

Rapport final

Projet N° 22-1003
Priorisation des sites de
plantation pour le verdissement
des deux rives.

Mai 2023

PAR

Brindusa Cristina Budei, Ph. D.

Vincent Gauthray-Guyénet, biol. Ph. D.

Emmanuelle Boulfroy, M. Sc.

Mathieu Varin, M. Sc.

PRÉSENTÉ À

Association forestière des deux rives

Julie Molard, directrice générale





Mots-clés :

Forêt urbaine, priorisation de plantation, cartographie, analyse multicritère, canopée, critères sociaux et environnementaux, verdissement, défavorisation sociale, défavorisation matérielle, imperméabilité, îlot de chaleur

Référence à citer :

Budei, B.C., Gauthray-Guyénet, V., Boulfroy, E., Varin, M., 2022, Priorisation des sites de plantation pour le verdissement des deux rives, Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 23-02, 41 pages.



Bénéficiaire du projet

Association forestière des deux rives.

Julie Molard, directrice générale

Partenaires du projet

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

Brindusa Cristina Budei, Ph. D.

Vincent Gauthray-Guyénet, biol. Ph. D.

Emmanuelle Boulfroy, M. Sc..

Mathieu Varin, M. Sc.



Table des matières

Bénéficiaire du projet	3
Partenaires du projet	3
Table des matières	4
Liste des figures	5
Liste des tableaux	6
Résumé	7
Liste des abréviations	8
Introduction	9
Objectifs	9
1. Approche méthodologique	10
1.1. Zone d'étude et échelle de l'analyse multicritère	10
1.2. Variables utilisées dans le calcul de l'indice de priorisation	10
1.3. Pondération des indicateurs dans l'indice de priorisation	29
2. Résultats	31
3. Limites méthodologiques et recommandations	37
4. Conclusion	39
5. Références	40



Liste des figures

FIGURE 1 : Indice de défavorisation matérielle et sociale, Chaudière-Appalaches et Capitale-Nationale.	13
FIGURE 2 : Indice de défavorisation matérielle et sociale, ville de Québec.	14
FIGURE 3 : Indice de défavorisation matérielle et sociale, ville de Thetford Mines.	15
FIGURE 4 : Indice des îlots de chaleur par ID, Chaudière-Appalaches et Capitale-Nationale.	17
FIGURE 5 : Indice des îlots de chaleur par ID, ville de Québec.	18
FIGURE 6 : Indice des îlots de chaleur par ID, Thetford Mines.	19
FIGURE 7 : Indice d'imperméabilité des surfaces par ID, Chaudière-Appalaches et Capitale-Nationale.	21
FIGURE 8 : Indice d'imperméabilité des surfaces par ID, ville de Québec.	22
FIGURE 9 : Indice d'imperméabilité des surfaces par ID, Thetford Mines.	23
FIGURE 10 : Indice de canopée par ID, Chaudière-Appalaches et Capitale-Nationale.	25
FIGURE 11 : Indice de canopée par ID, ville de Québec.	26
FIGURE 12 : Indice de canopée par ID, Thetford Mines.	27
FIGURE 13 : Dispersion de la probabilité d'avoir une surface imperméable en fonction des classes d'îlot de chaleur.	29
FIGURE 14 : Indice de priorisation des sites de plantation, Chaudière-Appalaches et Capitale-Nationale.	32
FIGURE 15 : Indice de priorisation des sites de plantation, zoom sur la ville de Québec.	33
FIGURE 16 : Indice de priorisation des sites de plantation, ville de Québec.	34
FIGURE 17 : Comparaison entre les indicateurs et l'indice de priorisation, quartiers Montcalm et Saint-Sauveur, ville de Québec.	35



Liste des tableaux

TABLERAU 1 : Liste des données utilisées dans le calcul de l'indice de priorisation.

28



Résumé

Le Collectif Canopée a mandaté le CERFO afin de développer un outil cartographique de priorisation des sites de plantation sur le territoire couvert par les milieux urbains et périurbains des régions de la Capitale-Nationale et de Chaudière-Appalaches. Pour cela, une méthode d'analyse multicritère répondant spécifiquement aux besoins du projet a été développée et a été appliquée au territoire d'étude. Ce territoire couvre les centres de populations présents dans les 2 régions administratives ciblées, autour desquels une bande tampon de 500 m a été ajoutée. Quatre indices ont été retenus pour l'exercice, afin de remplir les exigences suivantes : (1) avoir un nombre limité d'indicateurs et dont la donnée cartographique est facilement disponible afin de rendre la méthode reproductible (2) choisir des indicateurs intégrateurs et (3) couvrir les principaux effets bénéfiques apportés par la canopée urbaine, en considérant autant les volets social et environnemental. Ces indicateurs sont : (1) un indice combiné de défavorisation matérielle et sociale calculé par l'Institut National de Santé Publique du Québec (INSPQ) (2) un indice de présence d'îlots de chaleur (3) un indice de présence de surfaces imperméables et (4) un indice de présence de la canopée. La pondération des différents indicateurs tient compte de la corrélation entre les indicateurs et aussi de l'absence éventuelle de l'information (No Data). Le calcul des indicateurs et l'analyse multicritère ont été réalisés à l'échelle des îlots de diffusion, correspondant à la plus petite limite géographique de recensement de Statistiques Canada, permettant d'obtenir un gradient de réponses et d'interventions possibles à l'échelle des petites municipalités. La cartographie de l'indice de priorisation confirme que la méthode suivie apporte un niveau de contraste élevé, puisque l'on retrouve dans un même secteur d'étude les 5 classes de valeur, allant de la classe la plus basse (0-0,2) à la classe la plus élevée (0,8 à 1) en passant par les classes intermédiaires (0,2-0,4 – 0,4-0,6 et 0,6-0,8). Ainsi, le Collectif Canopée dispose d'un outil lui permettant d'identifier les ID les plus critiques (indice de priorisation entre 0,8 et 1) qui nécessiteront les plus grands efforts de verdissement. À la lumière des limites identifiées, il est cependant important de considérer que les comparaisons entre les valeurs absolues de l'indice de priorisation entre différents îlots de diffusion sont plus précises pour des zones rapprochées (p. ex. même centre de population, même région sociosanitaire) qu'éloignées. La comparaison à l'échelle des classes reste néanmoins valable, puisque la classe la plus élevée sera toujours la classe de verdissement prioritaire.



Liste des abréviations

CTRPOP : Centres de population

ID : îlot de diffusion

AD : Aire de diffusion

MHC : Modèle de hauteur de la canopée

RMR : Régions métropolitaines de recensement

RVPB : Rouille vésiculeuse du pin blanc



Introduction

Mise en contexte : verdissement du territoire urbanisé dans les régions de Capitale-Nationale et Chaudière-Appalaches

En 2015, lors de la Conférence de Paris sur le climat (COP 21), les cosignataires, dont le Canada, se sont engagés à mener des efforts soutenus pour limiter la hausse de température à 1,5 °C au-dessus du niveau préindustriel. Ces efforts se concrétisent par des engagements de réduction d'émissions de gaz à effet de serre à l'échelle nationale et le Canada s'est fixé comme cible de réduire ses émissions de 40 à 45 % d'ici 2030 par rapport à 2005. C'est dans ce contexte que le gouvernement du Canada a lancé un vaste programme visant à réaliser la plantation de 2 milliards d'arbres sur une période de 10 ans. Ces plantations visent à rendre une multitude de services écosystémiques portant sur les axes sociaux, culturels, environnementaux et économiques tels que la diminution des effets néfastes des îlots de chaleur, l'amélioration de la qualité de l'air ambiant, la cohésion sociale, l'augmentation de la biodiversité et la restauration d'habitat, une séquestration accrue en carbone, etc. En milieu urbain et périurbain des régions Capitale-Nationale et Chaudière-Appalaches, les besoins de verdissement et de restauration de la canopée sont importants. Les acteurs du verdissement urbain sont cependant confrontés au choix des sites de plantation, car à l'échelle de ce vaste territoire, les sites potentiels de plantation sont très nombreux et les impacts projetés des futures plantations, variables. De plus, comme une forte proportion de ce territoire urbanisé est sur propriété privée, une grande stratégie inclusive réunissant les principaux acteurs du verdissement doit être développée pour augmenter significativement la canopée. Dans ce contexte, un outil d'aide à la décision permettant d'établir une cartographie des milieux à verdifier en priorité (c'est-à-dire là où le besoin de verdissement est le plus important selon les indicateurs choisis) guiderait les choix stratégiques de plantation.

Objectifs

L'objectif principal de ce livrable est de produire une carte de priorisation des sites de plantation sur le territoire couvert par les centres de population des milieux urbains et périurbains des régions de la Capitale-Nationale et de Chaudière-Appalaches.

Les objectifs secondaires sont :

1.

Développer une méthode d'analyse multicritère répondant spécifiquement aux besoins du projet et visant à calculer un indice de priorisation de sites de plantation.

2.

Appliquer cette méthode au territoire d'étude.



1. Approche méthodologique

1.1. Zone d'étude et échelle de l'analyse multicritère

La zone d'étude est délimitée par les centres de population des régions de la Capitale-Nationale et de Chaudière-Appalaches. Comme définis par Statistique Canada, les centres de population (CTRPOP) contiennent une concentration démographique d'au moins 1 000 habitants et une densité de population d'au moins 400 habitants ou plus au kilomètre carré (Glossaire illustré consultable en ligne, Statistique Canada 2022). Une zone tampon de 500 mètres autour de chacun des centres de population a été ajoutée, ce qui permet d'inclure la périphérie de ces centres de population qui est plus rurale et donc moins peuplée. Toutes les données sources des critères utilisés dans l'analyse subséquente ont été découpées selon ces limites externes, même si leur contour initial était plus vaste.

L'échelle d'analyse multicritère doit permettre de cibler les secteurs à l'échelle d'une ville et de son environnement proche, qui sont prioritaires pour la plantation. Cette échelle ne doit donc pas couvrir des territoires trop vastes pour apporter un gradient de réponses et d'interventions réalisable. Deux découpages ont été envisagés :

- Les îlots de diffusion (ID) correspondants à des limites géographiques de recensement dont tous les côtés sont délimités par des rues et/ou régions administratives. Il s'agit de la plus petite unité territoriale utilisée par Statistiques Canada.
- Les aires de diffusion (AD), correspondant à des limites géographiques de recensement composées d'un ou plusieurs îlots de diffusion avoisinants.

En milieu plus rural, le découpage des aires de diffusion est apparu trop vaste pour distinguer plusieurs secteurs qui auraient des niveaux de priorisation différents. En effet, certaines petites municipalités ne sont couvertes que par une ou quelques AD. Il a donc été décidé d'opter pour le découpage par ID pour le calcul de l'indice de priorisation. À noter que le découpage en AD et en ID s'emboîte, c'est-à-dire qu'une AD est constituée de plusieurs ID.

Dans certains cas, les ID ont une limite externe qui dépasse celle de la zone d'étude. Dans ce cas, elle a été tronquée à la limite extérieure de la zone d'étude, correspondant aux limites des centres de population. Il est à noter que l'indice de défavorisation matérielle et sociale est compilé par l'INSPQ à l'échelle de l'aire de diffusion (AD) de manière uniforme. Par définition, tous les ID situés dans une même AD ont donc la même valeur d'indice de défavorisation matérielle et sociale.

