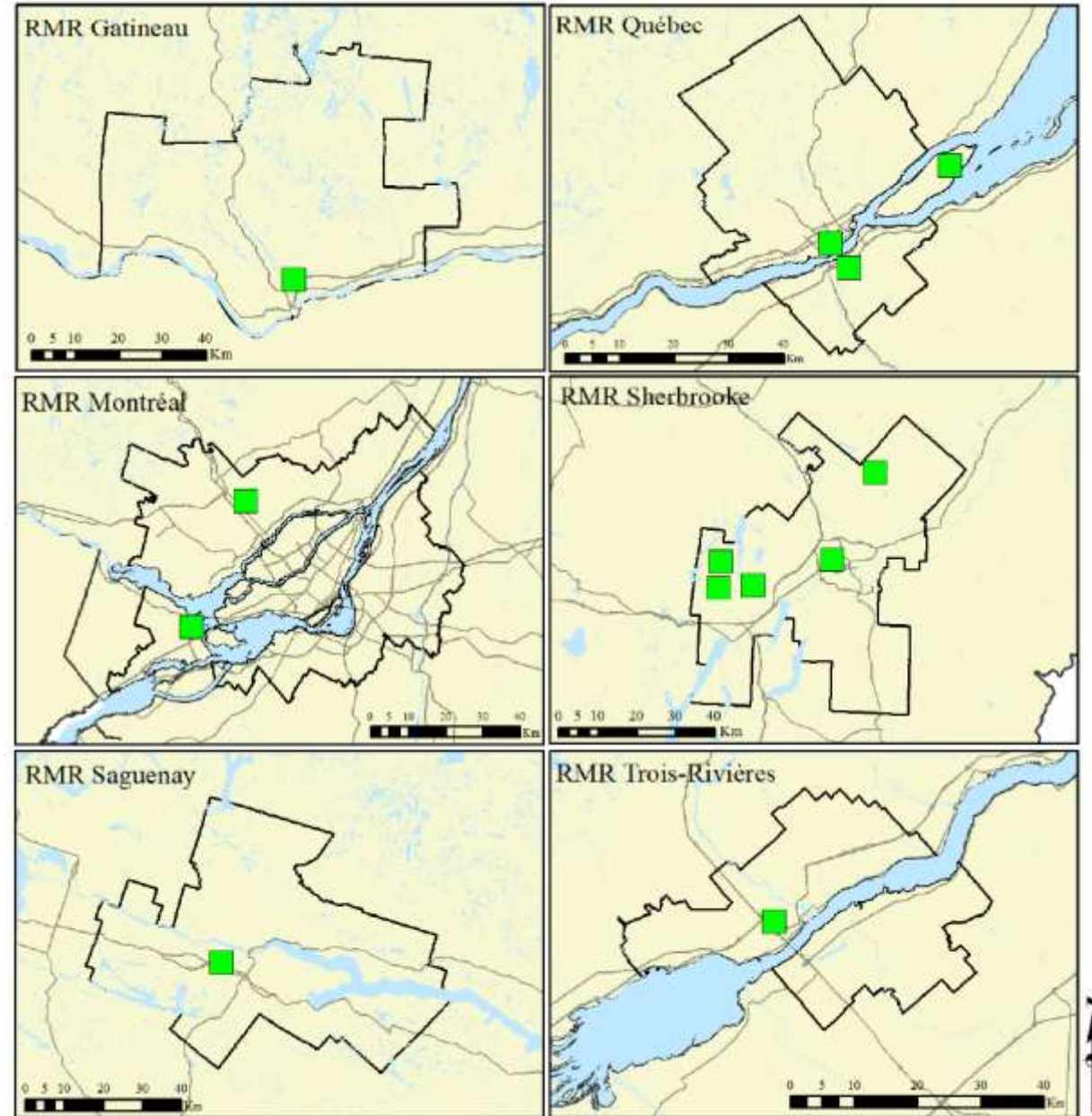
1. Calcul et sélection de variables
2. Développement sur la canopée de Montréal
3. Généralisation du modèle
4. Ajustement du seuil à 2 m de hauteur
5. Prédiction sur l'ensemble du territoire

Emplacement des données d'entraînement et de validation sur l'île de Montréal



Principales étapes

1. Calcul et sélection de variables
2. Développement sur la canopée de Montréal
3. Généralisation du modèle
4. Ajustement du seuil à 2 m de hauteur
5. Prédiction sur l'ensemble du territoire

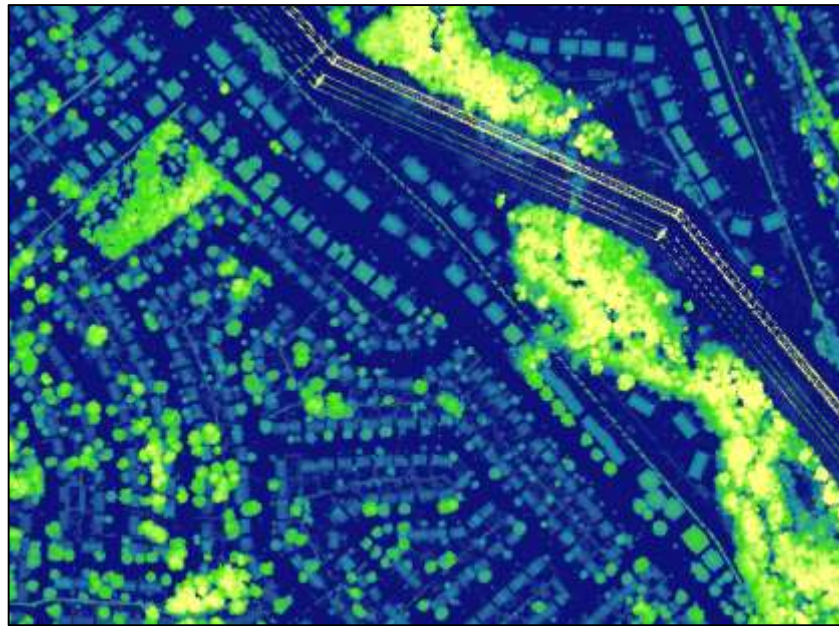


Principales étapes

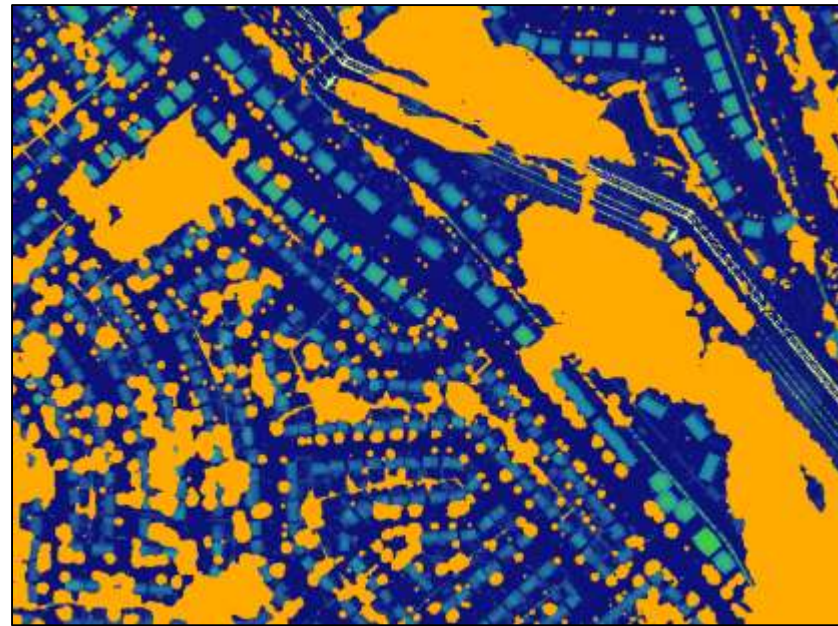
Apprentissage actif

- Prédiction de canopée réalisée en dehors de Montréal, dans des configurations non rencontrées par le modèle (Avec/sans feuilles, différents aménagements urbains,...)
- Correction manuelle des prédictions.
- La prédiction corrigée est ajoutée dans les données d'entraînement.

