

Développement, implantation et évaluation d'une intervention pour le contrôle du pollen de l'herbe à poux

Juillet 2013

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs et n'engagent pas Ouranos ni ses membres.



INTRODUCTION	3
Volet 1. Développement, implantation et évaluation d'une intervention pour le contrôle du pollen de l'herbe à poux	5
Volet 2. Essai de développement d'une méthode de cartographie du risque de présence de l'herbe à poux (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>) au Québec par télédétection	6
CONCLUSION.....	25

INTRODUCTION

La petite herbe à poux (*Ambrosia artemisiifolia*) est une plante indigène d'Amérique du Nord très abondante dans les régions du sud-ouest du Québec. Le cycle annuel de cette plante est court : sortie de terre en mai ou en juin, elle croît surtout en juin, jusqu'à la maturation sexuelle des fleurs mâles de juillet à octobre. Ces fleurs mâles libèrent leur pollen de juillet à septembre. Un seul plant d'herbe à poux peut produire des milliards de grains de pollen. Les fruits sont à maturité en octobre et en novembre (Comtois, 1988). La grande majorité du pollen de l'herbe à poux tombe à proximité de sa source (Raynor et coll., 1970), sauf lors de conditions météorologiques particulières, alors que le pollen peut être transporté sur plusieurs centaines de kilomètres (Laaidi et coll., 1997).

Ce pollen déclenche des réactions allergiques qui génèrent d'importants coûts de santé (Tardif, 2008). Durant la pollinisation de l'herbe à poux, 14% de la population au Québec souffre de rhinite allergique (MSSS., 2011). Bien que les problèmes de rhinite allergique puissent être attribuables à d'autres facteurs qu'à l'herbe à poux, pendant les mois de juillet à octobre, le pollen de l'herbe à poux est le principal agent allergène responsable de ceux-ci.

À Montréal, l'amélioration de la santé respiratoire des résidents a été identifiée comme priorité locale de santé publique par les citoyens du territoire du CSSS de la Pointe-de-l'Île et la lutte au pollen de l'herbe à poux s'inscrit comme un des moyens permettant d'atteindre cet objectif. Ce territoire serait l'un des plus infestés de l'île de Montréal (Jacques et coll., 2008). Cette étude a démontré que la prévalence des manifestations allergiques chez les enfants de 6 mois à 12 ans croit avec le degré d'infestation par l'herbe à poux.

Les impacts des changements climatiques sur l'herbe à poux sont préoccupants, à cause de leurs conséquences sur la sévérité et sur la prévalence des troubles allergiques (*U.S. Environmental Protection Agency.*, 2008). Des données récentes (Ziska et coll., 2011) indiquent une augmentation marquée de la saison pollinique de l'herbe à poux au Canada, associée au réchauffement climatique. L'*Environmental Protection Agency* a démontré des changements importants de variations de la saison pollinique de l'herbe à poux entre 1995 et 2011 : ainsi, la ville de Saskatoon a connu une augmentation de 26 jours de sa saison pollinique. A Montréal, la saison de croissance de l'herbe à poux serait passée de 42 à 63 jours entre 1994 et 2002 (Garneau et coll., 2006). Certains chercheurs (Ziska et coll., 2003) rapportent aussi que l'augmentation des températures et des concentrations de CO₂ combinées provoquerait une augmentation du nombre de fleurs mâles d'*Ambrosia* – productrices de pollen - et donc, une augmentation de pollen. D'autres études suggèrent que même la seule augmentation des concentrations de CO₂ atmosphérique entraînerait l'augmentation du pollen de l'herbe à poux (Oswalt et Marshall., 2008; Wayne et coll., 2002). Certaines études suggèrent également que l'augmentation du CO₂ pourrait entraîner une augmentation de l'allergénicité du pollen de l'herbe à poux (Singer et coll., 2005). Comme plus d'un million de Québécois souffriraient déjà d'allergies associées au pollen de l'herbe à poux et que les coûts de santé liés à ces allergies s'établissaient, en 2005, à 156,5 millions de dollars (Tardif.,2008), une intervention qui permettrait la réduction du pollen dans l'air est dans l'intérêt de la santé publique.

Vu l'ampleur du problème de santé généré par la plante, et de surcroît dans le contexte de l'effet du réchauffement climatique sur la plante, l'application d'une mesure de

contrôle efficace du pollen est souhaitable. À cet effet, la coupe des plants à des moments précis - soit à la mi-juillet et à la mi-août - a été démontrée une mesure efficace par les malherbologistes d'Agriculture Agroalimentaire Canada (2011). Ainsi, favoriser la coupe sur les terrains potentiellement infestés par l'herbe à poux pourrait réduire l'effet adverse du pollen de la plante sur la santé. Une intervention auprès des propriétaires afin de les informer de la présence d'herbe à poux et de les sensibiliser aux problèmes que pose le pollen de cette plante pourrait avoir un effet incitatif sur la coupe et ainsi diminuer la production de pollen et de graines.

Pour plus d'efficacité, le contrôle de l'herbe à poux (par exemple la coupe) aurait intérêt à être orienté vers les terrains les plus infestés. Il est toutefois impossible d'inventorier de grandes zones par observation directe sur le terrain, donc des méthodes de détection plus globales sont souhaitables. Par exemple, la caractérisation de l'infestation selon les catégories de terrains (vacant, résidentiel etc.) permet dans une certaine mesure de cibler facilement les plus infestés.

D'autre part, la télédétection pourrait éventuellement être utilisée pour la localisation de l'herbe à poux. En effet, une étude exploratoire a montré un potentiel des bandes optiques du visible et notamment de la bande verte (510-590 nm) pour prédire avec une certaine stabilité la présence de l'herbe à poux. Cette étude avait permis d'identifier un type de produit (*Rapid Eye*) présentant des avantages en termes de rapport rendement/prix.

Objectif général du projet

Développer, implanter et évaluer une approche pour contrôler le pollen de l'herbe à poux et diminuer les symptômes de rhinite allergique à Montréal, dans le cadre d'un projet réalisé sur le territoire du CSSS de la Pointe-de-l'île à Montréal.

Objectifs spécifiques

- Implanter et évaluer une approche pour le contrôle du pollen de l'herbe à poux par la diffusion, aux gestionnaires des terrains infestés, d'informations personnalisées provenant de la cartographie et des images satellitaires (s'il y a lieu) de l'ensemble du territoire du CSSS de la Pointe-de-l'Île.
- Explorer l'utilisation des images satellitaires SPOT, Rapid Eye et Quickbird pour cibler les terrains potentiellement infestés sur divers territoires du Québec.

Les résultats des deux volets du projet sont présentés séparément : d'abord celui portant sur « **Le développement, l'implantation et l'évaluation d'une intervention pour le contrôle du pollen de l'herbe à poux** » puis celui sur l'« **Essai de développement d'une méthode de cartographie du risque de présence de l'herbe à poux (*Ambrosia artemisiifolia*) au Québec par télédétection** ».