1.2. Variables utilisées dans le calcul de l'indice de priorisation

Les arbres urbains fournissent plusieurs services écosystémiques aux populations humaines vivant à proximité. Par exemple, ils permettent de capter une partie des polluants atmosphériques de l'air ambiant (tels que des particules fines et l'ozone). Ils contribuent également à la captation d'une partie de CO₂ présent dans l'atmosphère en le séquestrant sous la forme de carbone dans les végétaux et le sol. Ils participent aussi à la réduction du volume des eaux d'écoulement après des épisodes de pluie (Gauthray-Guyenet *et al.*, 2022). Leur rôle pour lutter contre les îlots de chaleur est aussi aujourd'hui reconnu, et une cartographie des îlots de chaleur a d'ailleurs été récemment produite par le CERFO pour les centres de populations du Québec (Budei *et al.*, 2023). De plus, aujourd'hui, les avantages de la forêt urbaine dépassent les seuls facteurs environnementaux et climatiques, et de nombreuses publications ont permis de mettre en évidence les effets bénéfiques de la forêt urbaine sur la santé mentale. Les arbres des milieux urbains permettent par exemple de baisser notre niveau de stress, d'inquiétudes et d'anxiété (Hunter *et al.*, 2019). Des enquêtes ont aussi montré que les milieux arborés (dont les parcs) permettent au public des milieux urbains de rompre l'isolement social (Stark *et al.*, 2021, Wolf *et al.*, 2020).



Pour ces différentes raisons et après plusieurs consultations auprès du Collectif Canopée, il a été décidé de retenir des indicateurs portant à la fois sur des facteurs environnementaux et sociaux. Le choix final repose sur une sélection réfléchie :

- Avoir un nombre limité d'indicateurs et dont la donnée cartographique est facilement disponible afin de rendre la méthode reproductible;
- Choisir des indicateurs intégrateurs;
- Couvrir les principaux effets bénéfiques apportés par la canopée urbaine, en considérant les volets social et environnemental :
 - Volet social : contribution de la canopée dans la lutte contre un des principaux stress présents en milieu urbain particulièrement en période estivale, soit les îlots de chaleur, largement influencée par :
 - La présence des îlots de chaleur;
 - La présence d'une population vulnérable aux îlots de chaleur;
 - Volet environnemental :
 - Contribution de la canopée à l'amélioration de la biodiversité terrestre;
 - Contribution de la canopée à une meilleure gestion des eaux (dont les eaux de ruissellement) en milieu urbain.

Finalement, **4 critères** ont été utilisés dans l'analyse multicritère de l'indice de priorisation :

- La présence des **îlots de chaleur urbains**. Plus la présence des îlots de chaleur est élevée, plus il devient prioritaire de verdir le site.
- L'indice combiné de **défavorisation matérielle et sociale** qui permet d'avoir un portrait intégrateur des volets économique et social de la vulnérabilité de la population à plusieurs stress présents en milieu urbain, dont les îlots de chaleur. Plus la valeur de l'indice est élevée, plus il est prioritaire de verdir le site.
- Un indice de **impermeabilité des surfaces** qui permet de documenter les zones anthropisées formant un continuum imperméable de toits, routes, stationnements, etc. qui nuisent à l'écoulement de l'eau en milieu urbain. Plus la présence des surfaces imperméables est élevée, plus il est prioritaire de verdir le site.
- La présence de **la canopée** existante. La cartographie de cette dernière permet de savoir quelles sont les zones déjà « vertes », et où le bénéfice de nouvelles plantations serait alors moins important, comparativement aux zones actuellement dépourvues d'arbres. Ainsi, plus la canopée urbaine est importante sur le site, moins il devient prioritaire de verdir le site.



a) Indice combiné de défavorisation matérielle et sociale

L'indice combiné de défavorisation matérielle et sociale est disponible seulement pour l'année 2016 et à l'échelle de l'air de diffusion (AD). Il est compilé par l'INSPQ (Gravel et Blaser, 2019) et plusieurs versions de l'indice sont disponibles, selon l'échelle de regroupement des AD qui ont servi à la classification. Nous avons utilisé le Com3RSS, qui est calculé à partir d'un regroupement régional des aires de diffusion, selon les régions sociosanitaires (RSS). Cette version permet d'avoir des valeurs représentatives centrées sur une région donnée, puisque l'indice est compilé par rapport aux statistiques régionales et non pas en référence à la moyenne générale provinciale. En revanche, cela rend la comparaison entre les deux régions plus délicate (une région pouvant être en moyenne plus riche que sa voisine, par exemple).

Les classes de l'indice de défavorisation sont :

T1 – AD matériellement et socialement très favorisées

T2 – AD avec tendance à la *favorisation*

T3 – AD favorisées sur une dimension, mais défavorisée sur l'autre

T4 – AD avec tendance à la défavorisation

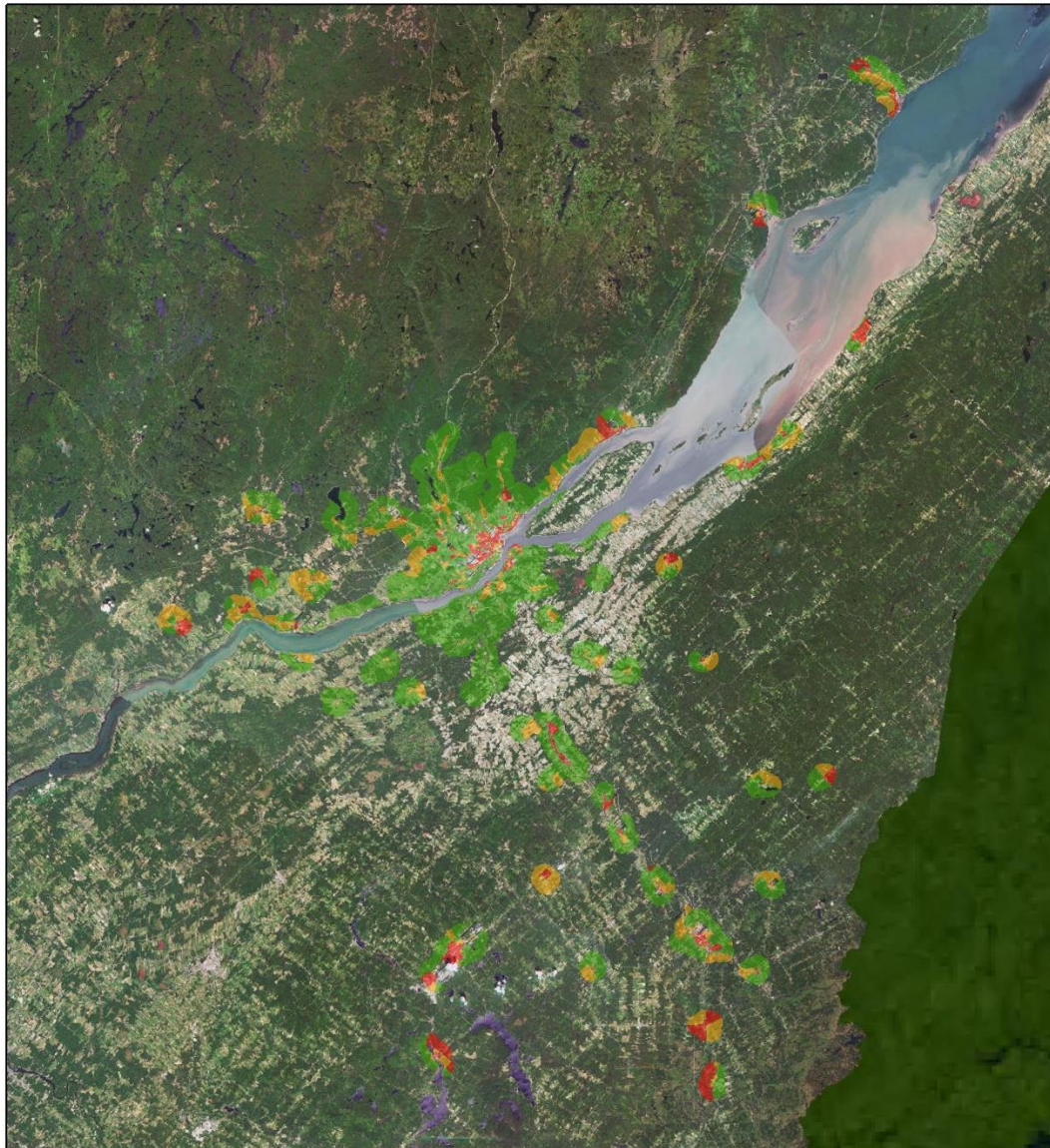
T5 – Matériellement et socialement très défavorisées

Vide – Données non disponibles.

Seules les classes T4 et T5 ont été utilisées pour la valeur de l'indice. La valeur de 1 a été attribuée à la classe T5 (très défavorisée) et la valeur de 0,5 à la classe T4 (assez défavorisée). Les autres classes ont la valeur 0.

Une jointure utilisant le nom de l'AD (champs « ADIDU ») a été utilisée pour transférer les valeurs de l'indice de défavorisation de 2016 obtenue à l'échelle des aires de diffusion aux îlots de diffusion de 2021, utilisés pour le calcul de l'indice final de priorisation. En revanche, selon l'évolution de la population entre 2016 et 2022, certaines AD ont été modifiées pour refléter la nouvelle réalité. Le fichier de correspondance entre les aires de diffusion de 2016 et de 2022 a été utilisé pour identifier les zones de changement, vérifier et compléter l'information sur les aires qui ont changé de nom ou de configuration. La valeur de l'indice de défavorisation matérielle et sociale a ensuite été attribuée à tous les îlots de diffusion se situant dans l'aire de diffusion correspondante.

L'indice de défavorisation matérielle et sociale n'est pas disponible pour certaines aires de diffusion (valeur manquante dans les données sources compilées par l'INSPQ). Dans ce cas, une pondération différente a été appliquée (voir section ultérieure). La **FIGURE 1** illustre la répartition des classes de cet indice dans la zone d'étude. La **FIGURE 2** montre un exemple dans un territoire très urbanisé, soit les villes de Québec et Lévis, et la **FIGURE 3** un territoire moins urbanisé à Thetford Mines, où les zones vides correspondent généralement à des parcs.



Indice de défavorisation

//// No Data

0

0,5

1

0 10 20 40 Kilomètres

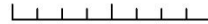
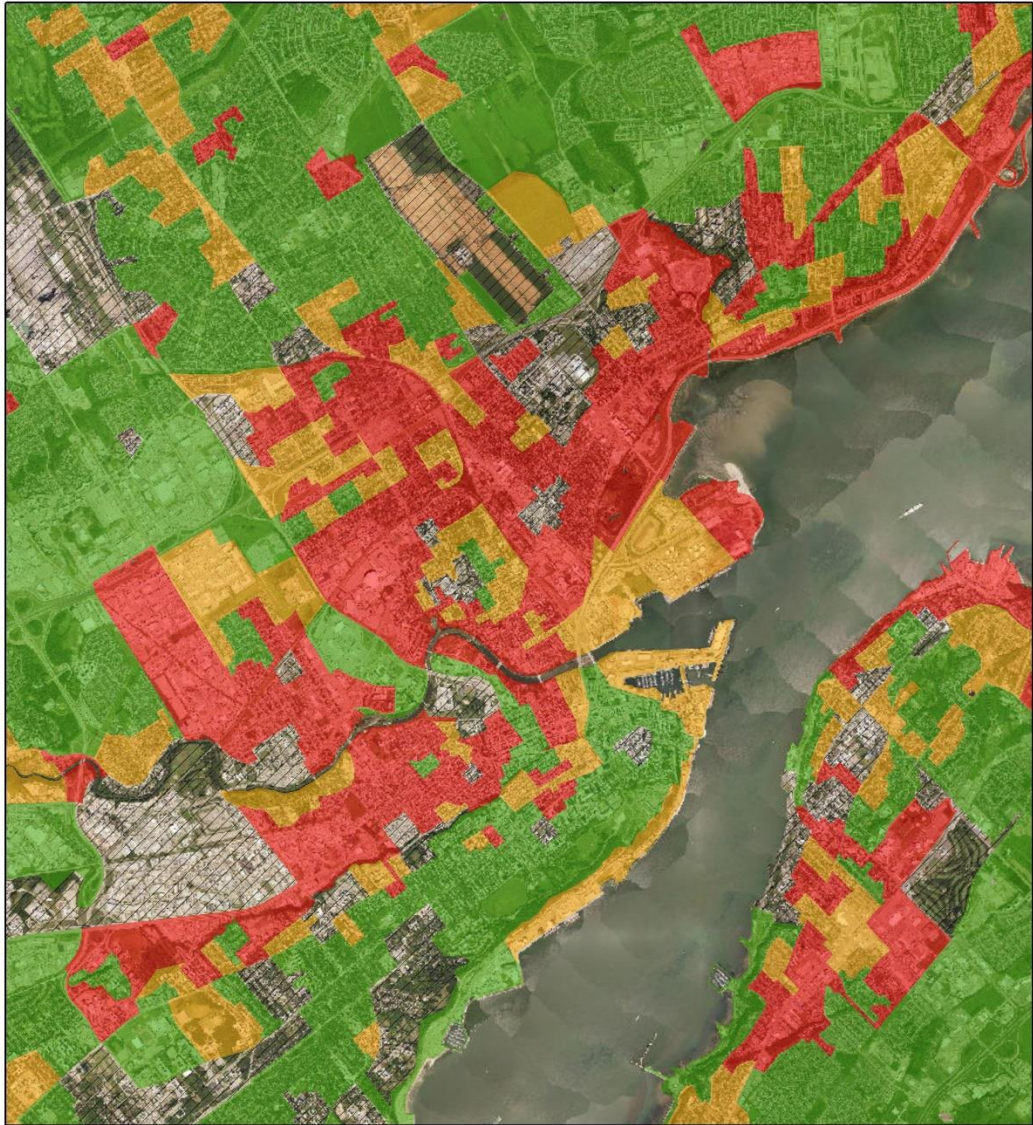