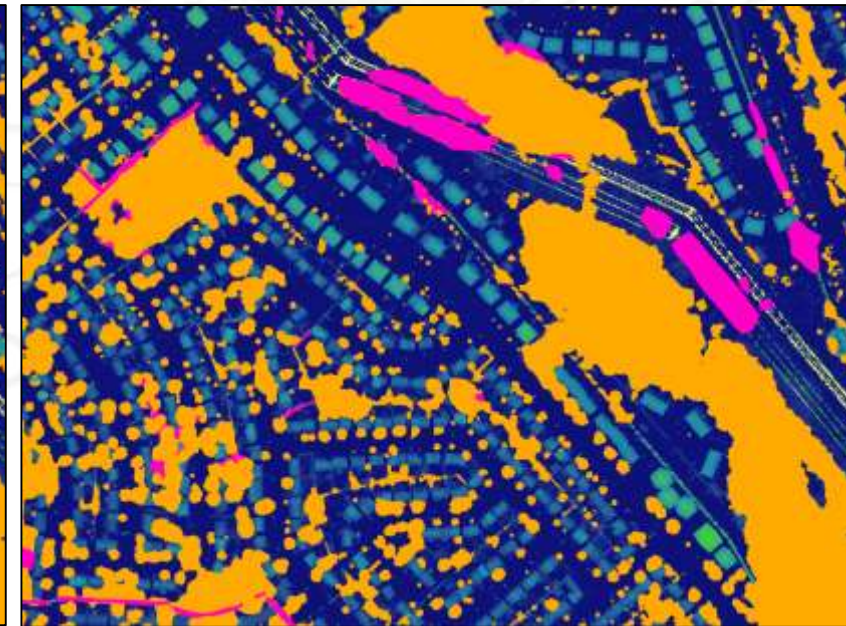
Modèle numérique de hauteur



Prédiction par apprentissage profond



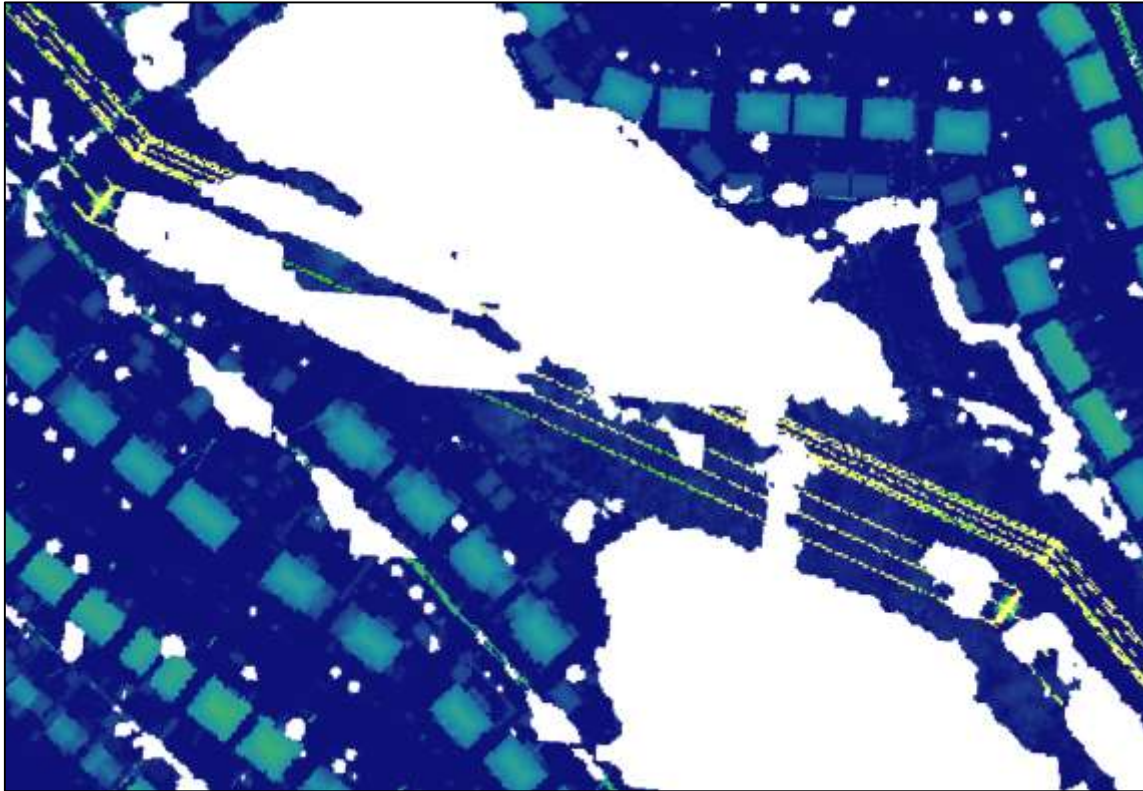
Corrections manuelle de la prédiction



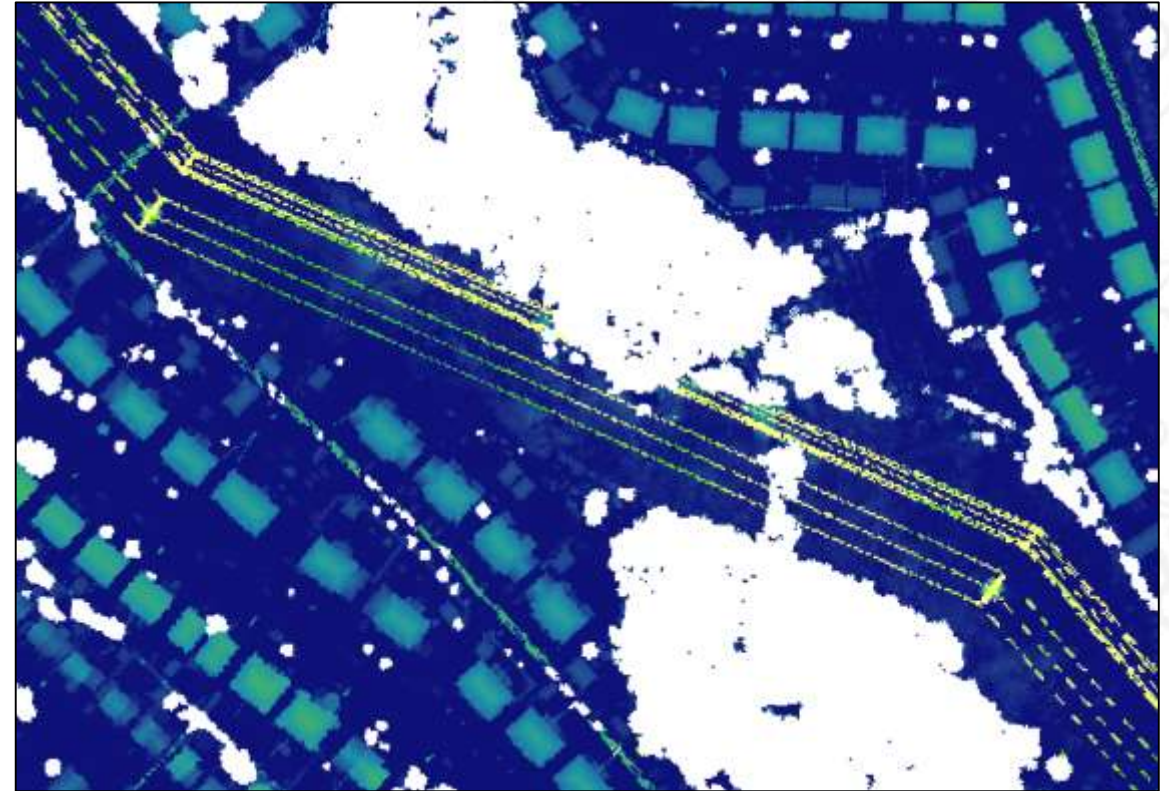
Principales étapes

3. Apprentissage actif

Prédiction avant apprentissage actif



Prédiction après apprentissage actif



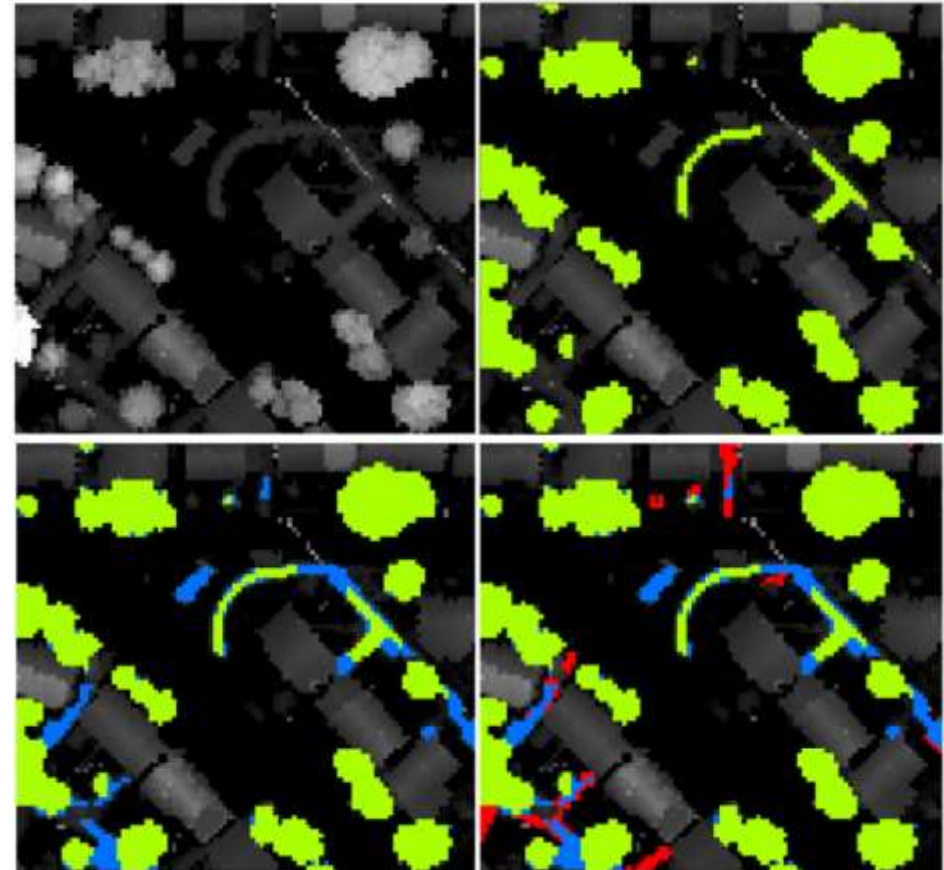
Principales étapes

1. Calcul et sélection de variables
2. Développement sur la canopée de Montréal