Volet 1. Développement, implantation et évaluation d'une intervention pour le contrôle du pollen de l'herbe à poux

Auteurs :

Audrey Smargiassi¹, Céline Plante², Sophie Goudreau², Francine Hubert², Johanne Fradette³

1. Professeure agrégée, Département de santé environnementale et santé au travail, Université de Montréal
2. Direction de santé publique, Agence de la santé et des services sociaux de Montréal
3. Centre de santé et des services sociaux de la Pointe-de-l'île

Cette section fera l'objet d'un article dans les prochains mois. Dès que l'article sera publié, cette partie sera remise en ligne. Merci de votre compréhension

Roland Ngom, PhD (INRS ETE)

14 août 2013

Dr. Pierre Gosselin (INSPQ, INRS
ETE)

Correspondance:

INRS ETE

490, rue de la Couronne

Québec QC, G1K 9A9

Tel : 418 654-3849

@: roland_pierre.ngom@ete.inrs.ca

**Volet 2. Essai de développement d'une méthode de cartographie du
risque de présence de l'herbe à poux (*Ambrosia artemisiifolia*) au
Québec par télédétection
Rapport Phase 2**

Table des matières (volet 2)

5	AVANT-PROPOS	8
1	DONNÉES ET MÉTHODOLOGIE.....	8
1.1	Des images Rapide Eye de différentes zones.....	8
1.2	Application de la méthode de prédiction développée en phase 1 à d'autres sites	9
1.3	Approfondissement des analyses	11
1.3.1	Effets de l'habitat et confusion spectrale.....	11
1.3.2	Optimisation des valeurs d'intervalles de confiance	12
1.4	Analyse des performances.....	13
2	RÉSULTATS.....	13
2.1	Corrélations statistiques confirmées	13
2.2	Confusion spectrale active au niveau du pixel et variabilité radiométrique	15
2.3	Bonnes performances confirmées de la bande verte	16
3	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	19
4	PUBLICATIONS.....	21
5	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	21
6	REMERCIEMENTS	21
7	ANNEXE 1 : Analyse de variance	23
8	ANNEXE 2 : Performances prédictives des bandes sélectionnées	23

Note: Toute diffusion publique des éléments de ce rapport doit être fait avec l'assentiment de ses auteurs! Merci pour votre bonne compréhension.

1 AVANT-PROPOS

Une étude préliminaire avait été menée et un rapport de cette étude avait servi de référence pour le dossier de demande de financement à Ouranos. Ce rapport est joint à celui-ci pour toute fin utile. Dans cette première étude, une exploration des possibilités de divers capteurs ayant différentes résolutions radiométriques et spatiales avait été faite afin d'établir la possibilité d'identifier un spectre radiométrique pouvant servir à la localisation de l'herbe à poux. Les premiers résultats montraient un potentiel des bandes optiques du visible et notamment la bande verte (510-590 nm) pour prédire avec une certaine stabilité la présence de l'herbe à poux. Cette étude avait permis d'identifier un type de produit (Rapid Eye) présentant des avantages en termes de rapport rendement/prix, dans une perspective d'extension territoriale de la méthode à construire. Cependant, il avait été recommandé d'approfondir les analyses, notamment en testant la première méthode générale a d'autres sites.

1 DONNÉES ET MÉTHODOLOGIE

1.1 Des images Rapid Eye de différentes zones

Des images Rapid Eye de quatre sites distincts ont été obtenues par commande prioritaire (figure 1) :

- La pointe nord-est¹ de l'île de Montréal (b) (date de prise d'images : 2012-07-20)
- La pointe sud-ouest¹ de l'île de Montréal (c) (date de prise d'images : 2012-07-20)
- La ville de Granby (a) (date de prise d'images : 2012-07-30)
- La ville de Québec (d) (date de prise d'images : 2012-07-14)

En plus des images Rapid Eye de Valleyfield prise le 24 juin 2009.

La pertinence de faire une commande prioritaire réside dans les perspectives d'opérationnaliser la méthode. Il s'agit de faire une commande d'images à l'avance pour une période précise avant même que le satellite ne passe dans la zone. L'intérêt est de pouvoir les traiter rapidement et obtenir des cartes de prédictions de l'ambrosie avant la période de pollinisation. Les dates de prise d'images pour ces quatre zones ont été décidées en collaboration avec les experts des directions de santé publique des zones concernées ainsi qu'avec l'apport d'experts d'Agriculture Agroalimentaire Canada. Des mesures terrains synchrones d'identification et localisation de l'ambrosie ont été menées en milieu urbain pour ces quatre sites.

¹ Dans ce document, la région nord-est et la région sud-ouest désignent les régions communément appelé *est* et *ouest* de l'île de Montréal.

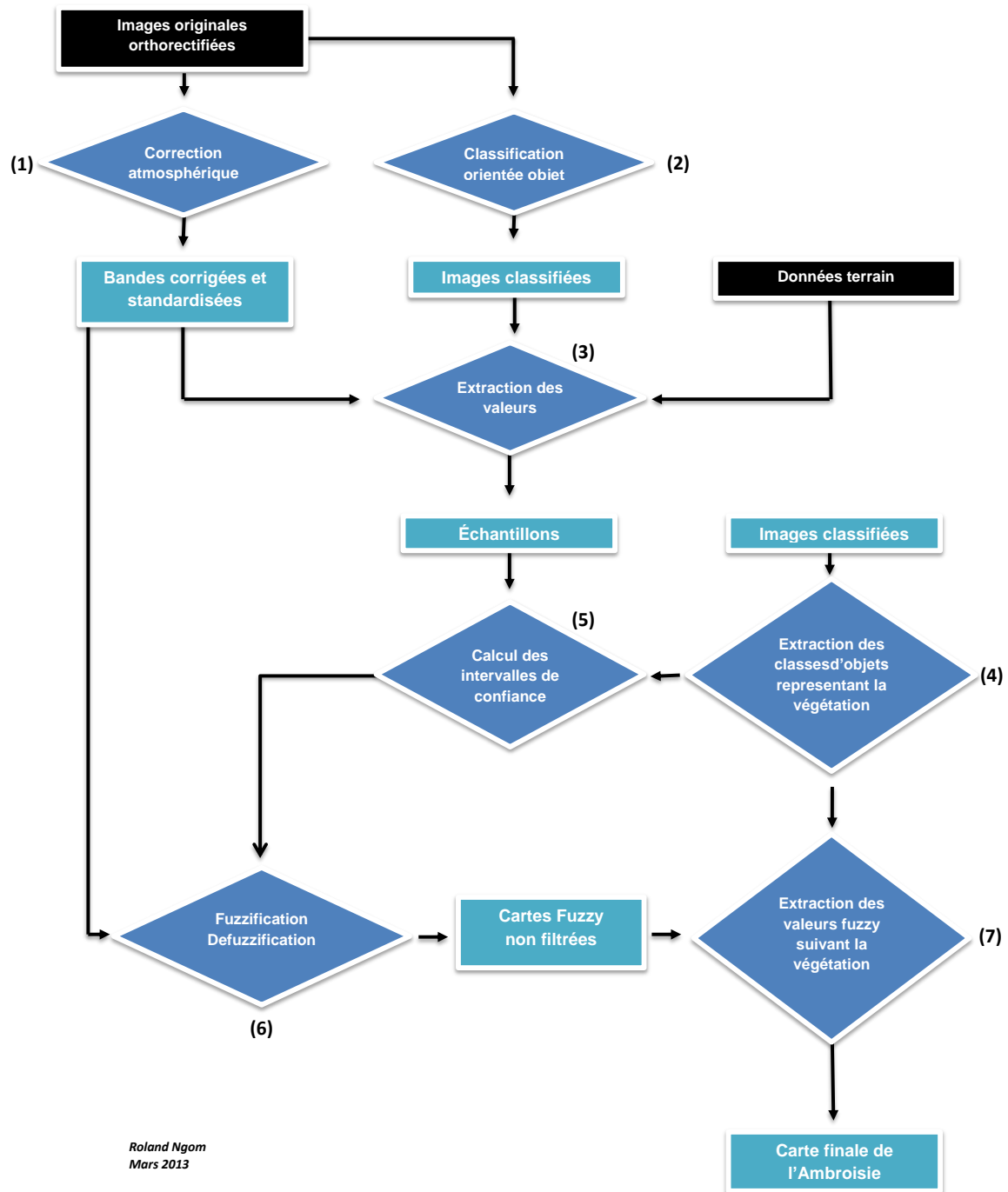
Figure 1 : Données terrain des quatre nouvelles zones d'étude drapées sur des images Rapid Eye