FIGURE 1 : Indice de défavorisation matérielle et sociale, Chaudière-Appalaches et Capitale-Nationale.



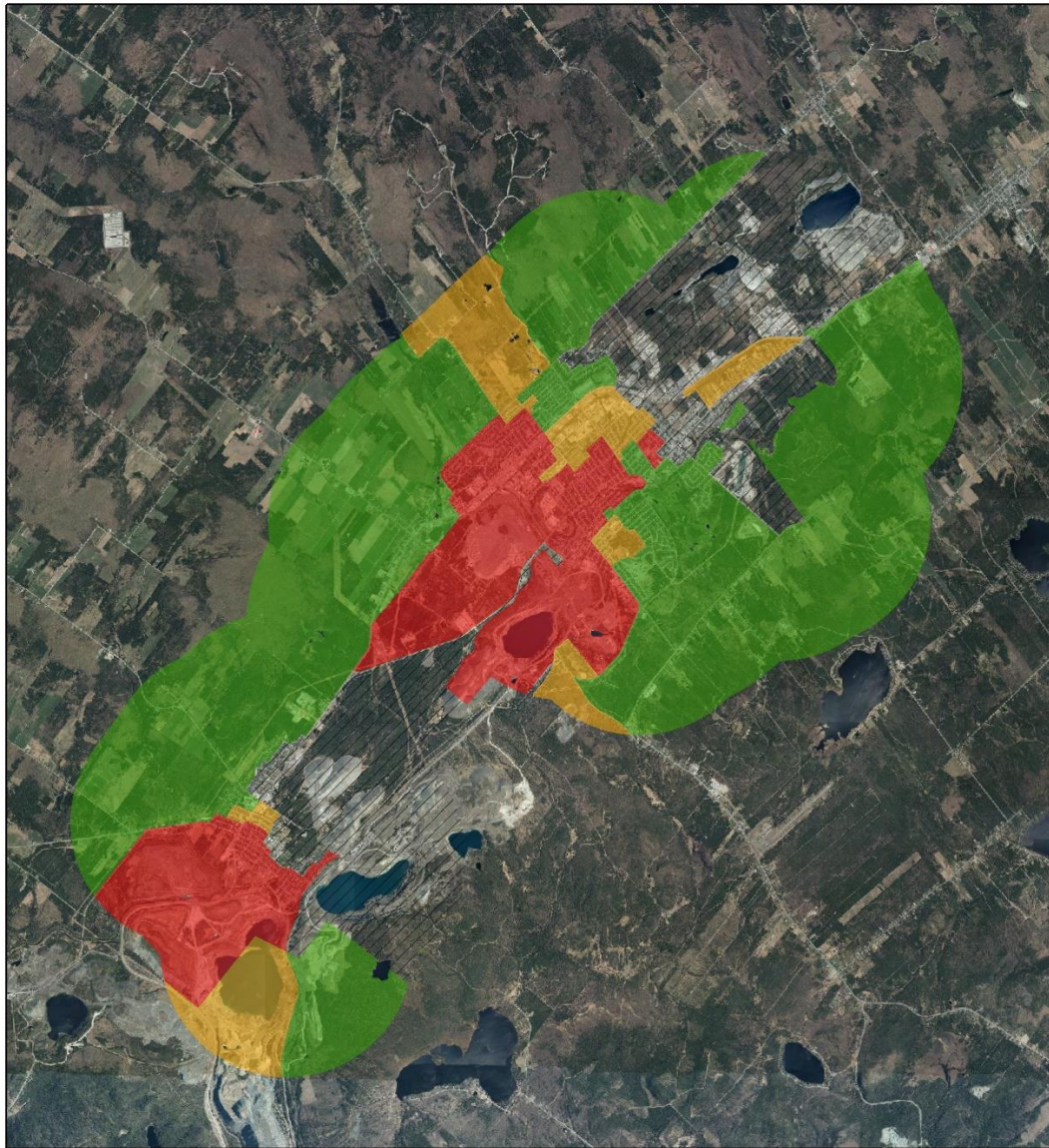
Indice de défavorisation

-  No Data
-  0
-  0,5
-  1

0 1 2 4 Kilomètres



FIGURE 2 : Indice de défavorisation matérielle et sociale, ville de Québec.



Indice de défavorisation

//// No Data

0

0,5

1

0 1 2 4 Kilomètres

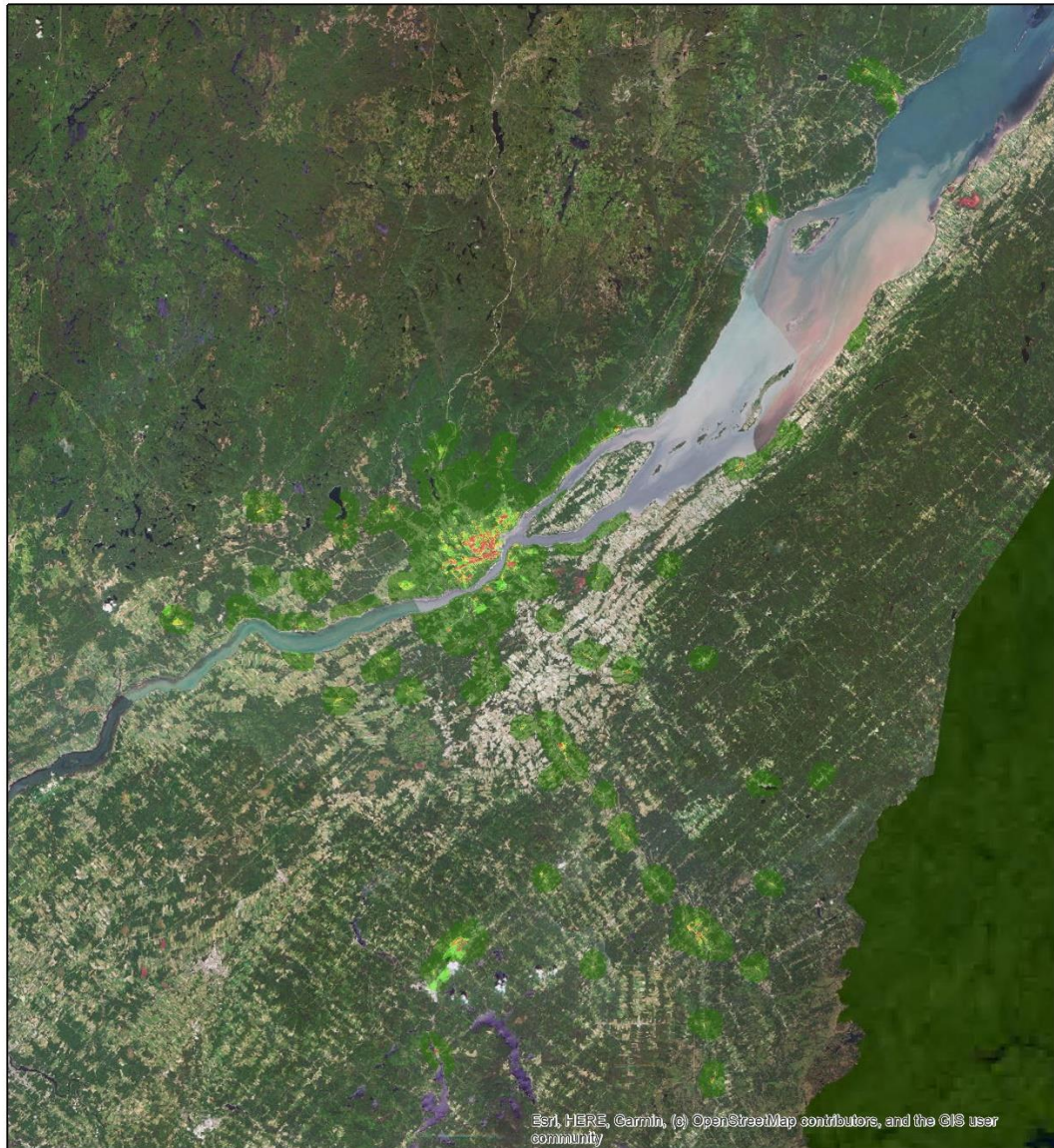


FIGURE 3 : Indice de défavorisation matérielle et sociale, ville de Thetford Mines.



b) Indice des îlots de chaleur

Les îlots de chaleur urbains proviennent d'une cartographie réalisée par le CERFO à l'échelle des centres de population du Québec urbain, en partenariat avec l'INSPQ (Budei *et al.*, 2023). La cartographie contient 9 classes présentant un gradient de température (9 étant la classe avec une température relative plus élevée et 1, la classe avec la température relative la moins élevée). La résolution spatiale est de 15 mètres. Les classes 8 et 9 ont été considérées comme les 2 classes représentées par les îlots de chaleur et ont été intégrées dans le calcul de l'indice de priorisation. L'indice des îlots de chaleur est une valeur numérique comprise entre 0 et 1 correspondant au ratio de la superficie occupée par les classes 8 et 9 par rapport à la superficie totale de l'îlot de diffusion. La valeur de 1 représente donc un îlot de diffusion qui est entièrement occupé par des îlots de chaleur (classes 8 et 9), alors que la valeur 0 représente un îlot de diffusion sans îlots de chaleur. La **FIGURE 4** présente l'indice d'îlots de chaleur par îlot de diffusion dans la zone d'étude. La **FIGURE 5** montre un exemple dans un territoire très urbanisé, soit la ville de Québec, et la **FIGURE 6** un territoire moins urbanisé à Thetford Mines, où les zones les plus industrialisées et les plus denses sont les plus chaudes.



Îlots de chaleur



0 10 20 40 Kilomètres


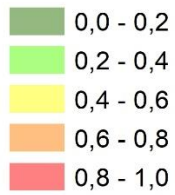


FIGURE 4 : Indice des îlots de chaleur par ID, Chaudière-Appalaches et Capitale-Nationale.