3. Généralisation du modèle
4. Ajustement du seuil à 2 m de hauteur
5. Prédiction sur l'ensemble du territoire

MNH où [Moyenne \geq 2] \rightarrow MNH + 1

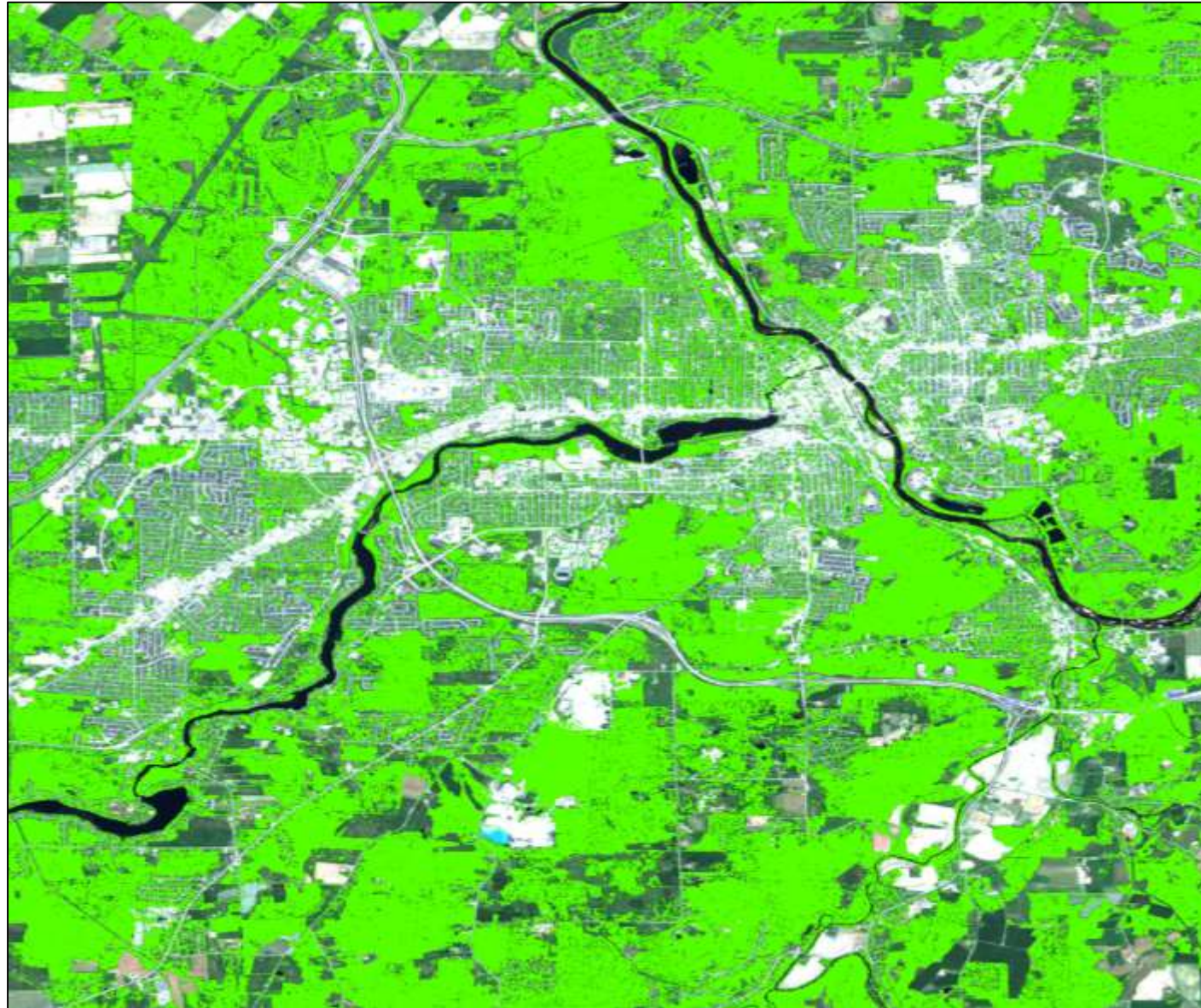
Moyenne où [Moyenne \geq 2] \rightarrow Moyenne + 1

Pas de modification de l'écart-type



Principales étapes

1. Calcul et sélection de variables
2. Développement sur la canopée de Montréal
3. Généralisation du modèle
4. Ajustement du seuil à 2 m de hauteur
5. Prédiction sur l'ensemble du territoire