1.2 Application de la méthode de prédiction développée en phase 1 à d'autres sites

En général, la méthode décrite dans le premier rapport a été appliquée à chacune de ces images. Un rappel des étapes clés est décrit au travers de la figure 2. Il s'est agi de l'appliquer aux bandes des nouvelles images ayant été préalablement identifiées comme ayant un potentiel important pour la prédiction de la présence de l'Ambrosie. Les bandes vertes, rouges, "rededge" et proche infrarouges ont été utilisées. Comme dans la phase initiale, des analyses de corrélations entre les variables prédictives sélectionnées et la présence de l'Ambrosie ont été faites. Des analyses de corrélations mettant en exergue les facteurs phytosocioécologiques ont été réalisées en supplément.

Figure 2 : Workflow des analyses



Sept points essentiels résument la méthodologie :

- (1) Standardisation des images par le biais d'une correction atmosphérique
- (2) Classification objet orientée des images
- (3) Extraction des valeurs des images standardisées et extraction des valeurs des images classifiées aux données terrain

- (4) Extraction des classes d'objets représentant la végétation
- (5) Calcul des intervalles de confiances traduisant la présence de l'herbe à poux, à partir des échantillons terrains passés par le filtre des classes de végétation. Autrement dit, tous les échantillons supposés représenter la présence de l'herbe à poux doivent au préalable avoir été classés comme faisant partie de la classe végétation. Ceci permet de corriger les erreurs éventuelles dues notamment aux erreurs de mesures GPS.
- (6) Application de la fonction monotone croissante en logique floue aux images standardisées et en fonction des valeurs d'intervalles de confiance. le choix de cette fonction repose sur la logique que la corrélation entre la présence de l'ambrosie et les bandes du visible notamment le vert et le rouge est positive, autrement dit la valeur radiométrique de ces bandes va augmenter avec la présence de l'ambrosie (prière de se référer au premier rapport pour plus de détails)
- (7) Extraction spatiale des valeurs prédites filtrées par les classes d'objets représentant la végétation

Pour plus de détails techniques sur la méthode, se référer au document décrivant les analyses préliminaires.

1.3 Approfondissement des analyses

1.3.1 Effets de l'habitat et confusion spectrale

Une analyse de l'effet de l'habitat sur le spectre radiométrique de l'ambrosie suivant des variations liées à l'écosystème et à la géographie en général a été faite. Elle était basée sur une approche comparative et déductive, incluant notamment les données phytosociales (ex. hauteur, densité, sociabilité) et l'indice de végétation NDVI. Les variances et les valeurs moyennes de l'ambrosie des bandes vertes, rouges et proche infrarouges ont été calculées pour différents types habitats (ceux dans lesquels se trouvaient les échantillons de l'ambrosie). Des tests de Student comparant les moyennes entre zones géographiques d'une part (sachant que leurs images ne correspondent pas toutes à la même période et donc que les plantes pourraient se retrouver à différents stades phénologiques) et habitats à l'intérieur d'une même zone géographique ont été appliqués. Des analyses de confusion spectrales des pixels (Endmember et divergence) ont également été réalisées. De même, une analyse de la variabilité radiométrique de l'ambrosie dans différentes bandes suivant la synchronie entre la date de prise d'image et les données terrain a été faite. Cette étape était importante dans le sens qu'elle devait permettre de vérifier des hypothèses quant aux caractéristiques spectrales de l'ambrosie, leur stabilité, et la possibilité de les utiliser dans un modèle opérationnel (Ngom & Gosselin, 2013).

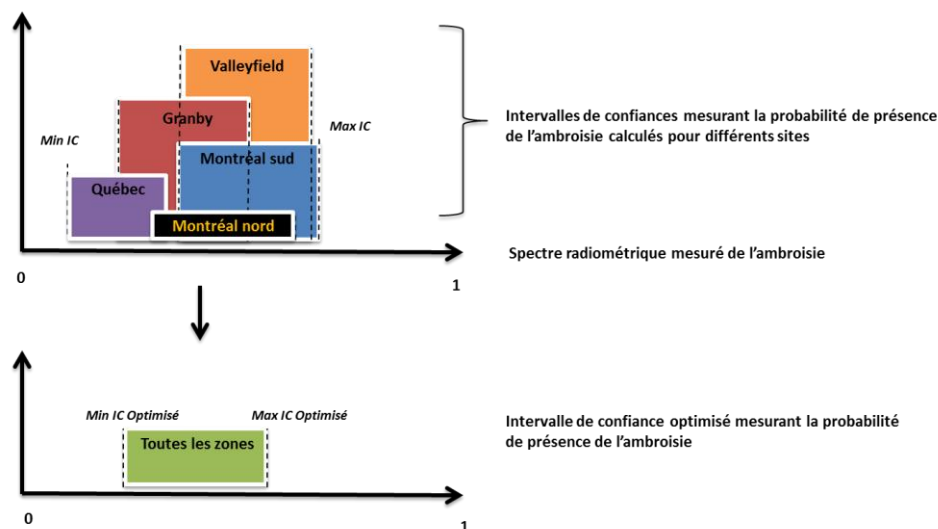
1.3.2 Optimisation des valeurs d'intervalles de confiance

En vue de rendre le modèle extrapolable et de lui permettre de considérer la variabilité générale de l'habitat, un essai d'optimisation du spectre radiométrique de l'ambrosie utilisant les valeurs issues de toutes les images Rapid Eye a été fait, et sa prédictibilité testée. Cette optimisation utilise une agrégation de toutes les données mesurant la présence effective (lorsque la plante est effectivement présente) de l'ambrosie pour les zones couvertes par les images Rapid Eye : Valleyfield (juin 2009), Granby, Montréal (pointe nord-est et sud-ouest de l'île) et Beauport. Un intervalle de confiance optimisé est calculé pour ces données agrégées et utilisées comme intrant dans le modèle prédictif en lieu et place des valeurs in situ (par site distinct). La figure 3 présente la méthode utilisée à cet effet. L'intérêt d'implémenter une telle approche est multiple :

- L'approche en logique floue est un approximateur universel qui aide à réduire les erreurs et différences pouvant être induites par divers facteurs : erreurs de mesure, perturbations atmosphériques et différences géographiques (Benz et coll., 2004).
- La possibilité d'utiliser des images à plus grande couverture géographique pouvant parfois varier au niveau des dates et conditions de prise de vue. Il ressort donc ici un intérêt opérationnel évident : appliquer la méthode à l'ensemble du Québec, ou tout au moins à des zones plus étendues que celles étudiées.