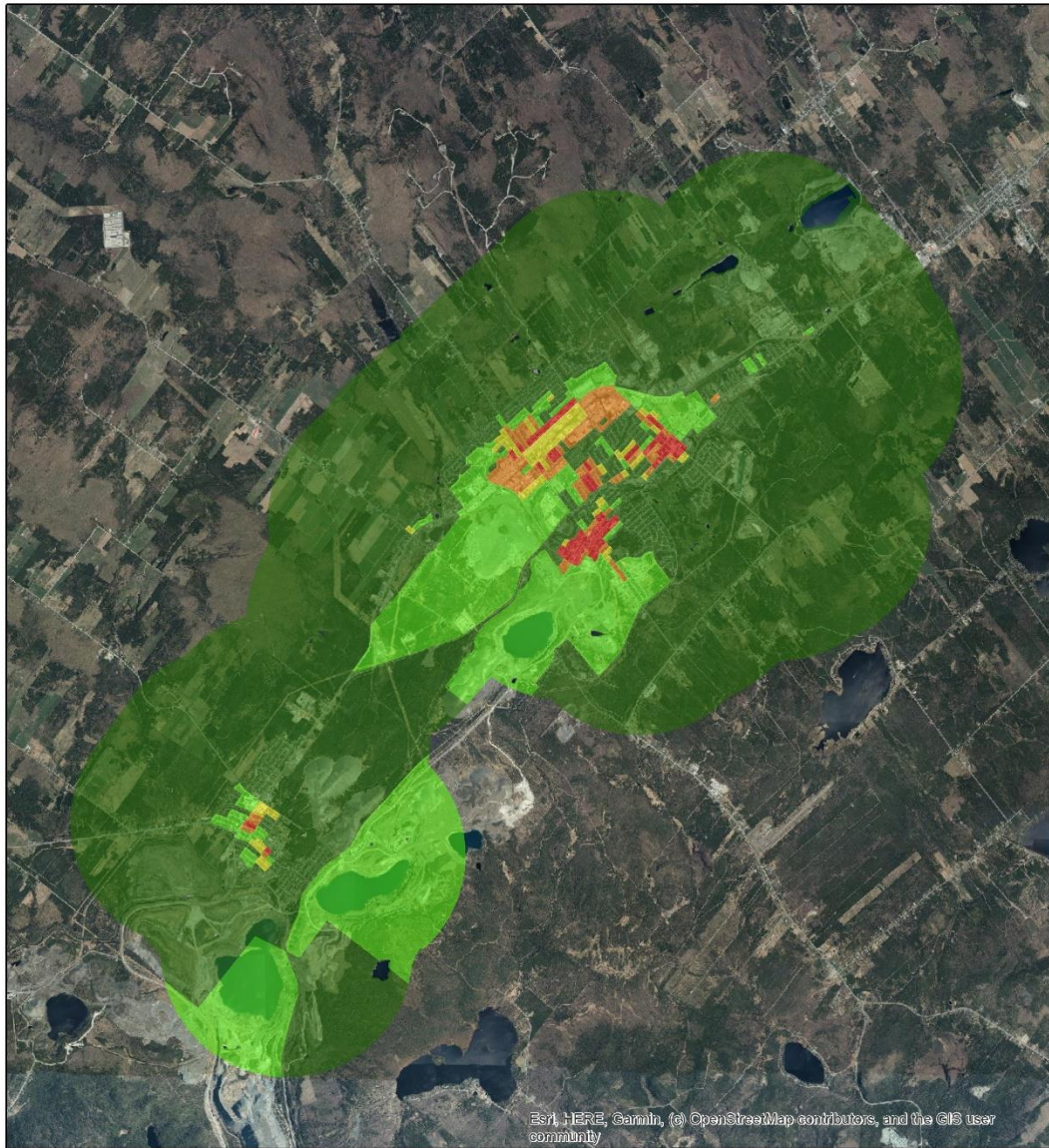
Îlots de chaleur



0 1 2 4 Kilomètres



FIGURE 5 : Indice des îlots de chaleur par ID, ville de Québec.



Îlots de chaleur



0 1 2 4 Kilomètres

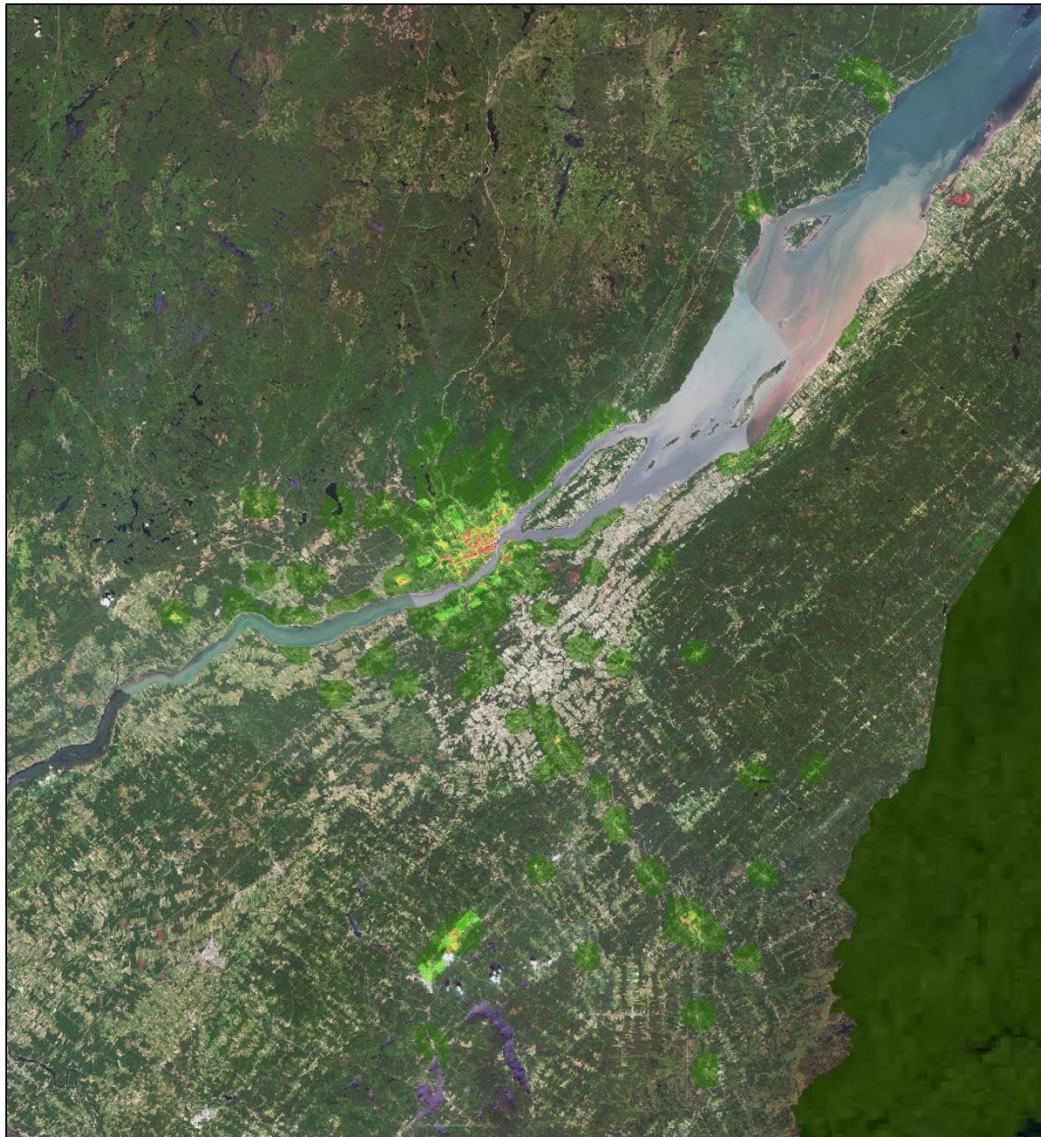


FIGURE 6 : Indice des îlots de chaleur par ID, Thetford Mines.



c) Indice d'imperméabilité des surfaces

La cartographie de l'imperméabilité des surfaces a été obtenue par une technique de démixage spectral à partir des images Landsat-8/9. Le résultat de démixage contient une probabilité pour chaque pixel d'appartenir à plusieurs classes d'occupation du sol, dont la classe des surfaces imperméables (Budei *et al.*, 2023). Seuls les pixels qui ont une probabilité supérieure à 50 % ont été retenus pour le calcul de l'indice d'imperméabilité des surfaces. Il est obtenu en calculant le ratio de la surface des pixels avec une probabilité supérieure à 50 % par rapport à la superficie totale de l'îlot de diffusion. La valeur de l'indice est donc numérique et comprise entre 0 et 1. La **FIGURE 7** illustre l'indice d'imperméabilité des surfaces par ID dans la zone d'étude. La **FIGURE 8** montre un exemple dans un territoire très urbanisé, soit la ville de Québec, et la **FIGURE 9** un territoire moins urbanisé à Thetford Mines, où les zones les plus industrialisées et les plus denses sont les plus imperméables.



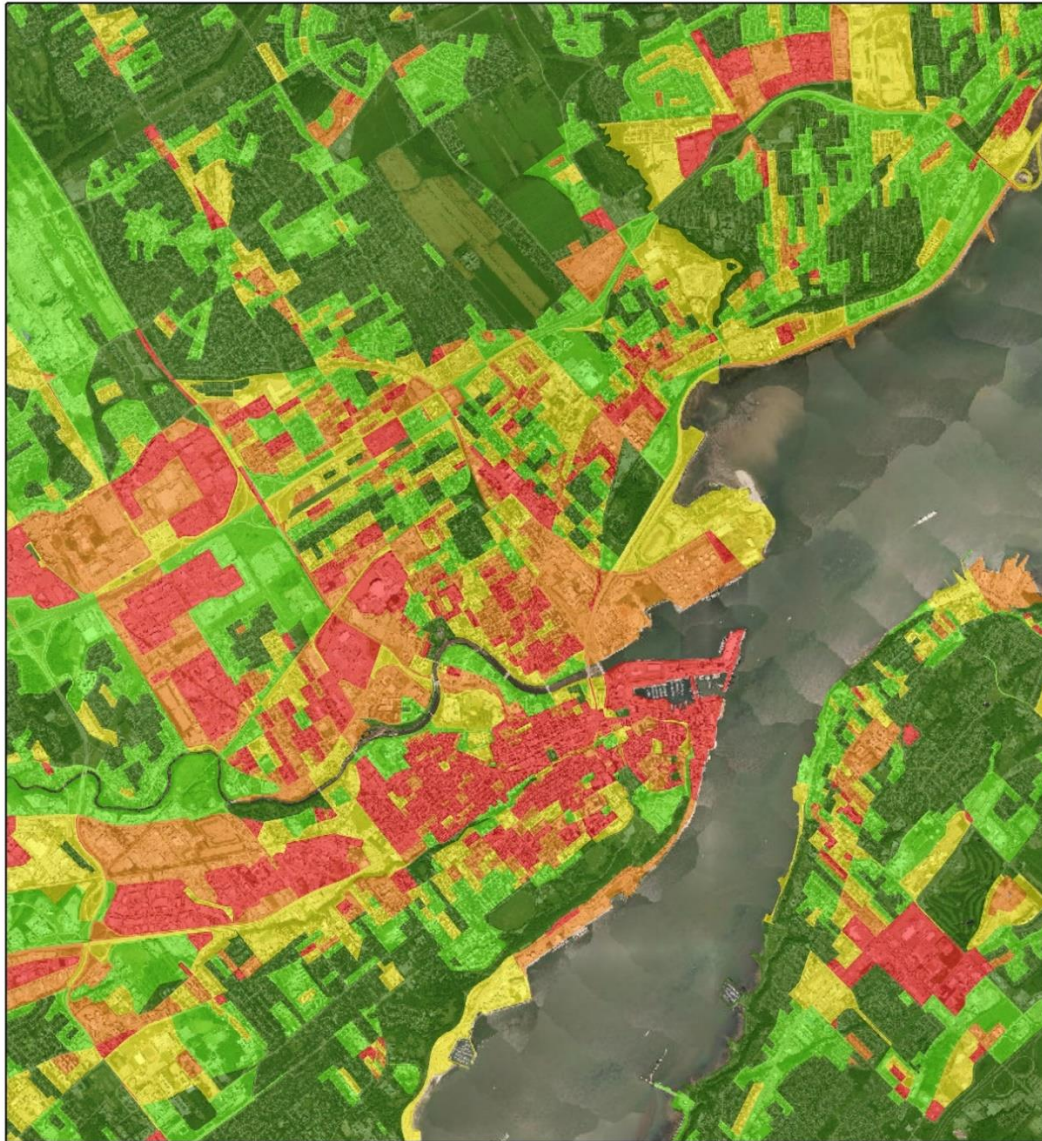
Indice d'imperméabilité

- 0,0 - 0,2
- 0,2 - 0,4
- 0,4 - 0,6
- 0,6 - 0,8
- 0,8 - 1,0

0 10 20 40 Kilomètres



FIGURE 7 : Indice d'imperméabilité des surfaces par ID, Chaudière-Appalaches et Capitale-Nationale.



