



Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et aux autres facteurs aggravants



Auteurs :

Hélène Moore agr. Msc. (Club de Fertilisation de la Beauce)

Charles Fournier-Marcotte agr. (Club de Fertilisation de la Beauce)

Aubert Michaud, Ph.D (IRDA)

Mohamed Abou Niang, Ph.D (IRDA)

11 novembre 2015

Ce projet a été réalisé dans le cadre du Programme Prime-Vert, sous-volet 3.1 – Approche régionale avec une aide financière du Ministère de l'agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

Table des matières

FAITS SAILLANTS (RÉSUMÉ DU PROJET)	4
OBJECTIF DU PROJET ET SOUS OBJECTIFS DU PROJET	6
OBJECTIF	6
SOUS-OBJECTIFS	6
REVUE DE LITTÉRATURE.....	7
MÉTHODOLOGIE ET INDICATEURS RETENUS	8
CHOIX DES PONDÉRATIONS ET VALEURS DES FACTEURS ET CRITÈRES	14
ÉLABORATION DU SIG, ET TRAITEMENTS SPATIALES DES DONNÉES.....	20
CALCUL DE L'INDICE FINAL.....	23
FACTEUR DE DIVERSITÉ VÉGÉTALE:	23
EXPOSITION AUX PESTICIDES PAR VOIES AÉRIENNES	25
EXPOSITION AUX PESTICIDES PAR VOIE HYDRIQUE.....	26
REPRÉSENTATION SPATIALE INDIQUANT LES PERTURBATIONS (ROUTES)	28
INDICE DE SENSIBILITÉ DES POLLINISATEURS AUX RISQUES D'EXPOSITION AUX PESTICIDES ET AUTRES FACTEURS AGGRAVANTS	30
REPRÉSENTATION SPATIALE DE LA PRÉSENCE DES RUCHERS	31
LIMITATIONS DU MODÈLE	31
CONCLUSION.....	33
BIBLIOGRAPHIE	34
ANNEXES.....	36

Liste des tableaux

TABLEAU 1: POINTS DE CONTACT POUR INFORMATION	5
TABLEAU 2: COORDONNÉES DU COMITÉ DIRECTEUR ET CONSULTATIF DU MAPAQ	5
TABLEAU 3: LISTE DES CONSULTANTS EN APICULTURE	9
TABLEAU 4: LISTE DES FACTEURS RETENUS ET JUSTIFICATION.....	10
TABLEAU 5: FACTEURS, CRITÈRES ET INDICATEURS RETENUS	13
TABLEAU 6: SPÉCIALISTES CONSULTÉS POUR LA PONDÉRATION DES INDICATEURS, DES CRITÈRES ET DES FACTEURS	15
TABLEAU 7: ÉLÉMENTS DU SONDAGE TRANSMIS AUX SPÉCIALISTES, VALEURS ET PONDÉRATIONS ATTRIBUÉES SUITE AU SONDAGE	16
TABLEAU 8: INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES TRANSMISES POUR UNE MEILLEURE COMPRÉHENSION DES ENJEUX.....	18
TABLEAU 9: LISTE DES SOURCES D'INFORMATION GÉOSPATIALES INITIALES ET TRAITEMENTS DES DONNÉES	21
TABLEAU 10: MÉTHODE DE CALCUL DES CRITÈRES.....	22
TABLEAU 11: LÉGENDE ILLUSTRANT LA DIVERSITÉ VÉGÉTALE	24
TABLEAU 12: LÉGENDE ILLUSTRANT L'EXPOSITION AUX PESTICIDES PAR VOIE AÉRIENNE	25
TABLEAU 13: LÉGENDE ILLUSTRANT LE CRITÈRE DRAINAGE	27
TABLEAU 14: LÉGENDE ILLUSTRANT LE CRITÈRE DE LA PRÉSENCE DE CUVETTES.....	28
TABLEAU 15: LÉGENDE ILLUSTRANT LES PERTURBATIONS (ROUTES).....	29
TABLEAU 16: LÉGENDE ILLUSTRANT L'INDICE FINAL.....	30