Un essai d'optimisation des valeurs d'intervalles de confiance à la date exacte de prise d'images a également été effectué par site et pour les données agrégées. Il faudrait cependant préciser que le calcul d'un intervalle de confiance optimisé a été fait seulement pour la variable prédictive qui avait été identifiée comme étant la plus stable pour prédire la présence de l'herbe à poux.

Figure 3 : Procédure d'optimisation de l'intervalle de confiance



IC : intervalles de confiance

Un essai d'amélioration de la performance prédictive a été fait en introduisant une règle additionnelle dans le modèle en logique floue, qui consistait à faire la somme "fuzzy" des résultats obtenus à partir des bandes vertes et rouges. Il s'agit d'une fonction croissante qui donne plus d'importance aux zones où le rouge et le vert ont tous les deux prédit la présence de l'ambrosie.

1.4 Analyse des performances

Des mesures de performance additionnelles aux mesures de spécificité et sensibilité ont été introduites. Il s'agit de l'Indice de Kappa et de l'AUC (Area Under the Curve). Ses mesures ont été appliquées aux prédictions sur les sites individuels ainsi qu'aux prédictions intégrant les valeurs optimisées.

2 RÉSULTATS

2.1 Corrélations statistiques confirmées

Les résultats actuels confirment systématiquement l'importance du lien statistique entre la bande verte et la présence de l'ambrosie. Les variables provenant d'analyses en composantes principales (ACP) comme décrites dans le premier rapport, n'ont pas été considérées ici, car présentant des risques d'instabilités radiométriques élevés. La bande rouge s'est également révélée comme ayant un lien statistique fréquent mais moins systématique avec la présence de l'ambrosie (tableau 1). La corrélation négative avec le NDVI est également confirmée. Elle révèle que les valeurs radiométriques dans le vert et le rouge augmentent proportionnellement à la diminution des valeurs du NDVI.

Tableau 1 : corrélations significatives de Spearman entre les variables prédictives et la présence observée de l'ambrosie

Zones d'études	Pointe nord-est de l'île de Montréal		Pointe sud-ouest de l'île de Montréal		Granby		Québec	
	Coef. Corr.	Valeur p	Coef. Corr.	Valeur p	Coef. Corr.	Valeur p	Coef. Corr.	Valeur p
Bande verte	0.54	0	0.09	0.0006	0.13	0	0.16	0.0002
Bande rouge	0.53	0	0.07	0.005	0.09	0.001		
Bande rededge	0.48	0						
Proche infrarouge								
NDVI	-0.53	0	-0.07	0.005			-0.13	0.003
Sociabilité	0.85	0						
Pente	0.92	0						

Les valeurs du NDVI montrent systématiquement des corrélations négatives avec les valeurs phytosociales (tableau 2). Ces corrélations sont toutefois très élevées pour le site de Montréal nord-est. Seul le site de Québec montre une corrélation significativement positive entre le NDVI et l'état de l'herbe à poux au moment de l'observation (tableau 2). Ce résultat laisse indiquer que l'herbe à poux serait plus vigoureuse à Québec qu'ailleurs. Cette conclusion n'a de validité que si la qualité des images n'est pas perturbée à un tel point que l'algorithme de correction atmosphérique administrée soit insuffisant pour les corriger.

Tableau 2 : Corrélations de la présence de l'ambrosie avec les variables phytosociales

Zones d'études	Pointe nord-est de l'île de Montréal		Pointe sud-ouest de l'île de Montréal		Granby		Québec	
	Coef. Corr.	Valeur p	Coef. Corr.	Valeur p	Coef. Corr.	Valeur p	Coef. Corr.	Valeur p
Densité	-0.40*	0	-0.08*	0.002	-0.04**	0.09	-0.13*	0.003
Hauteur	-0.40*	0	-0.06*	0.01	-0.05**	0.08	-0.12*	0.002
Diamètre			-0.07*	0.003	-0.05	0.08	-0.13*	0.002
État de l'herbe à			-0.06*	0.02	-0.08	0.002	0.13*	0.002

poux ¹								
Superficie colonne	0.44*	0						
Sociabilité	-0.47*	0						
Pente	-0.51*	0						

¹ De moins vigoureux à plus vigoureux

*95% d'intervalles de confiance

**90% d'intervalles de confiance

2.2 Confusion spectrale active au niveau du pixel et variabilité radiométrique

L'indice de séparabilité des pixels montre une tendance des valeurs radiométriques des pixels de l'ambrosie à se confondre aux milieux où les plantes ont été échantillonnées. L'influence des échantillons va se faire ressentir sur les valeurs finales des échantillons pour la zone (figures 4 et 5). En d'autres termes, si pour une zone x_1 donnée, la majorité des échantillons se trouve en milieu asphalté ses valeurs radiométriques pour l'ambrosie seront différentes de la zone x_2 dont la majorité des échantillons se trouvent dans les parcs. De même, l'effet de l'habitat se fera ressentir au sein même d'une zone x_1 ou x_2 avec une variabilité intra zone déterminée par la variété de l'habitat (Ngom & Gosselin, 2013).

C'est ainsi que les tests de Student ont montré des différences souvent significatives entre les valeurs moyennes des zones étudiées. On notera une différence statistiquement significative entre les valeurs moyennes du NDVI à Montréal (pour les données de 2010) et celles de Valleyfield. Mais on notera également des concordances statistiquement significatives comme celles entre zones résidentielles à Montréal et Valleyfield (Ngom & Gosselin, 2013). De manière générale, la zone de Québec ville est la seule ayant montré des valeurs radiométriques de l'ambrosie très éloignées de celles des autres zones. Toutes choses étant égales par ailleurs, la cohérence avec la corrélation positive et le NDVI s'expliquent ici, sans toutefois justifier de la bonne qualité des données originales de Québec ville. Il va sans dire que l'effet de l'habitat va varier suivant les saisons. Des valeurs radiométriques générales plus basses dans le visible (vert et rouge) témoignent en général d'un environnement plus humide alors que le contraire témoigne d'un environnement plus stressé. La date et les conditions de prise d'image s'avèrent donc être des éléments primordiaux pour toute tentative d'opérationnalisation future. Il s'avère important d'identifier une période précise (de préférence avant pollinisation) pour construire les cartes de prédiction, mais également de s'assurer des conditions météorologiques pour la prise d'images. En effet la qualité des images peut altérer la cohérence générale des valeurs servant d'intrants pour la prédiction, ce qui pourrait avoir été le cas pour Québec.