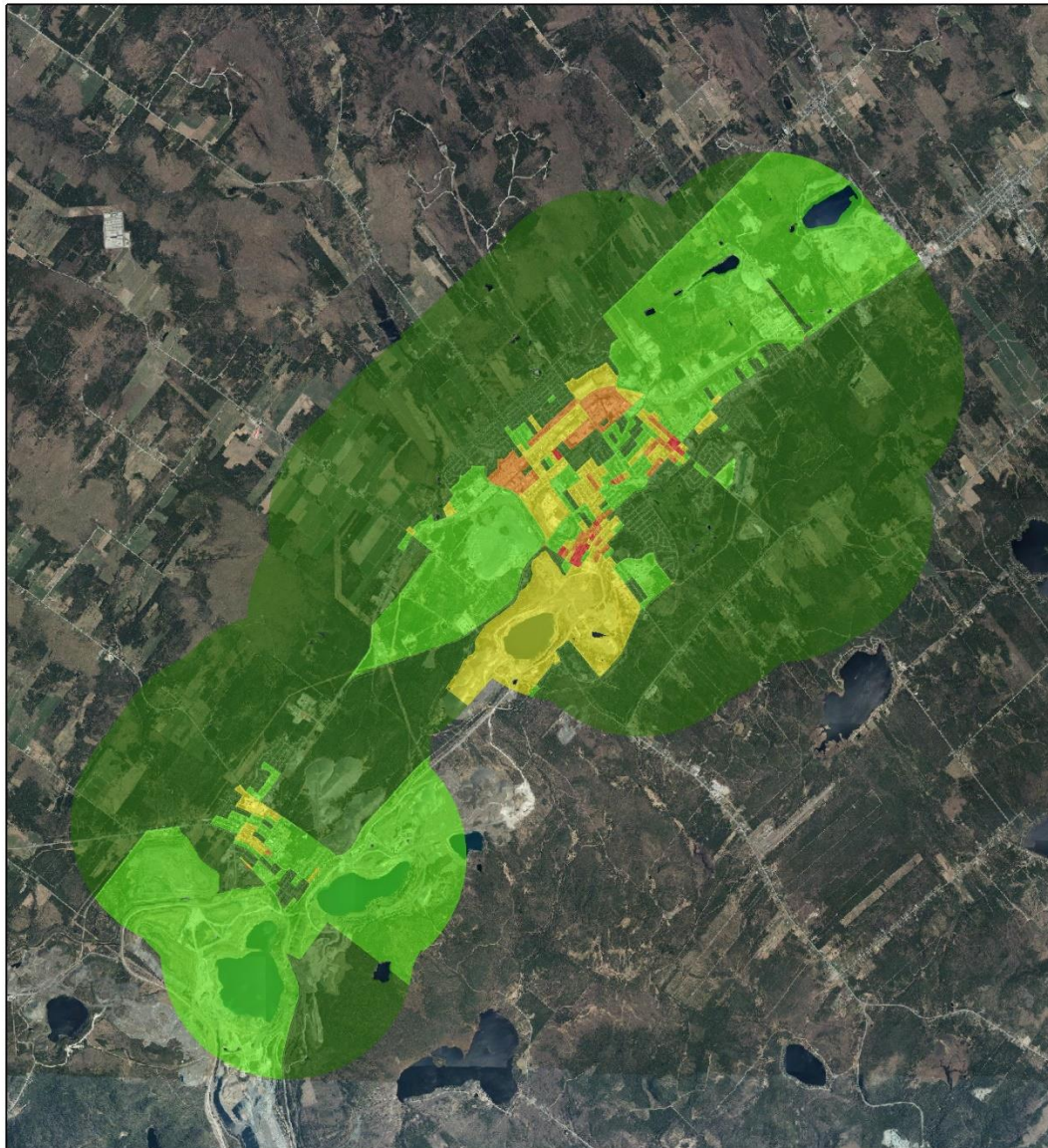
Indice d'imperméabilité

-  0,0 - 0,2
-  0,2 - 0,4
-  0,4 - 0,6
-  0,6 - 0,8
-  0,8 - 1,0

0 1 2 4 Kilomètres



FIGURE 8 : Indice d'imperméabilité des surfaces par ID, ville de Québec.



Indice d'imperméabilité

-  0,0 - 0,2
-  0,2 - 0,4
-  0,4 - 0,6
-  0,6 - 0,8
-  0,8 - 1,0

0 1 2 4 Kilomètres

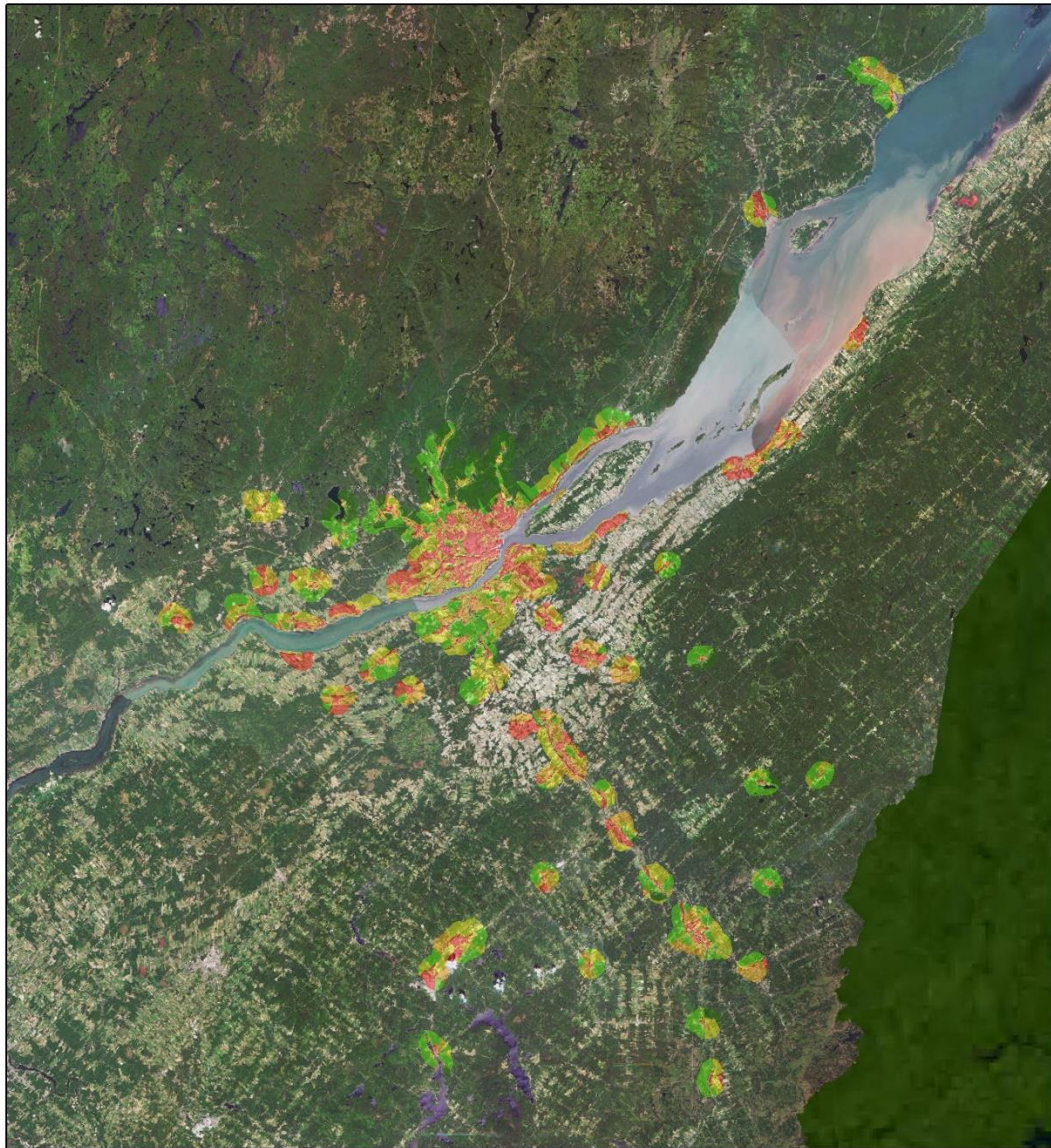


FIGURE 9 : Indice d'imperméabilité des surfaces par ID, Thetford Mines.



d) Indice de canopée urbaine

La cartographie de la canopée urbaine a été obtenue à partir des données lidar rendues disponibles sur le site du MRNF, à l'aide des algorithmes d'apprentissage profond. Deux algorithmes développés dans Bour *et al.* (2022) ont été entraînés respectivement à partir des nuages de points lidar ou à partir du modèle de hauteur de la canopée (MHC), pour distinguer la canopée des autres structures en hauteur. Le premier algorithme, utilisant le nuage de points lidar, a été utilisé pour le RMR du Québec (Bour *et al.*, 2022). Pour les zones extérieures au RMR du Québec, la canopée a été prédite à partir du MHC. L'indice de la canopée correspond au ratio de la superficie occupée par la canopée par rapport à la superficie totale de l'îlot de diffusion. La **FIGURE 10** illustre l'indice de canopée par ID dans la zone d'étude. La **FIGURE 11** montre un exemple dans un territoire très urbanisé, soit la ville de Québec, et la **FIGURE 12** un territoire moins urbanisé à Thetford Mines, où les zones les plus boisées ont un indice plus élevé.