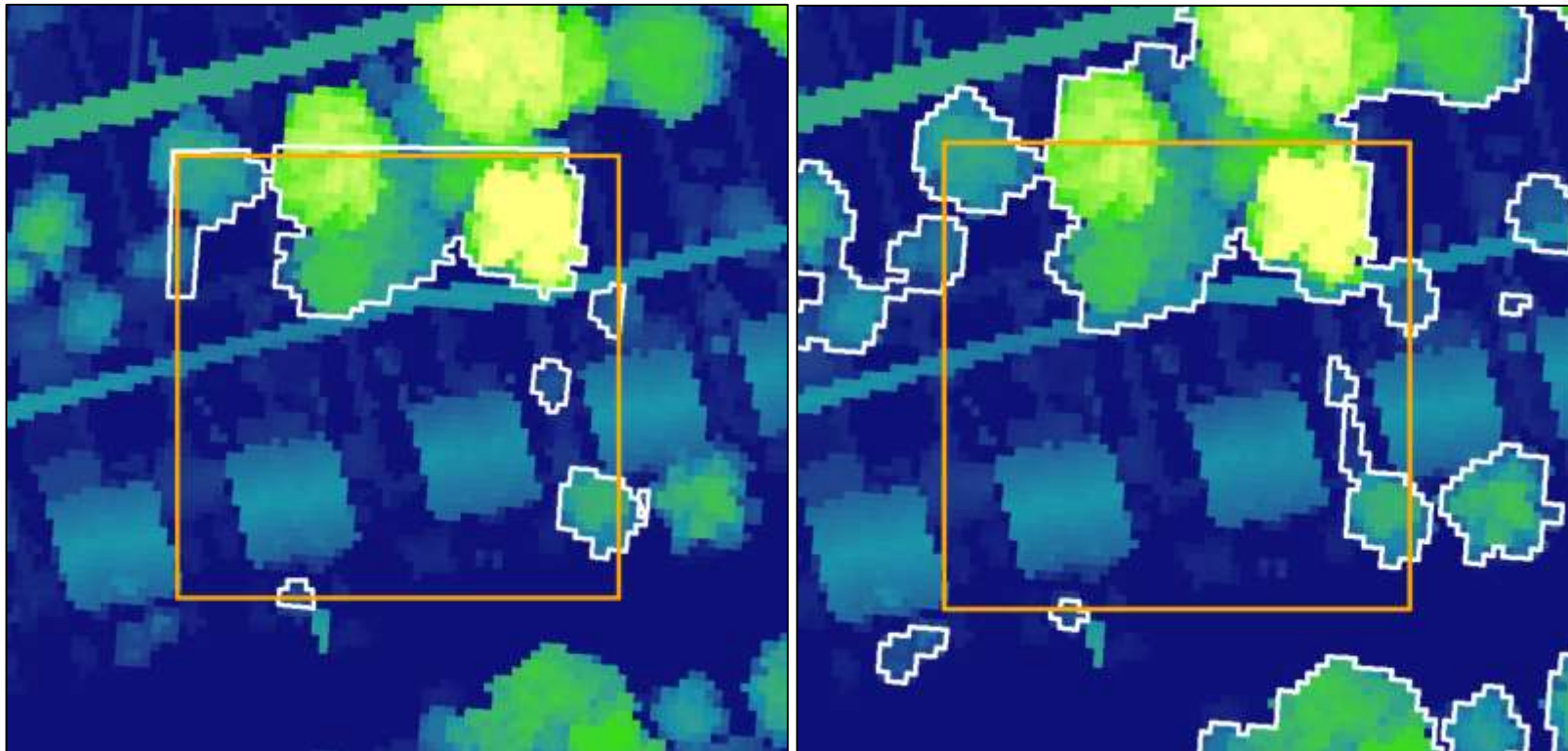
Validation

Validation de la canopée prédite

90 cellules de validation par RMR

- 30 en milieu forestier
- 30 en milieu rural
- 30 en milieu urbain

Prédiction effectuée par apprentissage profond



Comparaisons :

- Matrice d'erreurs
 - Précision globale
 - Coefficient de Kappa
 - Spécificité
 - Sensitivité
 - F1-Score
- Indices de canopée
 - R^2

Validation

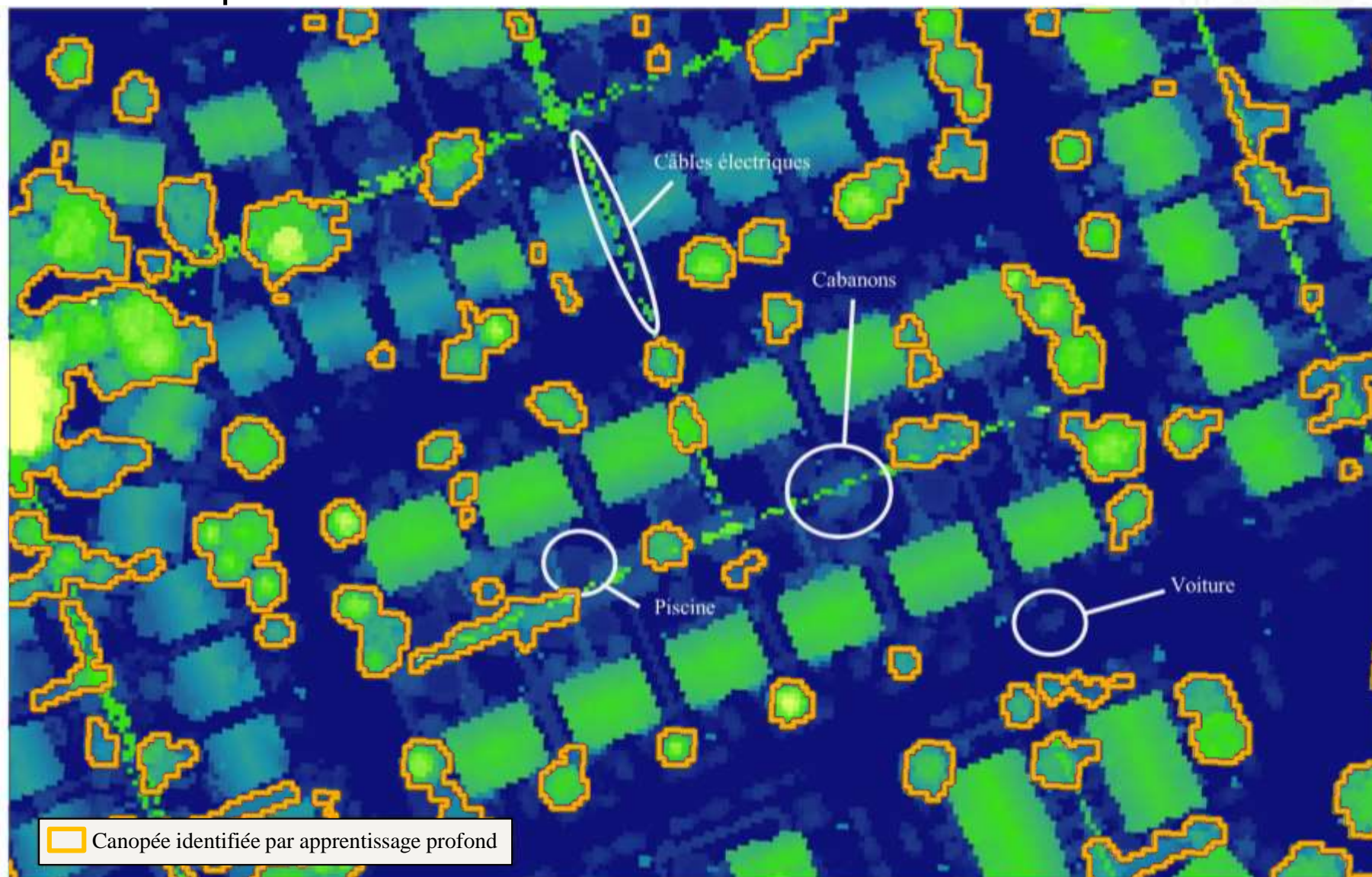
	Montréal		Québec		Saguenay	
	Précision %	IC (R ²)	Précision %	IC (R ²)	Précision %	IC (R ²)
Global	0.971	0.994	0.968	0.995	0.972	0.994
Forestier	0.962	0.991	0.961	0.988	0.968	0.989
Rural	0.994	0.992	0.973	0.988	0.984	0.986
Urbain	0.953	0.987	0.967	0.991	0.961	0.975