Figure 4 : Variation des valeurs moyennes radiométriques de l'ambrosie et du NDVI à Granby

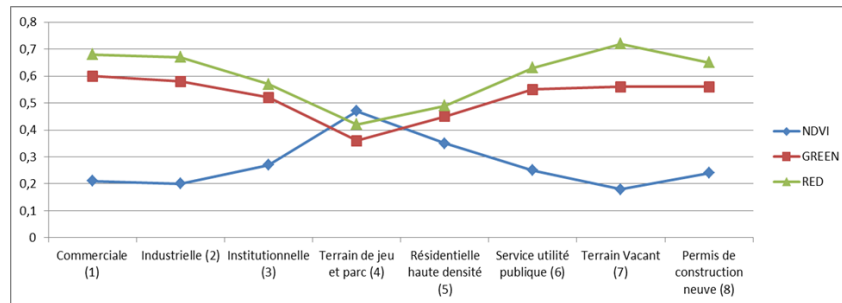
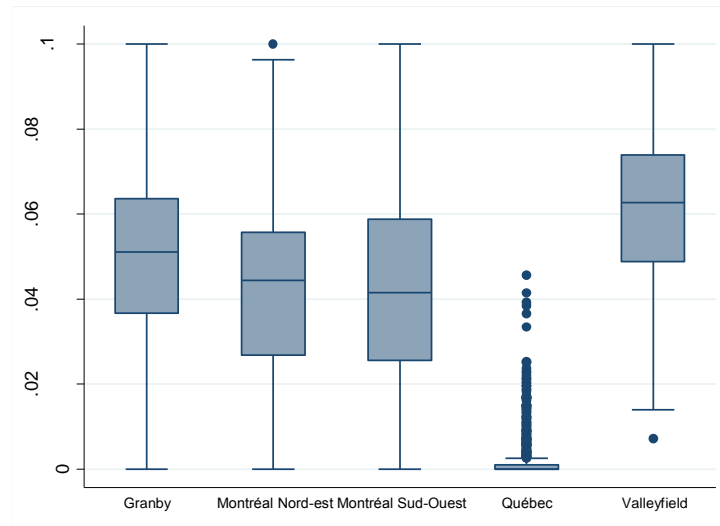


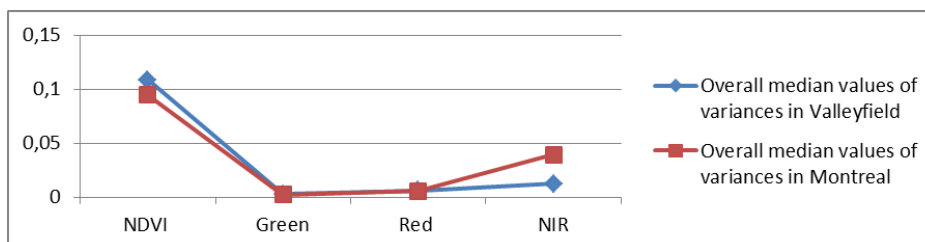
Figure 5 : Variation de la réflectance de l'ambroisie dans le vert



2.3 Bonnes performances confirmées de la bande verte

Les études de variances démontrent que la bande verte est celle dont les valeurs varient le moins (figure 6 et annexe 1), confirmant ainsi son potentiel dans la perspective d'une opérationnalisation avec une option de simplicité du système (réduction des intrants).

Figure 6 : Valeurs médianes des variances de l'ambroisie dans les bandes vertes, rouges et proche infrarouges pour tous les habitats sélectionnés et les produits Rapid Eye de Valleyfield et Worldview 2 de l'île de Montréal (Ngom & Gosselin, sous presse)



Les performances prédictives de la bande verte restent dans la même lignée que celles de la première étude oscillant autour de 50% et 60% (figure 8), avec cependant une exception pour la pointe nord-est de Montréal où toutes les bandes sélectionnées (bande verte, bande rouge en particulier) ont montré une performance avec des valeurs de prédiction systématiquement au-dessus de 60% et allant fréquemment au-delà de 70%. (Figures 7 et 8 et annexe 2). Ces performances restent inédites vu le domaine d'analyse (Végétation spécifique en milieu urbain).

Figure 7 : Performances prédictives des bandes vertes et rouges suivant les valeurs in situ et les valeurs optimisées

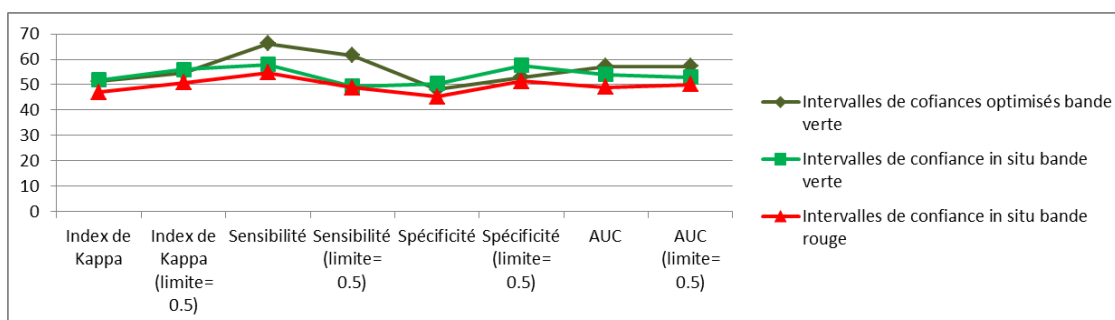
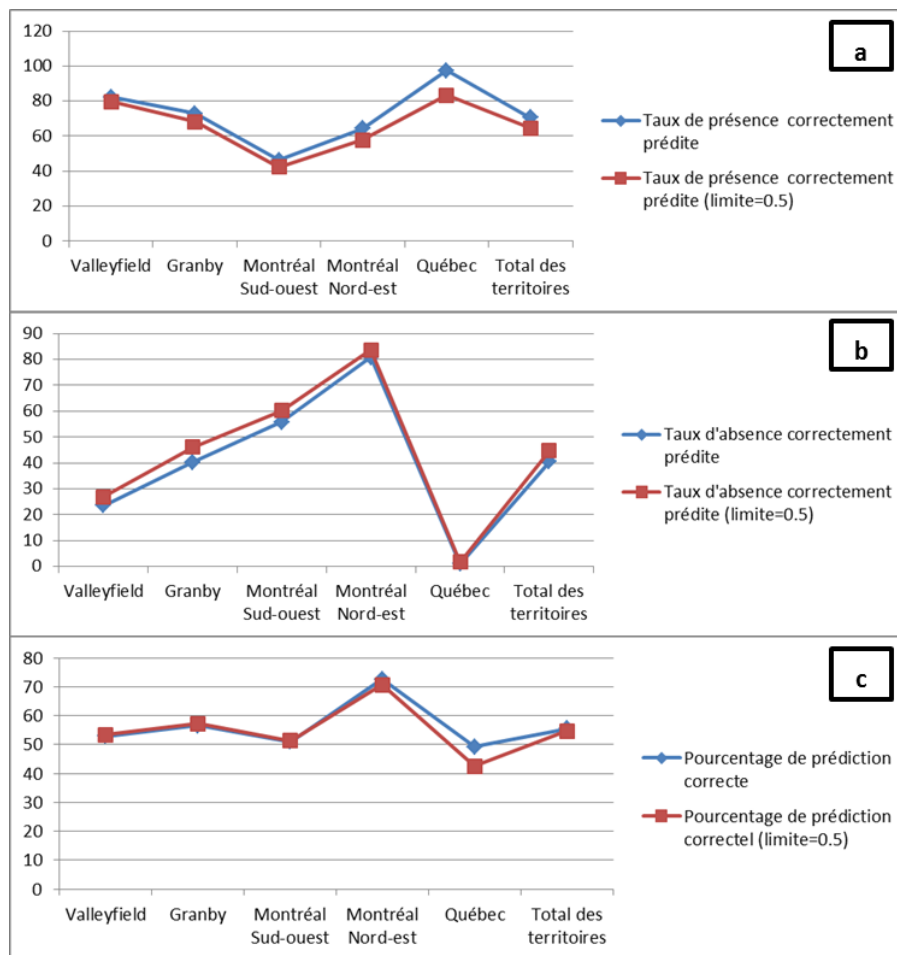