Liste des figures

FIGURE 1 : REPRÉSENTATION SPATIALE DE LA DIVERSITÉ VÉGÉTALE	24
FIGURE 2: REPRÉSENTATION SPATIALE D'EXPOSITION AUX PESTICIDES PAR VOIE AÉRIENNE	25
FIGURE 3: REPRÉSENTATION SPATIALE DU CRITÈRE DRAINAGE	27
FIGURE 4: REPRÉSENTATION SPATIALE DU CRITÈRE INDIQUANT LA PRÉSENCE DE CUVETTES	28
FIGURE 5: REPRÉSENTATION SPATIALE INDIQUANT LES PERTURBATIONS (ROUTES).....	29
FIGURE 6: REPRÉSENTATION SPATIALE DE L'INDICE FINALE	30
FIGURE 7: REPRÉSENTATION SPATIALE DE LA PRÉSENCE DE RUCHERS	31

Faits saillants (résumé du projet)

Ce projet s'inscrit dans un projet global visant la protection des insectes pollinisateurs en Chaudière-Appalaches et fait suite à un premier exercice de géolocalisation des ruchers qui a été mené par le Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD) en 2013. Ce dernier visait à produire une carte représentant les zones de sensibilité du territoire de la Chaudière-Appalaches à l'exposition des pollinisateurs aux insecticides et autres facteurs aggravants. À terme, le développement de la cartographie des zones de sensibilité dans le cadre du présent projet permettra aux utilisateurs de mieux prendre en considération le risque d'exposition aux pesticides, dans l'établissement de ruchers dans la région de la Chaudière-Appalaches. La carte permettra également de cibler les secteurs à risque élevé à proximité des ruchers existants et de planifier des actions préventives. Le projet a été réalisé en deux étapes. Dans un premier temps, une grille des facteurs de risques d'exposition des pollinisateurs aux insecticides et autres facteurs aggravants a été développée. Suivant plusieurs consultations auprès de spécialistes du domaine phytosanitaire et d'utilisateurs potentiels de l'application à développer, une grille a été développée sur la base des facteurs, critères et pondérations de ces derniers exprimant le risque relatif d'exposition des pollinisateurs aux pesticides. La distribution des indices découlant de l'application de la grille traduit l'impact des facteurs sur le risque d'exposition des pollinisateurs aux pesticides. Dans un deuxième temps, un système d'information géographique (SIG) a été développé représentant la distribution spatiale des indices individuels retenus. L'indice global de risque généré intègre au plan spatial les contributions de l'ensemble des critères. La carte produite identifie de façon conviviale les endroits les plus à risque pour les pollinisateurs, de même que les sites plus propices à accueillir des ruchers. De plus, une carte indiquant une densité relative de ruchers sur le territoire peut y être superposée. La cartographie sera à terme disponible sur l'outil géomatique Info-Sols (www.info-sols.ca).

Considérant la courte période dédiée à la réalisation de cette première phase de projet, des étapes de validation et de consultation sont requises préalablement à la diffusion du SIG final. Ce projet est novateur et n'a pu être validé par d'autres travaux de la même nature. Une deuxième phase de projet est donc requise. *Les auteurs du projet tiennent à préciser que le SIG produit ne devrait pas servir, dans sa forme actuelle, à planifier des interventions ou à être diffusé comme étant un produit prêt à une utilisation pratique.*

Pour mener à terme ce projet, une équipe de réalisation a été formée de deux personnes du Club de fertilisation de la Beauce et de deux personnes de l'IRDA (tableau 1). Cette équipe était chapeautée par un comité formé de conseillers du MAPAQ (tableau 2).