Canopée

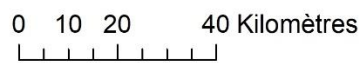
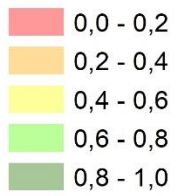


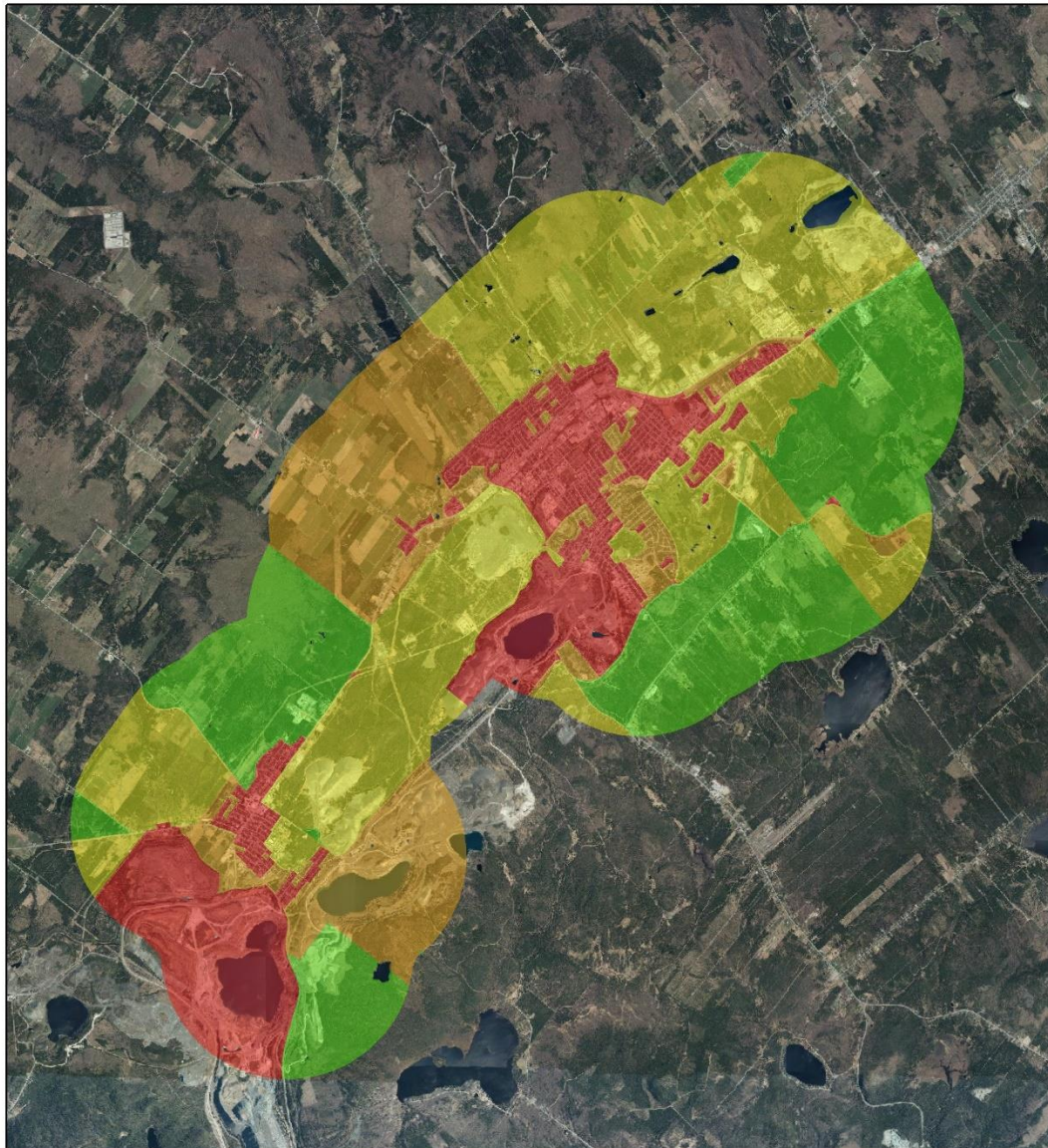
FIGURE 10 : Indice de canopée par ID, Chaudière-Appalaches et Capitale-Nationale.



Canopée



FIGURE 11 : Indice de canopée par ID, ville de Québec.



Canopée

- 0,0 - 0,2
- 0,2 - 0,4
- 0,4 - 0,6
- 0,6 - 0,8
- 0,8 - 1,0

0 1 2 4 Kilomètres



FIGURE 12 : Indice de canopée par ID, Thetford Mines.



TABLEAU 1 : Liste des données utilisées dans le calcul de l'indice de priorisation.

Thématique	Type	Description	Producteur	Date de publication	Disponibilité des données
Îlots de diffusion	Vectorel, polygonal	Limites géographiques de recensement dont tous les côtés sont délimités par des rues et/ou régions administratives	Statistiques Canada	2021	https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/catalogue/92-163-X
Aires de diffusion	Vectorel, polygonal	Limites géographiques de recensement composées d'un ou plusieurs îlots de diffusion avoisinants	Statistiques Canada	2021	https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/catalogue/92-169-X
Correspondance entre les aires de diffusion	Vectorel, polygonal	Fichier de correspondance entre les aires de diffusion 2016 et 2021	Statistiques Canada	2021	https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/catalogue/92-156-X
Centres de population	Vectorel, polygonal	Région composée d'au moins 1 000 habitants et une densité de population d'au moins 400 habitants/km ²	Statistiques Canada	2021	https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/92-195-x/2011001/geo/pop/pop-fra.htm
Indice de défavorisation matérielle et sociale	Vectorel, polygonal	5 classes	INSPQ	2016	https://www.inspq.qc.ca/defavorisation/indice-de-defavorisation-materielle-et-sociale
Cartographie de la canopée	Raster	Valeur de 1 pour la canopée, résolution 1 mètre	CERFO	2023	Livable 1
Îlots de chaleur	Raster	9 classes, résolution 15 mètres	CERFO	2022	https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/ilots-de-chaleur-fraicheur-urbains-et-ecarts-de-temperature-relatifs-2020-2022
Indice d'imperméabilité	Raster	5 classes, résolution 15 mètres	CERFO	2022	Sur demande



13. Pondération des indicateurs dans l'indice de priorisation

Il a été décidé avec le partenaire de choisir une pondération équivalente pour tous les indicateurs retenus, de manière à avoir une analyse équilibrée qui ne privilégie pas un indicateur plutôt qu'un autre.

Cependant, la pondération des indicateurs doit tenir compte de la corrélation entre 2 indicateurs : la probabilité d'avoir une surface imperméable et la présence des îlots de chaleur. La **FIGURE 13** représente la dispersion de la probabilité d'obtenir une surface imperméable en fonction des classes d'îlot de chaleur. La forte relation existante entre les deux indicateurs visibles sur cette figure, surtout pour les classes supérieures d'îlots de chaleur (8 et 9), témoigne possiblement de phénomènes corrélés. Comme la somme des poids des différents indicateurs doit être égale à 1, nous avons alors choisi d'attribuer un poids de 0,33 aux indicateurs de canopée et de défavorisation et de partager le dernier tiers entre les îlots de chaleur et l'indice d'imperméabilité.

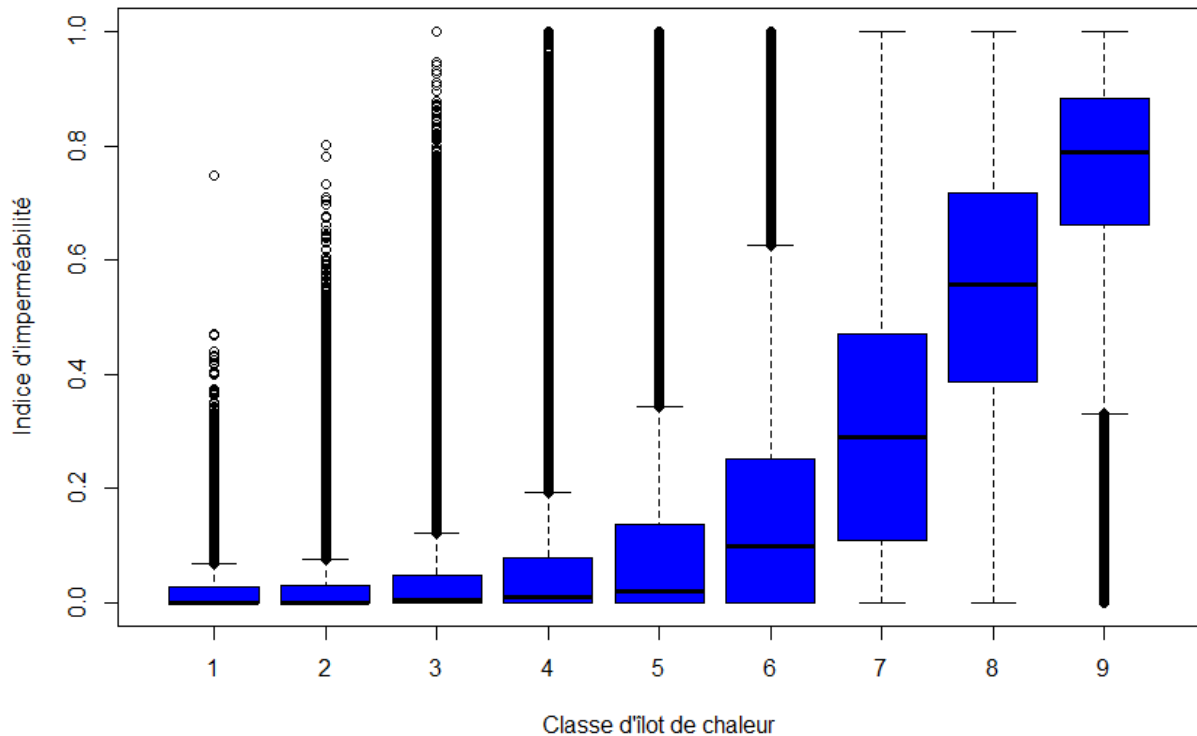


FIGURE 13 : Dispersion de la probabilité d'avoir une surface imperméable en fonction des classes d'îlot de chaleur.

La pondération des indicateurs doit aussi tenir compte des données manquantes, comme cela se produit pour l'indice de défavorisation matérielle et sociale. Dans ce cas, une deuxième pondération est proposée avec seulement trois indicateurs (canopée, îlots de chaleur et l'indice d'imperméabilité).

Le calcul de l'indice de priorisation des sites à verdier est présenté ci-dessous, selon que l'on considère 3 ou 4 indicateurs :



$$\text{Prior4} = ((1 - \text{Canop}) * 0,33) + (\text{IC} * 0,167) + (\text{Imperm} * 0,167) + (\text{Defav} * 0,33)$$

$$\text{Prior3} = ((1 - \text{Canop}) * 0,5) + (\text{IC} * 0,25) + (\text{Imperm} * 0,25)$$

Dans ces équations,

Prior4 : indice de priorisation calculé avec 4 indicateurs (canopée, îlots de chaleur, imperméabilité des surfaces et défavorisation),

Prior3 : indice de priorisation calculé avec 3 indicateurs quand l'indice de défavorisation n'est pas disponible (canopée, îlots de chaleur et imperméabilité des surfaces),

Canop : pourcentage de la superficie occupée par la canopée dans l'îlot de diffusion (nommé *veg_1_p* dans la base de données)

Imperm : ratio de la surface avec probabilité d'imperméabilité des surfaces supérieure à 50 % par rapport à la superficie de l'îlot de diffusion (nommé *imp_05p* dans la base de données)