Figure 8: Performances prédictives de la bande verte avec valeurs des intervalles de confiance optimisées

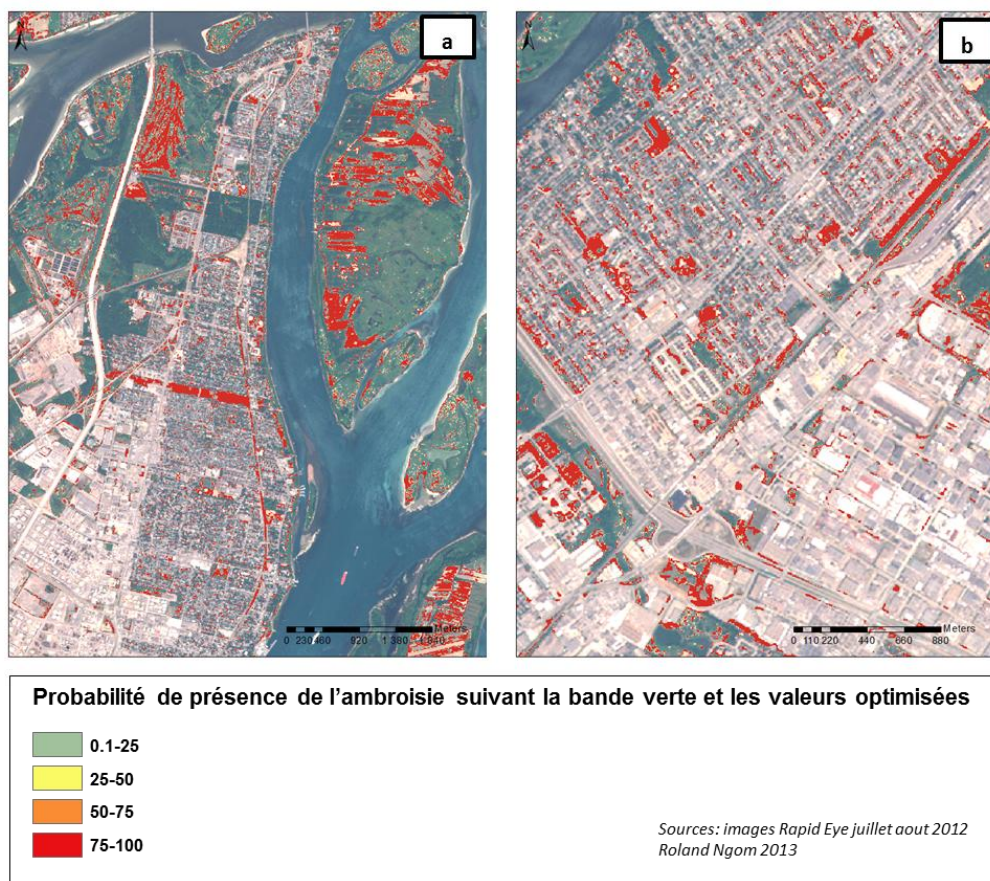


Les performances prédictives radiométriques optimisées sont légèrement moins bonnes que celles des valeurs in situ notamment pour la prédiction de l'absence de l'ambrosie (voir spécificité figure 7 et prédiction de l'absence figure 8), mais elles ont montré un potentiel important pour prédire la présence de l'ambrosie avec constance au-delà des variations géographiques et écosystémiques. En effet les valeurs d'intervalles de confiance optimisées varient peu lorsque l'on considère les valeurs biaisées de Québec. En d'autres termes, si les valeurs moyennes radiométriques de l'ambrosie varient, elles restent dans un intervalle de confiance qui permet d'obtenir une performance générale de 55% (figure 8). Elles démontrent que le modèle peut faire face aux aléas dus aux conditions de prises d'images et aux

variations écosystémiques souvent mieux que les valeurs radiométriques correspondant aux dates de collectes et de prises d'images in situ.

Le rendu spatial de la prédiction confirme la présence de l'ambrosie aux bords des voies de communication, mais aussi une présence non systématique dans les zones périphériques à fort couvert végétal tel qu'illustré par la carte de prédiction de la pointe nord-est de Montréal (figure 9a). Les résultats montrent des « hot spots » en zone résidentielles (figure 9b). La carte permet ainsi une intervention ciblée.

Figure 8: Exemple de carte de prédiction pour la pointe nord-est de l'île de Montréal



3 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le modèle en l'état actuel appliqué à des données extrêmement variables en termes de qualité et de géographie, permet des prédictions globales avec des performances correctes autour de 50% -60%, même si ces performances ont dépassé 70% dans le cas de la pointe nord-est de Montréal. Il démontre ainsi sa stabilité. Ceci est un progrès en soi dans le domaine, car personne à notre connaissance n'avait tenté de construire un modèle prédictif de l'ambrosie qui pourrait être opérationnalisé pour les milieux urbanisés, qui sont par définition très complexes à modéliser par imagerie satellitale. Nos résultats démontrent d'ailleurs que la bande verte et des images à très hautes résolutions sont nécessaires pour détecter cette herbe même dans les zones à tendance rurale. En effet, les conclusions de Simard et Benoit (2010) sur l'étude de l'ambrosie dans les milieux de culture à Valleyfield décrivant une présence de l'ambrosie plus aux bords des routes que dans les champs et entre les parcelles de cultures valident cette conclusion. Mieux encore une étude menée en Chine a également identifié la bande verte comme permettant de distinguer la présence de l'herbe à poux dans les champs de cultures (Hongmu et coll., 2011)

La bande verte paraît comme étant la plus adéquate pour prédire la présence de l'Ambrosie. Cette conclusion est riche d'implications dans une perspective d'opérationnalisation future. En effet les produits issus du visible ont en général une plus-value en termes de coûts d'acquisition et de simplicité des traitements.