Rapport: Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

Tableau 1: Points de contact pour information

Nom	Coordonnées
Aubert Michaud, Ph.D Chercheur en conservation des sols et de l'eau	IRDA 2700, rue Einstein Québec (Québec) G1P 3W8 Tél.: 418 643-2380 Télé.: 418 644-6855 aubert.michaud@irda.qc.ca
Charles Fournier-Marcotte, agr. Conseiller en agroenvironnement	Club de fertilisation de la Beauce, 111C rue Principale, Sainte-Hénédine (Québec) G0R 2S0 Tel: 418-935-3531 Télé.: 418- 935-7288 Courrier électronique: cffb@globetrotter.net
Hélène Moore, agr. M.Sc. Chargé de projet	Club de fertilisation de la Beauce, 111C rue Principale, Sainte-Hénédine (Québec) G0R 2S0 Tel: 418-935-3531 Télé.: 418- 935-7288 Courrier électronique: cffb@globetrotter.net
Mohamed Niang, Ph.D. Professionnel de recherche	IRDA, 2700, rue Einstein Québec (Québec) G1P 3W8 Tél.: 418 643-2380 Télé.: 418 644-6855 mohamed.niang@irda.qc.ca

Tableau 2: Coordonnées du Comité directeur et consultatif du MAPAQ

Nom	Coordonnées
Line Bilodeau, agr., M.Sc. Conseillère régionale en grandes cultures Responsable régionale du RAP Grandes cultures	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation Direction régionale de la Chaudière-Appalaches 675, route Cameron, bureau 100 Sainte-Marie (Québec) G6E 3V7 Tel: 418 386-8116, poste 1524 Cell.: 418 928-2093 Télé.: 418 386-8345 line.bilodeau@mapaq.gouv.qc.ca
Jean-François Guay, Ph.D.Sc.Env. Analyse principal – Aménagement du territoire/Planification territoriale Spécialiste en aide multicritère à la décision/analyse prospective/modélisation et analyse spatiale SIG	Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec Direction régionale de la Chaudière-Appalaches 675, route Cameron, bureau 100 Sainte-Marie (Québec) G6E 3V7 Téléphone : (418) 386-8116, poste 1521 Courriel : jean-francois.guay@mapaq.gouv.qc.ca

Objectif du projet et sous objectifs du projet

Objectif

Évaluer et représenter au plan spatial le niveau de risque de mortalité des pollinisateurs et abeilles d'élevage dans la région de la Chaudière Appalaches en lien avec l'utilisation des pesticides.

Sous-objectifs

#1: Identifier les secteurs où le risque de mortalité des abeilles est particulièrement élevé dans le but de préparer des stratégies d'intervention permettant de réduire les facteurs associés au risque.

#2: Permettre aux apiculteurs d'identifier, sur le territoire, les lieux les plus propices à l'installation de ruchers.

Revue de littérature

Au cours des deux dernières décennies, la réduction apparente de l'abondance des pollinisateurs de toutes sortes a suscité des inquiétudes dans le monde entier. Parallèlement à ces observations, partout sur la planète, l'abeille mellifère (*Apis mellifera*) a connu une chute dramatique de ses populations. Les chercheurs et les apiculteurs ont avancé de nombreuses hypothèses pour expliquer ce déclin (Chagnon, 2008). Par exemple, à la fin des années 1990, aux États-Unis, au Canada et partout ailleurs dans le monde, le varroa (*Varroa destructor*) fut identifié comme la cause principale des pertes de colonies d'abeilles. Différentes maladies virales et microbiennes, associées ou non avec le varroa, sont venues envenimer davantage la situation (Chagnon, 2008) de même que l'apparition d'autres parasites. Parallèlement, un autre problème encore plus grave a commencé à être observé en Europe et aux États-Unis : le syndrome de l'effondrement des colonies ou CCD. En 2008, les pertes ont été, en moyenne, de 19 % pour le Québec alors que la moyenne canadienne était de 35 % (Chagnon, 2008). En fait, plusieurs études indiquent qu'une combinaison de facteurs serait à l'origine de ce déclin (Potts et al., 2010). La littérature indique que malgré les efforts de recherches pour identifier les causes du déclin des colonies d'abeilles, aucun facteur ne peut expliquer à lui seul ce phénomène. Par contre, une interaction entre plusieurs facteurs serait l'explication la plus probable des taux de mortalité élevés des colonies d'abeilles observés (Potts et al., 2010). Un consensus semble ressortir quant aux facteurs généralement en cause, à savoir :

- déclin de la diversité des plantes à fleurs (Di Pasquale et al., 2013);
- destruction, fragmentation et dégradation de l'habitat, en grande partie à cause du développement urbain (Grixti, Wong, Cameron, & Favret, 2009);
- introduction d'espèces végétales exotiques envahissantes (Potts et al., 2010);
- toxicité et utilisation à grande échelle des pesticides (Pettis, 2013);
- pollution atmosphérique (Potts et al., 2010);
- changements climatiques (Potts et al., 2010);
- maladies et parasites (Potts et al., 2010).