	Gatineau		Sherbrooke		Trois-Rivières	
	Précision %	IC (R ²)	Précision %	IC (R ²)	Précision %	IC (R ²)
Global	0.955	0.978	0.961	0.974	0.969	0.979
Forestier	0.957	0.984	0.942	0.945	0.937	0.942
Rural	0.969	0.858	0.967	0.936	0.991	0.928
Urbain	0.942	0.958	0.972	0.982	0.962	0.983

IC = Indice de canopée

Résultats

Présentation de la canopée finale



Résultats

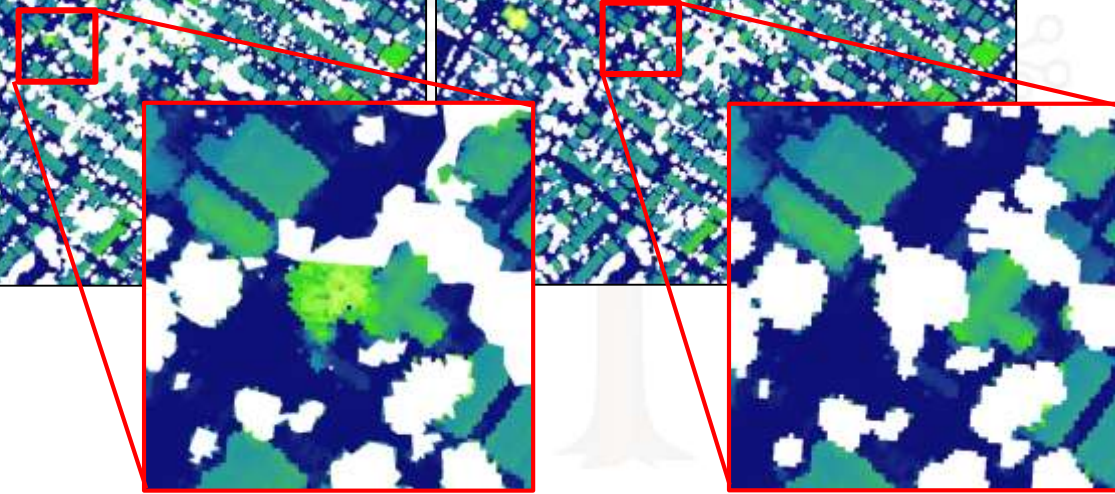
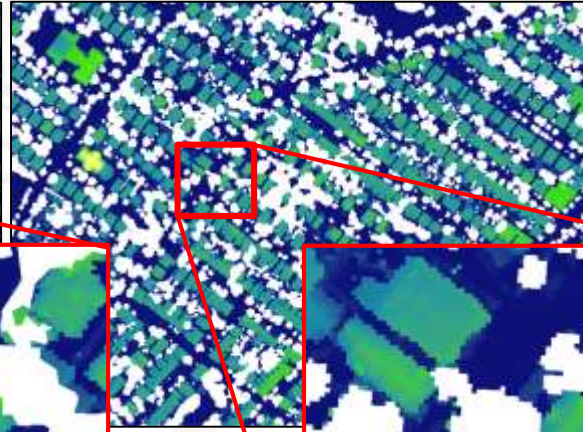
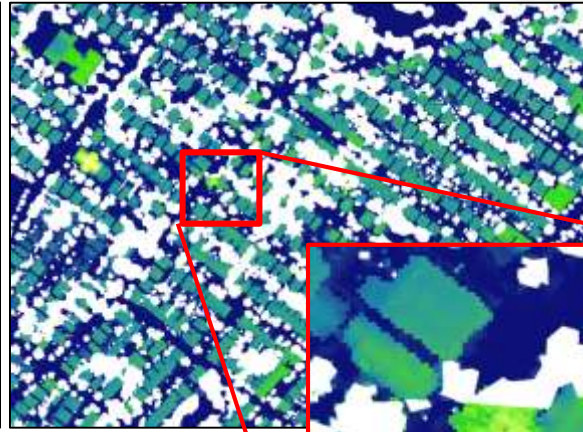
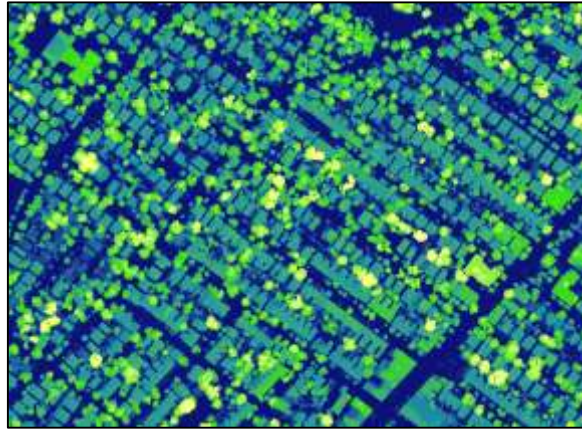
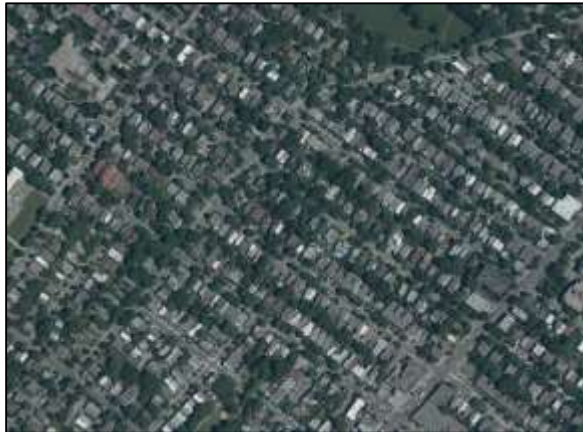
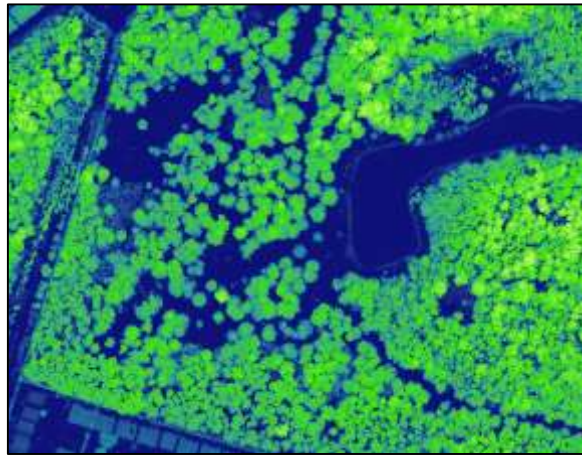
Ville de Montréal