Il apparaît important de tenir compte des conditions météorologiques extrêmes : il peut s'avérer nécessaire d'intégrer ou développer des algorithmes de corrections atmosphériques plus sophistiqués (plus complexes) pour corriger les effets météorologiques. Une piste d'amélioration du modèle consiste à intégrer une analyse multicritère dans une première séquence au niveau de l'imagerie satellitale, avant de considérer la fusion avec d'autres sources d'information. Il s'agit d'exploiter la variabilité des habitats, afin d'améliorer les performances du modèle. Les techniques utilisant la connexion topologique des objets spatiaux (qui par ailleurs ont une définition thématique clairement identifiée) peuvent servir à intégrer les facteurs écosystémiques, en particulier la variation de l'habitat. Il faudrait en tous cas tester l'approche pour savoir si elle améliore les résultats actuels. Ceci impliquerait alors la considération de plusieurs spectres (suivant l'habitat). Cette approche aiderait également à pondérer l'effet des échantillons sur la variabilité des mesures radiométriques. Cette étape est en tous cas conseillée avant toute réflexion sur une opérationnalisation concrète basée uniquement sur l'utilisation de l'imagerie satellitale. Une autre piste d'amélioration du modèle serait de considérer que toute mesure in situ aiderait à optimiser l'intervalle de confiance des valeurs radiométriques,

Toutefois, il faut noter que les critères d'analyse des performances des modèles ont été extrêmement sévères, avec l'intégration de mesures telles que la spécificité et la sensibilité basés sur l'utilisation de mesures au GPS (Points) à caractère non professionnel, et donc susceptible d'introduire des erreurs de mesures à précision métrique. En effet, ce n'est pas l'objet résultant de la classification orientée objet qui sert de référence, mais bien les points échantillonnés sur le terrain.

4 PUBLICATIONS

- 1 Article dans un journal avec comité de lecture :

[1] Ngom, R., Gosselin, P. (manuscrit accepté). *Development of a remote sensing-based method to map likelihood of ragweed (Ambrosia artemisiifolia) presence in Quebec* (IEEE JSTARS).

- 1 présentation orale :

[2] Ngom, R., Gosselin, P. (Novembre 2012). *Essai de développement d'une méthode de cartographie du risque de présence de l'herbe à poux (ambrosia artemisiifolia) au Québec par télédétection*. 5e symposium scientifique d'Ouranos 19-21 novembre 2012. Cœur des sciences, Université du Québec à Montréal.

- 1 interview audio vidéo pour le site « Mon climat ma santé » 19 novembre 2012.

5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

U.C. Benz, P.Hofmann, GWillhauck, I. Lingenfelder, M. Heynen. *Multi-resolution, object oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information*. ISPRS Journal of photogrammetry & remote Sensing 58 (2004) 239-258.

A. Hongmu, Mengzhu F. , Jianwei G., Jianying W., Fanghao. *Evaluation of the control efficiency of flea beetle *Ophraella communa* on ragweed *Ambrosia artemisiifolia* based on canopy imaging spectrometer technique,* Acta Phytolacica Sinic. 03, 2011

R. Ngom, P. Gosselin. *Development of a remote sensing-based method to map likelihood of ragweed (Ambrosia artemisiifolia) presence in Quebec* ((manuscrit accepté par IEEE JSTARS).

M. J. Simard, D.L. Benoit, *“Distribution and abundance of an allergenic weed, Common Ragweed (Ambrosia artemisiifolia L.), in rural settings of southern Québec, Canada,”* 27 Canadian Journal of Plant Science 90:549–557, 2010.

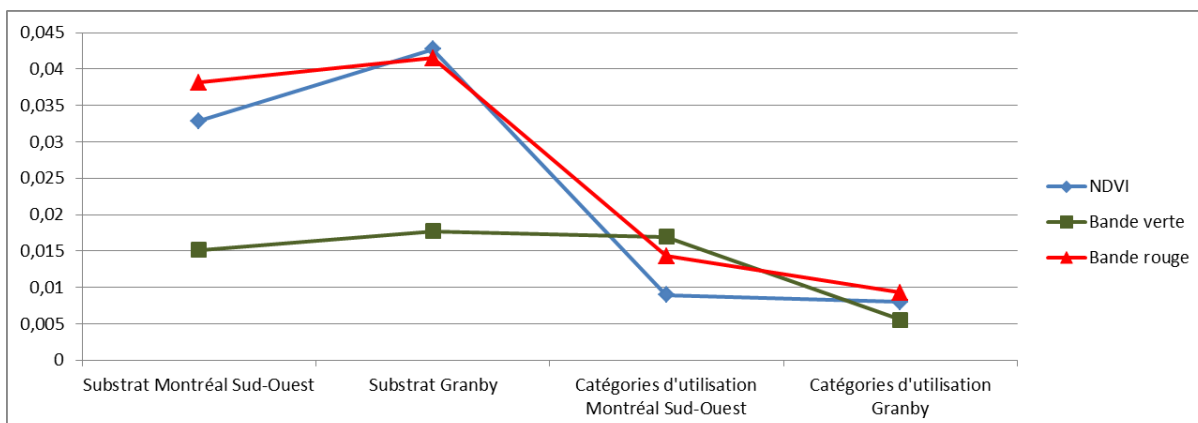
6 REMERCIEMENTS

Remerciements A Ouranos pour son soutien financier, à l'INSPQ, à Sophie Gaudreau de la Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal et à

Diane Lyse Benoit de Agriculture et Agroalimentaire Canada, à la DSP de la Montérégie pour les données terrain. Remerciements au Ministère des Ressources naturelles et de la Faune pour les images Spot 4.