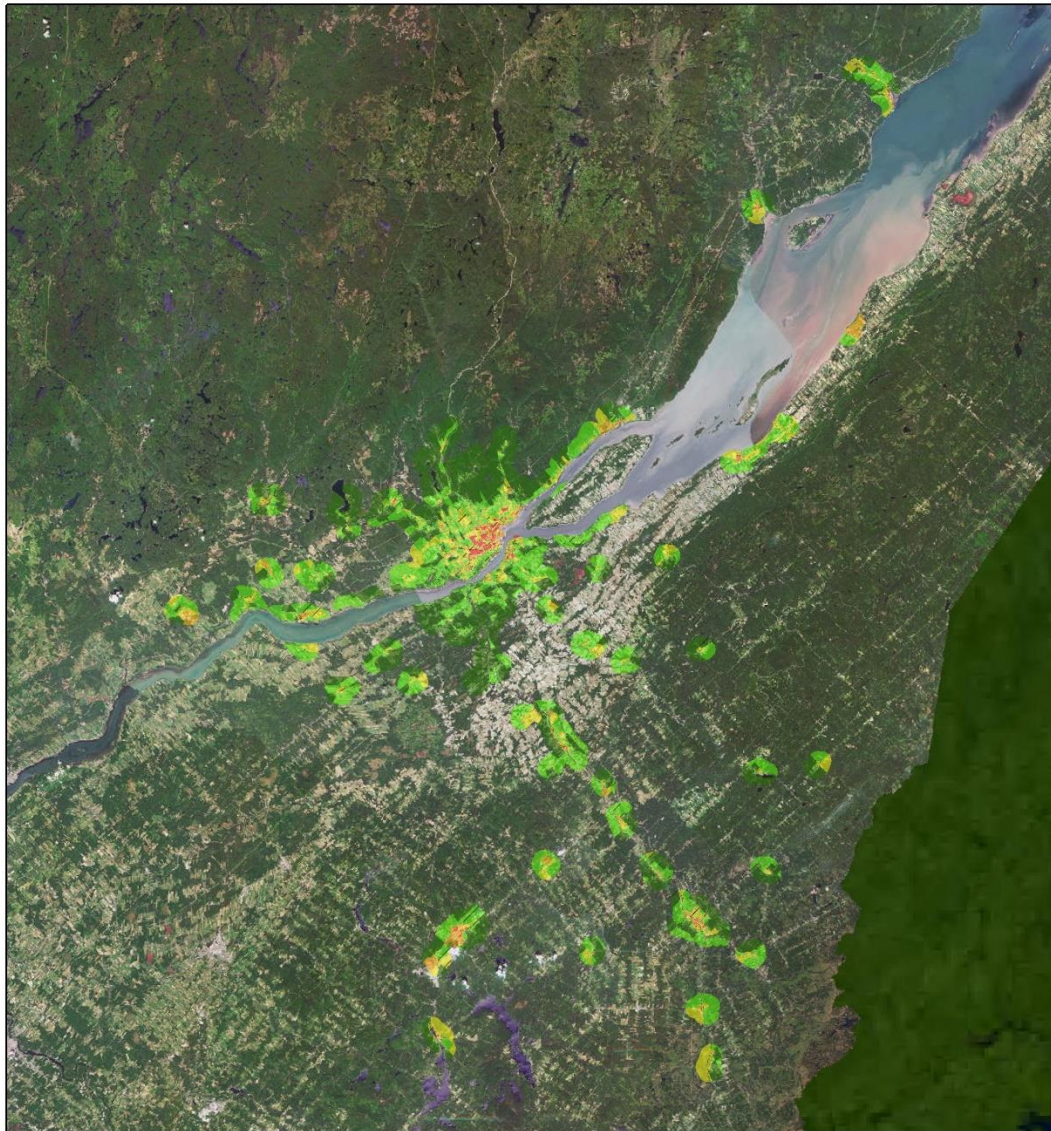
IC : pourcentage de la superficie occupée par les îlots de chaleur des classes 8 et 9 dans l'îlot de diffusion (nommé *c22_89_* dans la base de données)

Defav : valeur de l'indice de défavorisation matérielle et sociale attribuée à l'îlot de diffusion (valeurs de 0, 0,5, 1 ou données manquantes) (nommé *Com3RSS* dans la base de données).



2. Résultats

La **FIGURE 14** présente le résultat final de l'indice de priorisation pour tout le territoire à l'étude. La **FIGURE 15** montre un exemple dans un territoire très urbanisé, soit la ville de Québec, et la **FIGURE 16** un territoire moins urbanisé à Thetford Mines, où les zones les plus boisées ont un indice plus élevé.



Indice de priorisation

//// calculé avec 3 variables

-  0,0 - 0,2
-  0,2 - 0,4
-  0,4 - 0,6
-  0,6 - 0,8
-  0,8 - 1,0

0 10 20 40 Kilomètres


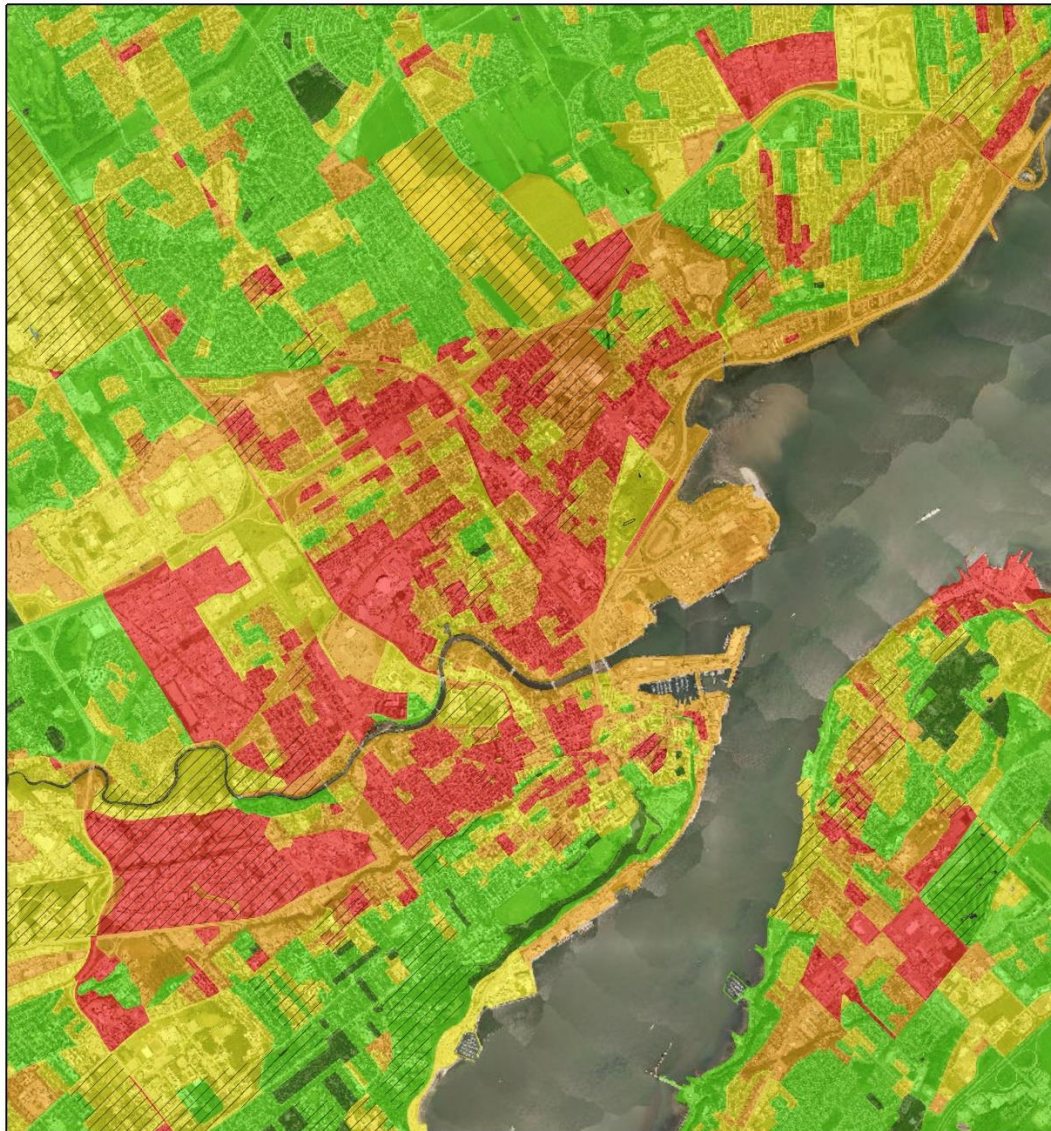


FIGURE 14 : Indice de priorisation des sites de plantation, Chaudière-Appalaches et Capitale-Nationale.



Indice de priorisation

//// calculé avec 3 variables

0,0 - 0,2

0,2 - 0,4

0,4 - 0,6

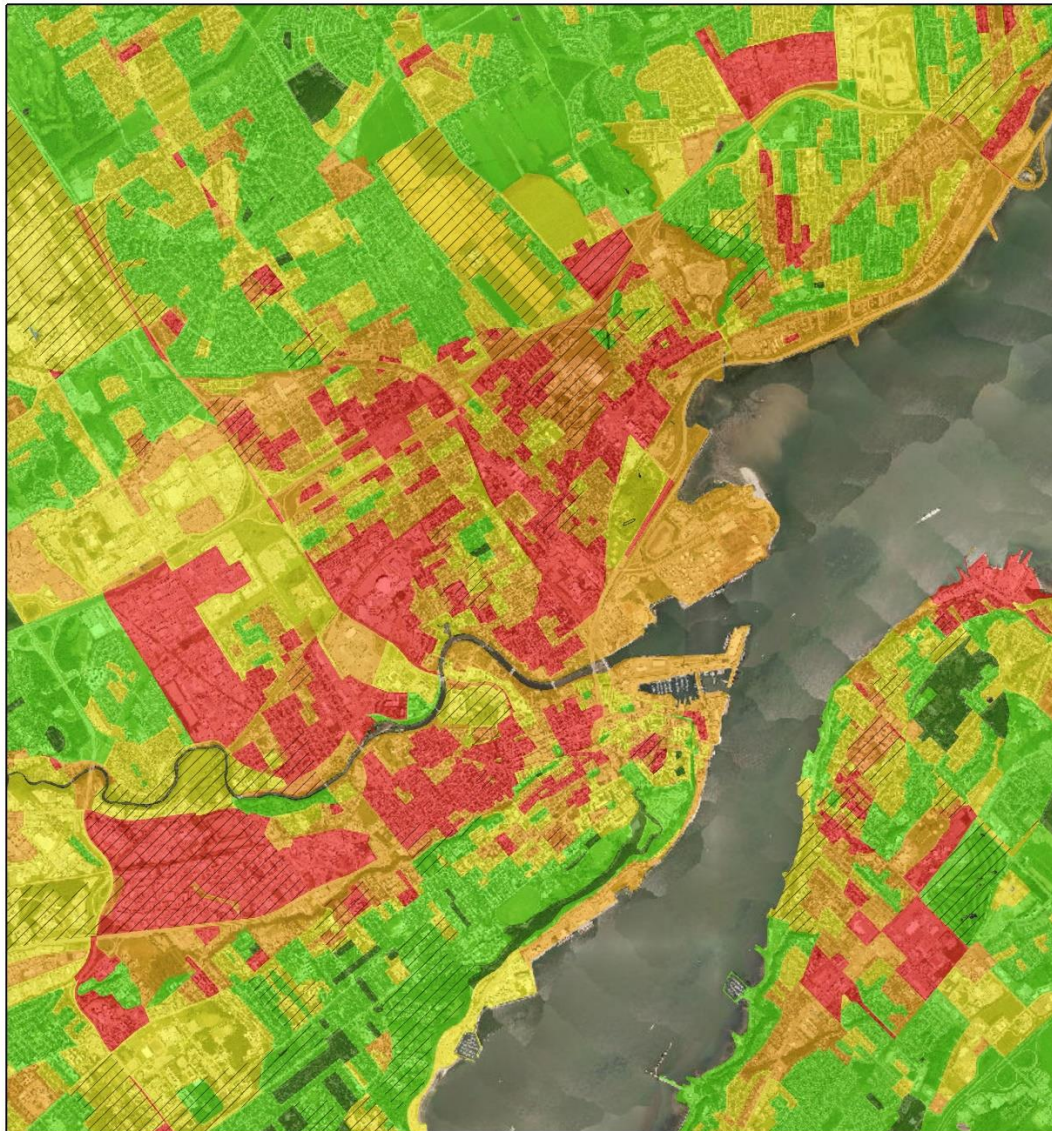
0,6 - 0,8

0,8 - 1,0

0 1 2 4 Kilomètres



FIGURE 15 : Indice de priorisation des sites de plantation, zoom sur la ville de Québec.



Indice de priorisation

//// calculé avec 3 variables

- 0,0 - 0,2
- 0,2 - 0,4
- 0,4 - 0,6
- 0,6 - 0,8
- 0,8 - 1,0

0 1 2 4 Kilomètres



FIGURE 16 : Indice de priorisation des sites de plantation, Thetford Mines.