Photo aérienne

Modèle numérique de hauteur

Canopée de référence

Prédiction par apprentissage profond



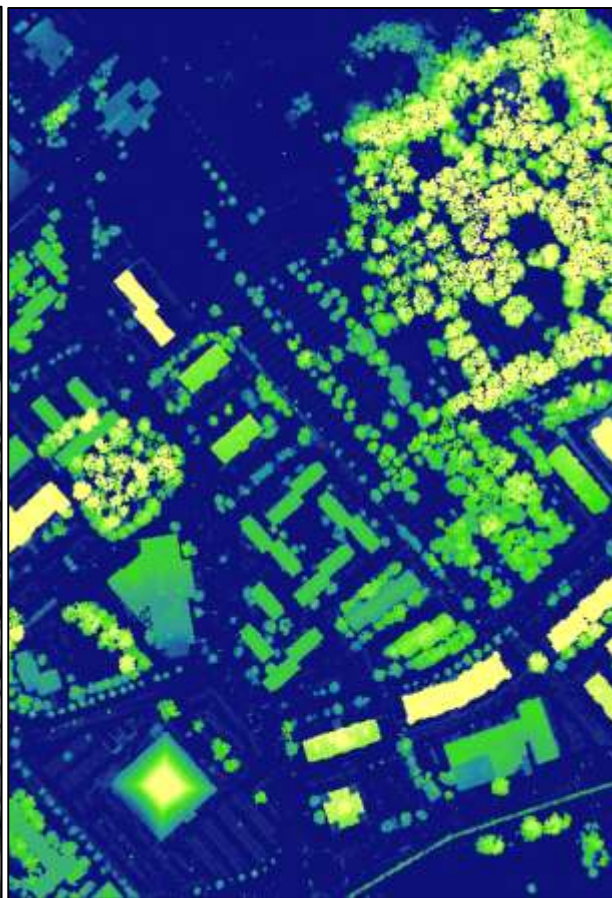
Résultats

Ville de Québec

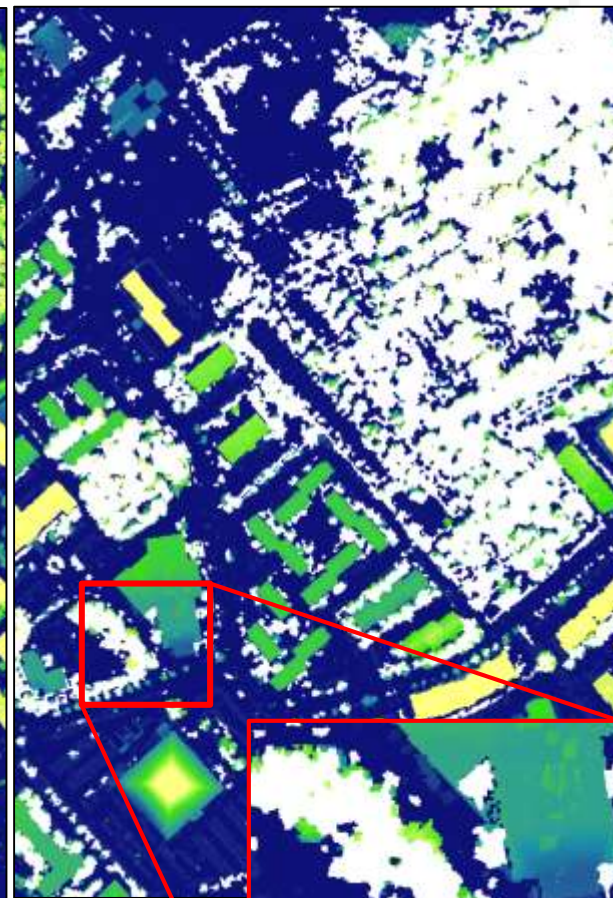
Photo aérienne



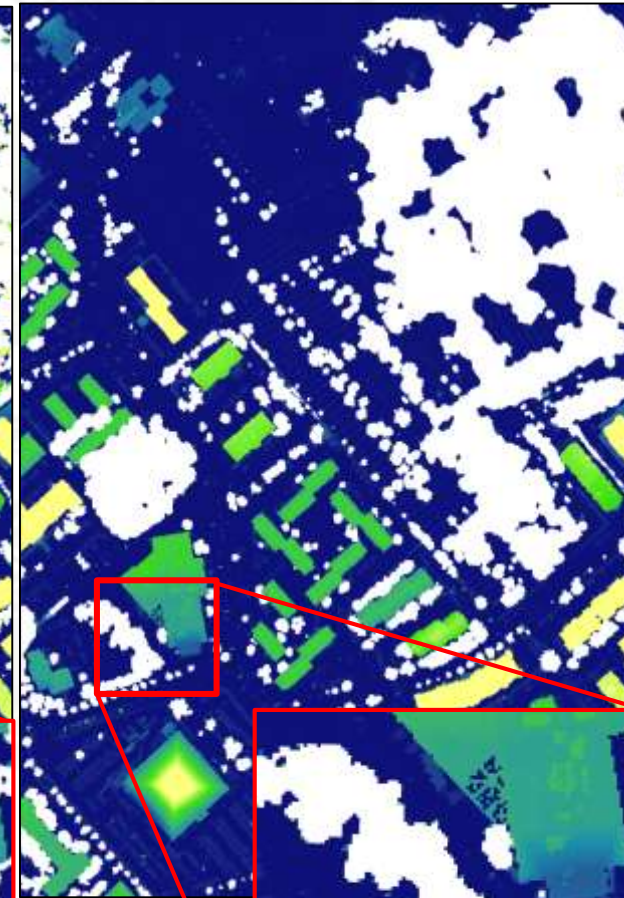
Modèle numérique de hauteur



Canopée 2021 produite avec des images satellitaires



Prédiction par apprentissage profond

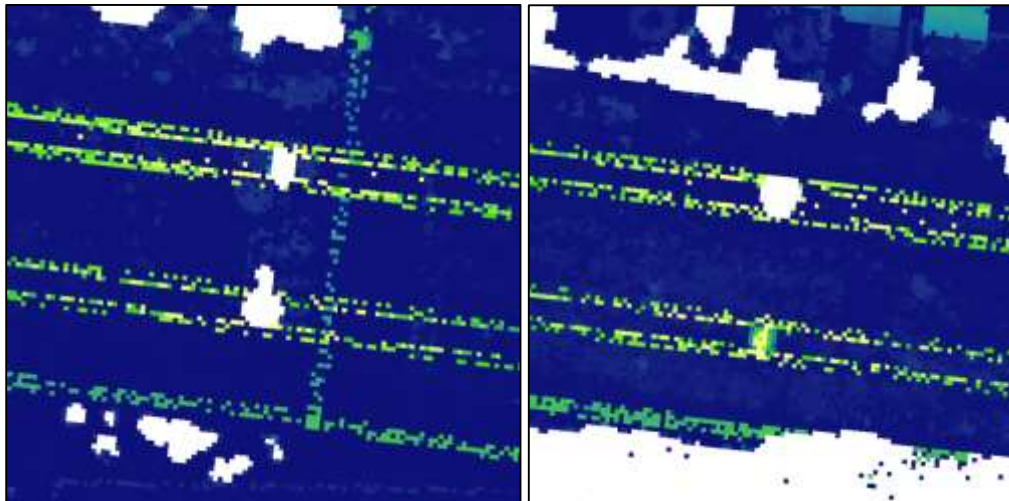


Validation

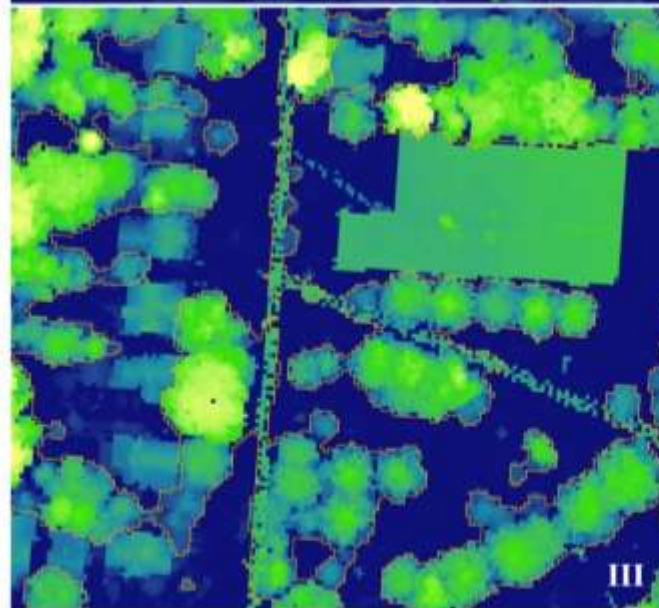
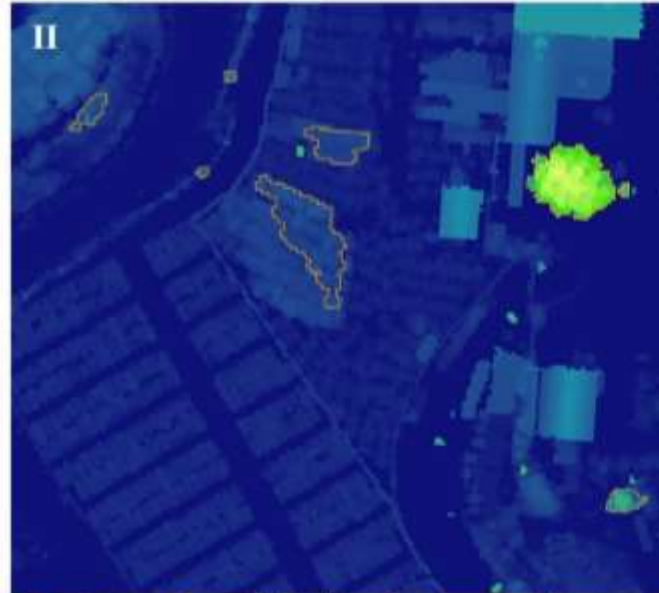
Erreurs de commission