7 ANNEXE 1 : Analyse de variance

Figure 10 : Valeurs des variances de l'ambrosie dans les bandes vertes, rouges et le NDVI¹ pour tous les habitats sélectionnés^{2 & 3} et les produits Rapid Eye de Valleyfield, Granby et la pointe Sud-ouest de l'île de Montréal



¹Differenced Normalized Vegetation Index

² Substrat : Aménagé, gazon, asphalte, présence autre végétation, gravier, terre, autres

³ Catégorie d'utilisation: Commerciale, Industrielle, Institutionnelle, Terrain de jeu et parc, Résidentielle haute densité, Service utilité publique, Terrain Vacant, Permis de construction neuve

8 ANNEXE 2 : Performances prédictives des bandes sélectionnées

Figure 11 : Valeurs AUC pour les prédictions avec les bandes sélectionnées pour les images Rapid Eye de Valleyfield, Granby, la pointe nord-est de l'île de Montréal et la pointe sud-ouest de l'île de Montréal

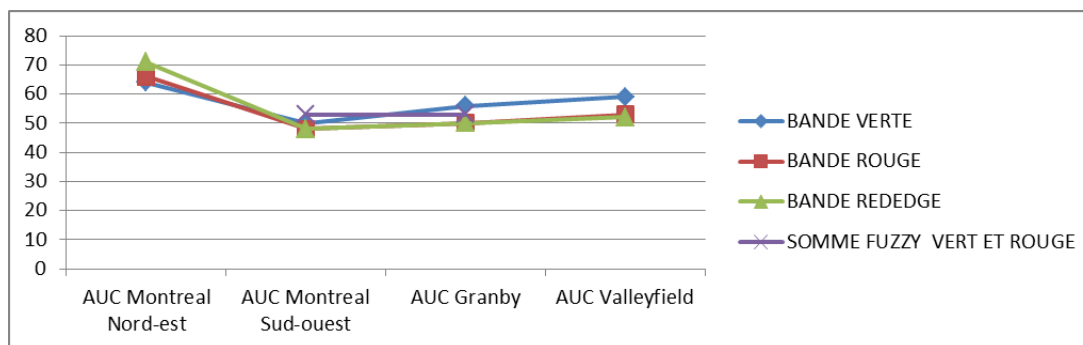


Figure 12 : Valeurs AUC pour les prédictions avec les valeurs optimisées (intégrant l'ensemble des zones d'études des bandes vertes et rouges pour les images Rapid Eye de Valleyfield, Granby, la pointe nord-est de l'île de Montréal et la pointe sud-ouest de l'île de Montréal

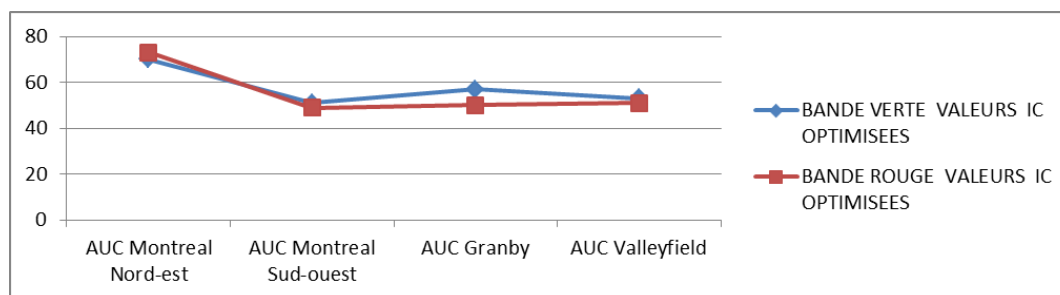


Figure 13 : comparaison des valeurs AUC pour les prédictions avec des valeurs correspondant à la date de prises d'images et les valeurs générales des bandes sélectionnées pour les images Rapid Eye de Valleyfield, Granby, la pointe nord-est de l'île de Montréal et la pointe sud-ouest de l'île de Montréal

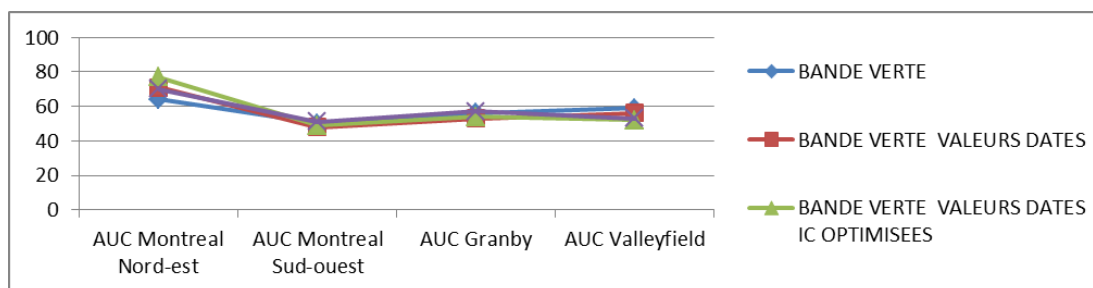
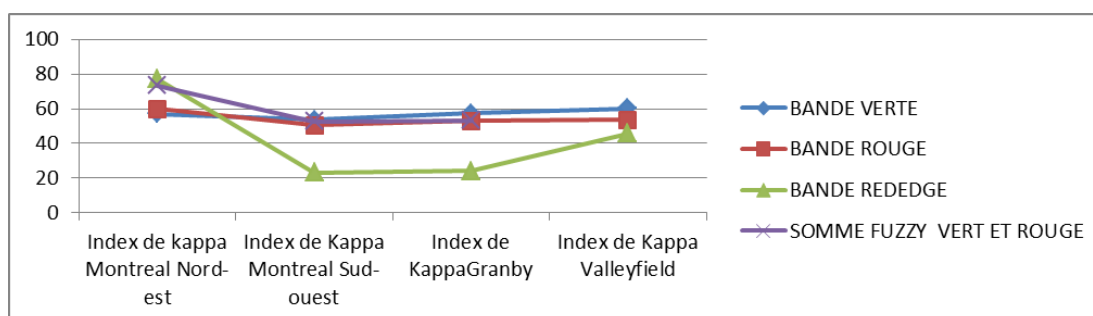


Figure 14 : indice de KAPPA pour les prédictions avec les bandes sélectionnées pour les images Rapid Eye de Valleyfield, Granby, la pointe nord-est de l'île de Montréal et la pointe sud-ouest de l'île de Montréal



CONCLUSION

Les résultats suggèrent que l'amélioration des communications avec les propriétaires de terrains susceptibles des communications et rappels de l'importance de la coupe pourraient être efficaces pour les propriétaires de terrains vacants. Nous recommandons donc que si des communications sont envoyées pour inciter la coupe des hautes herbes, qu'elles le soient uniquement à ces propriétaires.

Des pistes intéressantes d'intervention destinées à améliorer la santé respiratoire des citoyens allergiques ,à diminuer le fardeau des coûts de santé associés à ces allergies et à améliorer la qualité de l'air pour l'ensemble des citoyens sont à explorer en misant sur une collaboration plus étroite avec les responsables municipaux – responsables de la qualité de vie des citoyens et de l'application de règlements (ex. hauteur des hautes herbes) qui assurent cette qualité de vie - et les autorités sanitaires dont la mission est la prévention des maladies et la promotion de la santé. Les organismes publics – réseau de la santé, réseau scolaire, services d'utilités publiques, municipalité, arrondissement, administrateurs de réseaux routiers- devraient également être sollicités pour l'application de la mesure de contrôle.

La bonne concordance entre la présence d'herbe à poux identifiée à partir des visites des terrains et à l'aide de la bande spectrale verte d'images satellitaires à haute résolution suggère aussi un potentiel d'opérationnalisation intéressant pour cibler les terrains potentiellement infestés par l'herbe à poux de façon automatisée. Nous suggérons la poursuite de travaux sur ce sujet afin de permettre l'identification et la surveillance des terrains problématiques et dont les propriétaires devraient être incités à la coupe.