La **FIGURE 17** présente une comparaison entre les quatre indices pour une zone limite entre les quartiers Montcalm en haute ville (portion sud et est de l'image, au sud de la bande boisée linéaire) et Saint-Sauveur en basse ville (portion nord et ouest de l'image, au nord de la bande boisée) dans la ville de Québec, qui ont des indices de priorisation très contrastés.



FIGURE 17 : Comparaison entre les indicateurs et l'indice de priorisation, quartiers Montcalm et Saint-Sauveur, ville de Québec.



Toutes les valeurs des indicateurs doivent être comprises entre 0 et 1. Le résultat de l'indice de priorisation est aussi compris entre 0 et 1, les valeurs les plus élevées révélant une priorisation plus importante à réaliser du verdissement dans l'ID.

L'indice de priorisation est calculé selon deux équations différentes. Les résultats de ces calculs ont été enregistrés dans deux champs différents (« prior4 » et « prior3 »). Lors de l'utilisation des données, il est nécessaire de choisir la bonne colonne pour chaque polygone en fonction de la présence ou de l'absence des données sources (pour les indices où il y a absence de donnée de défavorisation, la valeur de l'indice de priorisation est égale à -9 999, afin de l'identifier facilement).

Ces illustrations de l'indice de priorisation confirment que la méthode suivie apporte un niveau de contraste élevé, puisque l'on retrouve sur un même secteur d'étude les 5 classes de valeur, allant de la classe la plus basse (0-0,2) à la classe la plus élevée (0,8 à 1) en passant par les classes intermédiaires (0,2-0,4 – 0,4-0,6 et 0,6-0,8). Ainsi, le Collectif Canopée dispose d'un outil lui permettant d'identifier les ID les plus critiques (indice de priorisation entre 0,8 et 1) qui nécessiteront les plus grands efforts de verdissement.

Le résultat final de l'analyse multicritère est remis sous forme de 5 fichiers d'informations géographiques en format *.mxd* dont des figures sont extraites pour illustrer ce rapport. Un fichier est disponible pour chacun des 4 indicateurs et un cinquième contient la priorisation issue de l'analyse. Ce dernier permet de visualiser l'indice de priorisation réparti en 5 classes et dont la valeur est bornée entre 0 et 1. Plus la valeur de priorisation est élevée, plus les bienfaits découlant de la plantation d'arbres seront bénéfiques.

En détail, le livrable contient les informations suivantes :

- 1) Un fichier shapefile `Indices_defav_chaleur_canopee_imperm2.shp` qui contient la géométrie des îlots de diffusion avec les informations suivantes contenues dans la table de données associée :

ADIDU : identifiant de l'aire de diffusion 2021

IDIDU : identifiant îlot de diffusion 2021

Com3RSS : indice de défavorisation

c22_89_ : ratio des îlots de chaleur des classes 8 et 9 par rapport à la superficie de l'îlot de diffusion

veg_1_p : ratio de la canopée dans l'îlot de diffusion

imp_05p : ratio de la surface avec probabilité d'imperméabilité supérieure à 50 %

prior3 : indice de priorisation calculé avec 3 indicateurs (canopée, classe d'îlots de chaleur et indice d'imperméabilité)

prior4 : indice de priorisation calculé avec 4 indicateurs (canopée, classe d'îlots de chaleur et indice d'imperméabilité et indice de défavorisation).

- 2) Cinq cartes en format *.mxd*, représentant l'indice de priorisation et les quatre indices qui ont servi à son calcul. Toute l'information rendue dans ces cartes provient du fichier shapefile `Indices_defav_chaleur_canopee_imperm2.shp`, présent dans le dossier. Un fond de carte avec l'imagerie du Québec a été rajouté.



3. Limites méthodologiques et recommandations

- 1- Le poids accordé aux indicateurs : les résultats de l'analyse multicritère sont directement influencés par le choix des poids associés à chaque indicateur, qui peut être arbitraire, subjectif ou documenté. Dans le cas de cette étude, il a été décidé de donner un poids équivalent à tous les indicateurs. Une autre approche aurait généré des résultats certainement différents.
- 2- La précision de l'indice de priorisation : elle dépend de la précision des quatre indicateurs utilisés pour son évaluation. Or, la précision des indicateurs dépend en partie de la résolution spatiale des données sources utilisées et il existe une variation entre les données sources utilisées. Par exemple, l'indice de défavorisation est disponible à l'échelle de l'aire de diffusion, la canopée est obtenue à partir des données lidar ou du MHC lidar à 1 m de résolution, et finalement les îlots de chaleur urbains et l'indice de l'imperméabilité sont obtenus à partir des images Landsat à 15 mètres de résolution.
- 3- L'indice de défavorisation : il présente 2 principales limites. Tout d'abord, dans certaines AD, la valeur est manquante et l'analyse multicritère est donc en quelque sorte partielle, car elle n'intègre pas le volet socioéconomique. De plus, les valeurs de l'indice de défavorisation ont été classées par l'INSPQ selon des seuils différents et spécifiques à chaque région sociosanitaire. Ce choix permet de mettre en évidence les variations locales, à l'intérieur d'une région sociosanitaire, mais ne permet pas de faire une comparaison exacte entre différentes régions sociosanitaire. En conséquence, les comparaisons entre les valeurs de l'indice de priorisation sont plus précises pour des aires de diffusions adjacentes (idéalement dans la même région sociosanitaire) qu'entre deux régions distinctes.
- 4- L'indice des îlots de chaleur est issu de la cartographie des îlots de chaleur produite pour tous les centres de population du Québec. Cette dernière repose sur une différence de température entre le centre de l'agglomération urbaine et une zone périphérique où la température est sans influence humaine, notamment en zone forestière. Or, cette température de référence en zone forestière a été calculée à une échelle locale (à proximité du centre de population) et varie au sein du vaste territoire d'étude. Tout comme pour l'indice de défavorisation, ce choix permet de mettre en évidence les variations locales, à l'intérieur d'un même centre de population, mais ne permet pas de faire une comparaison exacte entre des régions distinctes. Deuxièmement, les limites des classes des îlots de chaleurs varient également selon les centres de population. En conséquence, les comparaisons entre les îlots de diffusions appartenant au même centre de population sont plus précises que les comparaisons entre les valeurs des îlots de diffusion appartenant à des centres de population éloignés.
- 5- L'indice de canopée a été obtenu à partir de données lidar du MRNF qui ont été acquises à des dates différentes entre 2011 et 2020, et avec des densités variables des nuages de points (1 à 8 points/m²). Ainsi, il peut y avoir des changements marginaux qui se sont opérés depuis la prise de données, comme des coupes d'arbres, la mortalité liée aux maladies ou de nouvelles plantations d'arbres. L'influence de ces changements sur l'indice de priorisation a été jugée marginale. La variation de la densité du nuage de points peut influencer la précision de la détection de la canopée par rapport à d'autres objets en hauteur. La densité minimale des données lidar, pourtant jugée adéquate pour identifier la canopée avec une précision suffisante et que l'influence d'une éventuelle variation de précision reliée à la densité de points est jugée négligeable à l'échelle de l'îlot de diffusion.
- 6- L'indice d'imperméabilité des surfaces a été obtenu par démixage spectral à partir des données Landsat-8/9, à 15 mètres de résolution, année 2020-2021. La différence entre l'heure et la date d'acquisition et les conditions météo peut engendrer certaines différences d'évaluation de la probabilité d'avoir une surface imperméable entre les images. De plus, il faut être conscient que cet indice repose sur une probabilité et non une certitude d'être en présence de surfaces imperméables. Le seuil de 50 % a été fixé et cela signifie que la carte de cet indice peut dans



certain cas surestimer les surfaces imperméables (cas où la probabilité est supérieure à 50 %, mais qu'en fait une autre classe d'occupation du sol qui est présente) ou les sous-estimer (cas où la probabilité est inférieure à 50 %, mais la classe d'occupation du sol soit réellement des surfaces imperméables). En plaçant le seuil à 50 %, on estime couvrir la majorité des situations où les pixels sont réellement occupés par des surfaces imperméables. De plus, les erreurs d'omission et de commission devraient en partie s'annuler. Il est cependant recommandé de considérer cet indice à une échelle plus macro (à l'échelle de l'ID par exemple) et non de façon ponctuelle (le pixel). Ces choix méthodologiques ont été faits en grande partie pour des raisons financières, car aucun budget n'avait été planifié initialement pour réaliser cette cartographie. Il a donc été décidé d'utiliser une donnée déjà existante, mais présentant les limites décrites ci-dessus. Disposant d'un budget supplémentaire, cet indicateur mériterait d'être retravaillé et calculé sur la base d'une présence confirmée et non probable, ce qui augmenterait vraisemblablement sa précision.

- 7- Tenant compte de toutes ces limitations, les comparaisons entre les valeurs absolues de l'indice de priorisation entre différents îlots de diffusion sont plus précises pour des zones rapprochées (p. ex. même centre de population, même région sociosanitaire) qu'éloignées. Cependant, la comparaison à l'échelle des classes reste valable, puisque la classe la plus élevée sera toujours la classe de verdissement prioritaire.



4. Conclusion

Une méthode d'analyse multicritère répondant spécifiquement aux besoins du projet a été développée et a été appliquée au territoire d'étude, soit les centres de populations présents dans les 2 régions administratives ciblées, autour desquels une bande tampon de 500 m a été ajoutée. Quatre indices ont été retenus pour l'exercice : (1) un indice de défavorisation matérielle et sociale développé par Statistique Canada (2) un indice de présence d'îlots de chaleur (3) un indice de présence de surfaces imperméables et (4), un indice de présence de la canopée. Une pondération équivalente pour les différents indicateurs a été appliquée. La cartographie de l'indice de priorisation à l'échelle des îlots de diffusion confirme que la méthode suivie apporte un niveau de contraste élevé, puisque l'on retrouve sur un même secteur d'étude les 5 classes de valeur, allant de la classe la plus basse (0-0,2) à la classe la plus élevée (0,8 à 1) en passant par les classes intermédiaires (0,2-0,4 – 0,4-0,6 et 0,6-0,8). Ainsi, le Collectif Canopée dispose d'un outil lui permettant d'identifier les ID les plus critiques (indice de priorisation entre 0,8 et 1) qui nécessiteront les plus grands efforts de verdissement. Considérant les limites identifiées, il est cependant important de considérer que les comparaisons entre les valeurs absolues de l'indice de priorisation entre différents îlots de diffusion sont plus précises pour des zones rapprochées (p. ex. même centre de population, même région sociosanitaire) qu'éloignées. La comparaison à l'échelle des classes reste néanmoins valable, puisque la classe la plus élevée sera toujours la classe de verdissement prioritaire.



5. Références

Bour, B., Genest, M.-A., Armellin, C., Rashidfar, M. et Varin, M. (2022) Cartographie de la canopée des six régions métropolitaines de recensement du Québec par apprentissage profond et données lidar (No. 2022-10) (p. 59). Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO).

Budei, B. C., Marchal, J., Nininahazwe, F., Genest, M.-A., Bour, B. et Varin, M. (2023) Cartographie des îlots de chaleur et de fraîcheur dans le Québec urbain à l'aide d'imagerie satellitaire Landsat-8/9 (2020-2021-2022) et analyse de changement (Rapport technique No. 2023-01) (p. 52).

Gravel, N. et Blaser, C. (2019) Indice de défavorisation matérielle et sociale de 2016 - Description des variables (p. 21). Institut national de santé publique du Québec.



cerfo

FORMATION
ACCOMPAGNEMENT
RECHERCHE
EN FORESTERIE

CERFO.QC.CA

2440, chemin Sainte-Foy
Québec (Québec) G1V 1T2

Téléphone : (418) 659-4225
Télécopieur : (418) 659-4226
Courriel : info@cerfo.qc.ca