Principales sources d'erreur dans la donnée finale :

- VR ou gros véhicules (rare) →
- Cabanons de jardin (rare)
- Bateaux (très rare)
- Toits de très hauts bâtiments (très rare)
- Zones industrielles (très rare)
- Réseau de distribution d'électricité (commun)



Commission sur des pylônes de distribution d'électricité (en blanc : prédiction de canopée)



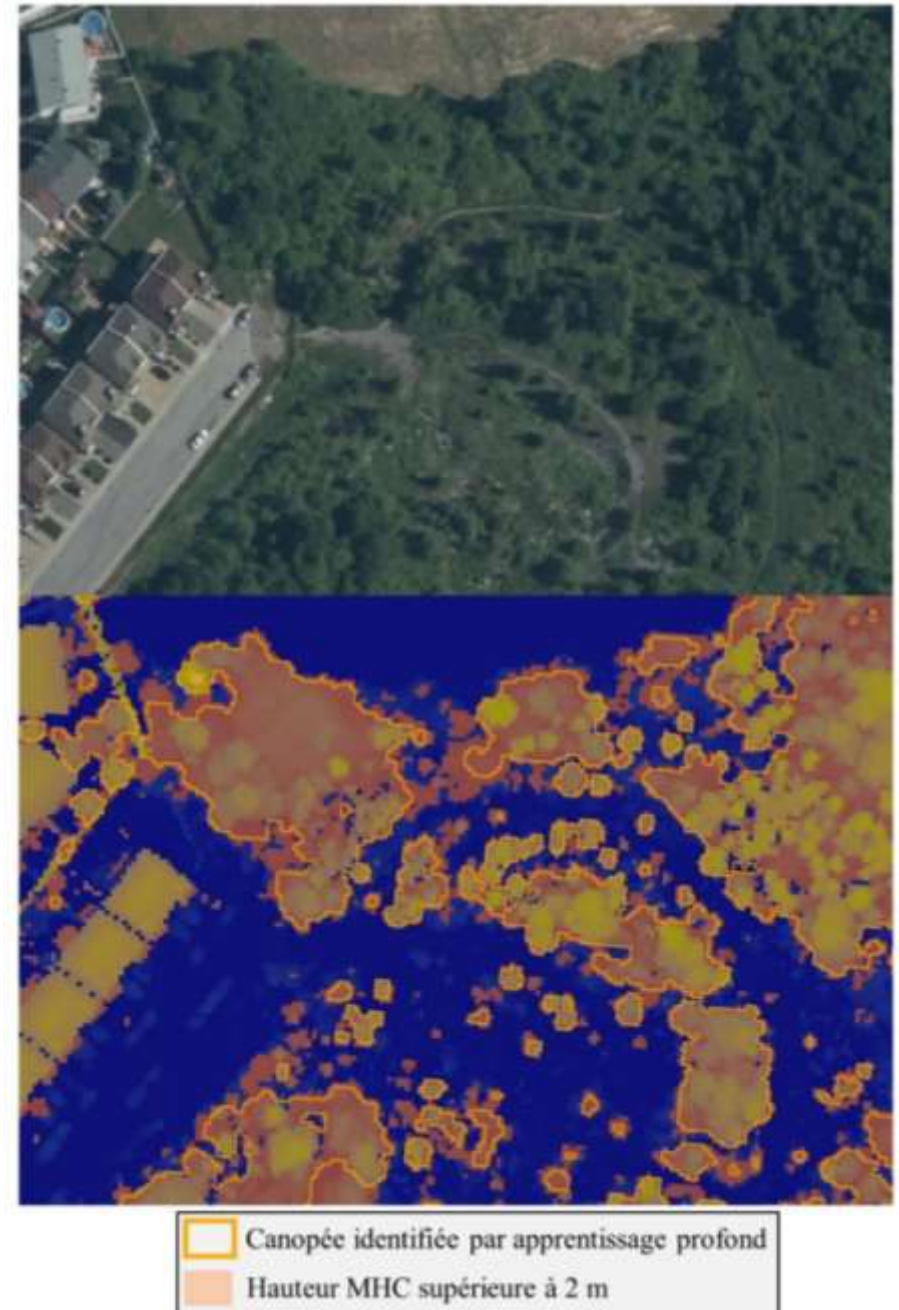
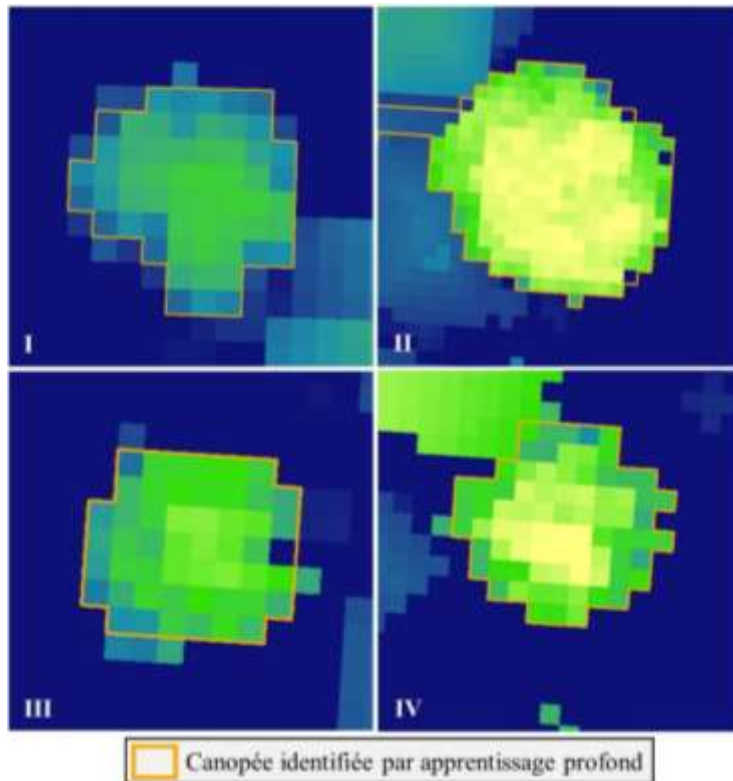
 Canopée identifiée par apprentissage profond

Validation

Erreurs d'omission

Principales sources d'erreur dans la donnée finale :

- Arbres surélevés
- Très petits arbres ($\geq 1 \text{ m}^2$)
- Boisés épars et boisés denses
- Contour des arbres



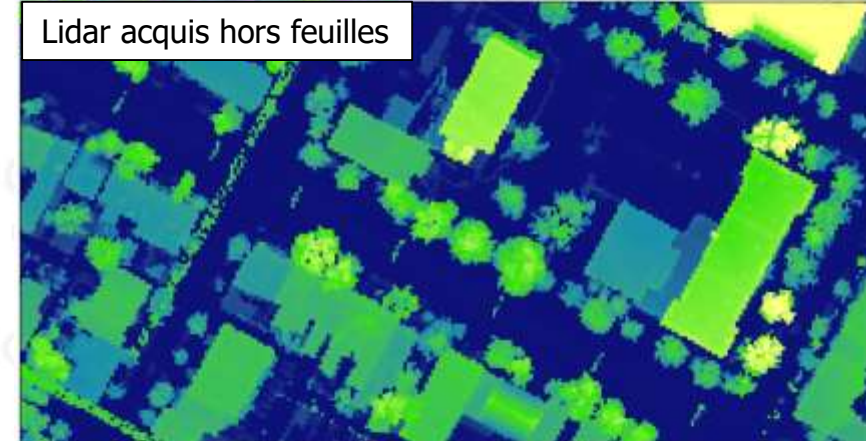
Acquisitions lidar avec et sans feuilles

Présence/absence de feuilles lors des acquisitions lidar : quels effets ?

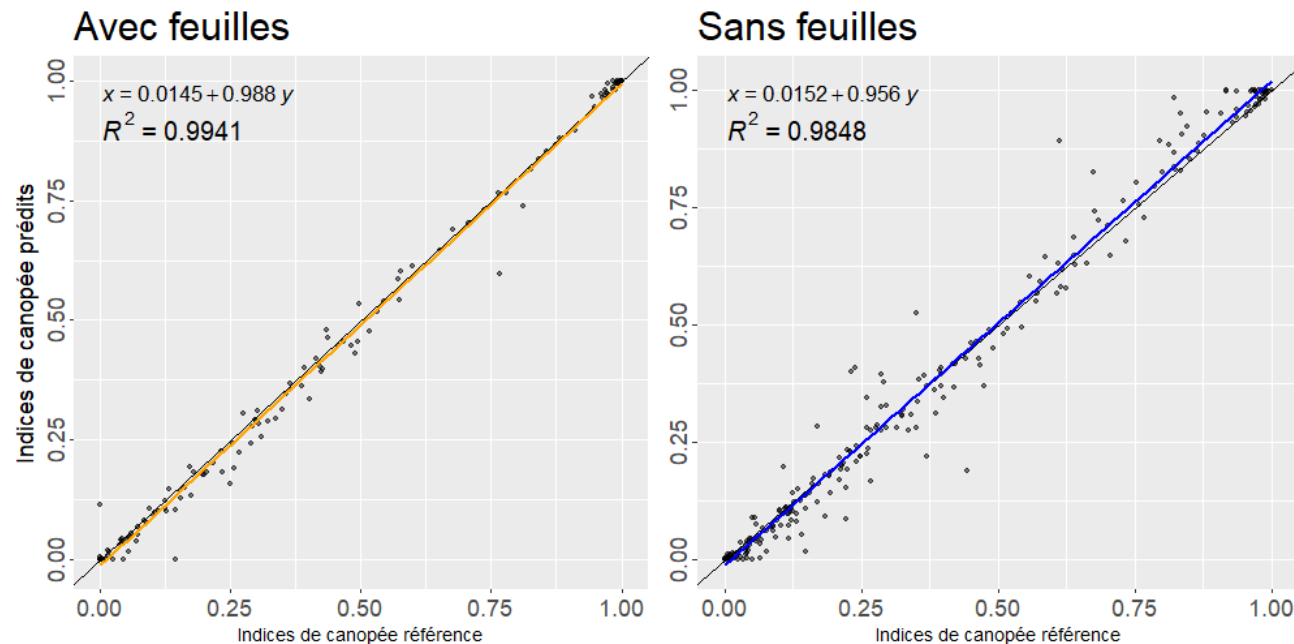
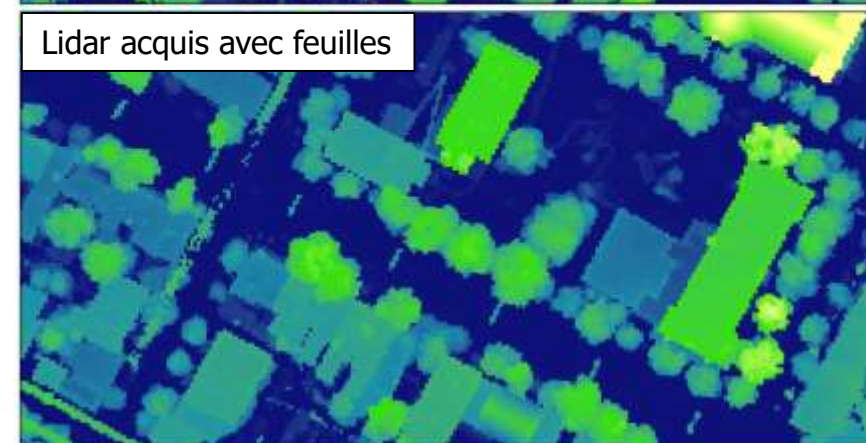
- Algorithme performant dans les deux cas
- Superficie plus faible en absence de feuilles (sous-estimation)



Lidar acquis hors feuilles



Lidar acquis avec feuilles



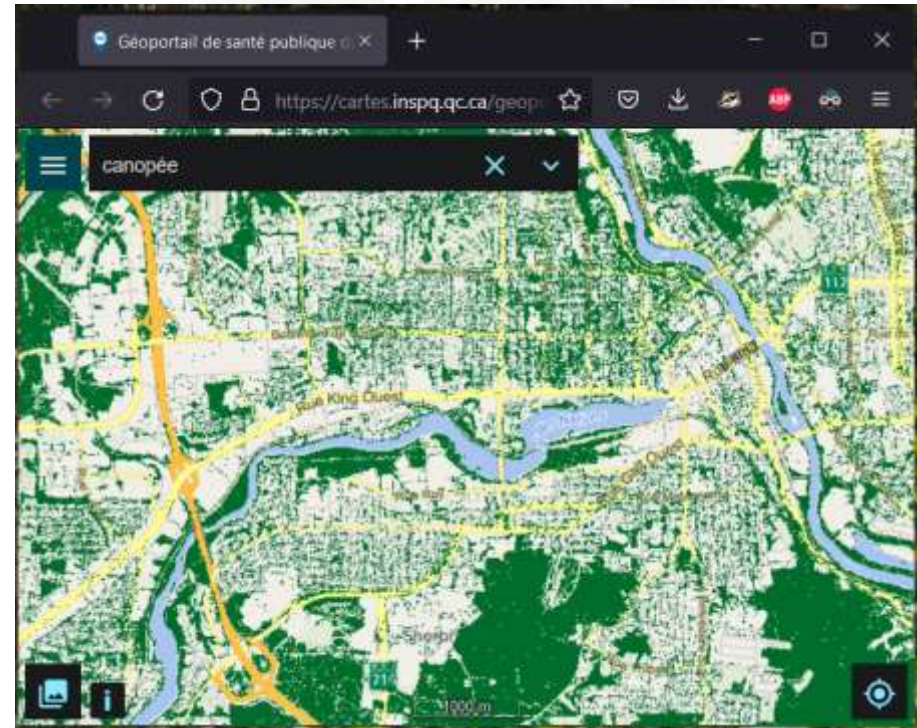
Conclusion

- Outil puissant, facilement reproductible
- Donnée disponible au publique (visualisation et téléchargement)

Données : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/canopee-des-six-rmr-du-quebec>
<https://www.inspq.qc.ca/expertises/sante-environnementale-toxicologie/adaptation-aux-changements-climatiques/cartographie-canopee-urbaine>
Rapport méthodologique :
https://www.researchgate.net/publication/359425972_Cartographie_de_la_canopee_des_six_regions_metropolitaines_de_recensement_du_Quebec_par_apprentissage_profond_et_donnees_lidar

Possibilités :

- Calcul d'indices de canopée
- Suivi de la canopée urbaine (analyse diachronique)
- Simulations d'ombrages
- Comparaison entre villes (Intra, inter-province, inter-pays)





CERFO

Centre d'enseignement et de recherche
en foresterie de Sainte-Foy inc.

bbour@cerfo.qc.ca

mvarin@cerfo.qc.ca

magenest@cerfo.qc.ca