Parmi ces facteurs, les pesticides constituent une menace majeure pour les pollinisateurs. Il est démontré depuis longtemps que l'application de pesticides pour la répression des ravageurs agricoles peut avoir des répercussions négatives sur les colonies d'abeilles mellifères. Depuis des décennies, des mortalités massives d'abeilles sont observées partout là où l'agriculture et l'apiculture coexistent (Chagnon, 2008).

Plus récemment, une étude menée au Québec indique que le taux de mortalité des abeilles domestiques est quatre fois plus élevé lorsqu'elles sont à proximité d'un champ de maïs. Les analyses des eaux de surface réalisées dans le cadre de cette étude révélaient qu'elles contenaient des traces néonicotinoïdes (Samson-Robert, Labrie, Chagnon, & Fournier, 2014). Les insecticides du groupe des néonicotinoïdes sont fortement toxiques pour les insectes, dont les abeilles, à de très faibles concentrations. Les néonicotinoïdes sont largement utilisés comme enrobages de semences, en plus d'être appliquées en traitement foliaire dans plusieurs cultures. Selon l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) de Santé Canada et l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis, la clothianidine

(composé du groupe des néonicotinoïdes) est « fortement toxique » pour les abeilles. Pourtant, en 2008, plus de 95 % du maïs semé au Québec était traité avec ce produit (Gagnon, 2008)

l'Ontario a d'ailleurs modifié sa réglementation sur l'utilisation des néonicotinoïdes en grandes cultures dans le but de réduire l'utilisation de ces insecticides en grandes cultures. (OMAFRA, 2015)

Nous pouvons nous interroger sur l'importance qu'ont les pollinisateurs dans notre environnement et pourquoi leur déclin suscite-t-il autant d'intérêt. Du simple point de vue de l'agriculture, il a été estimé que 87 des 124 principales espèces cultivées pour la consommation humaine dans 200 pays du monde dépendent, à différents niveaux, de la pollinisation par les insectes (Klein et al., 2007). Les pollinisateurs sont essentiels à 13 de ces cultures, 30 en dépendent fortement et 27 en dépendent modérément. Cependant, en volume de production, seulement 35 % de la nourriture produite à l'échelle mondiale est dépendante de la pollinisation croisée par les insectes, car certaines cultures importantes telles que le riz, le maïs et le blé sont pollinisées par le vent. Toutefois, la pollinisation entomophile assure aussi la production de semences des plantes fourragères et des grandes cultures telles que la luzerne et le trèfle. Ces dernières sont utilisées pour nourrir les animaux qui, à leur tour, fournissent de la viande et des produits laitiers. En utilisant la moyenne des coefficients de dépendance estimés par divers auteurs, la valeur monétaire des services de la pollinisation pour les principales cultures du Québec a été estimée, selon les superficies et les valeurs des cultures en 2008, à 166 millions de dollars canadiens (Chagnon, 2008)

Au Québec, ainsi que dans le reste du Canada atlantique, ce sont les cultures fruitières qui dépendent le plus des pollinisateurs, principalement la pomme, la fraise, la canneberge et le bleuet nain. D'ailleurs, les deux tiers des colonies d'abeilles mellifères louées pour la pollinisation sont destinés à ces cultures (Chagnon, 2008)

Devant ces faits et compte tenu de l'importance des pollinisateurs pour l'agriculture, la direction régionale de la Chaudière-Appalaches du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, a décidé de faire produire une carte permettant de repérer, sur son territoire, les secteurs les plus à risques d'augmenter le taux de mortalité des abeilles afin d'offrir aux intervenants un outil d'aide à la décision. Cet outil pourra servir tant pour planifier des stratégies d'interventions et sensibiliser les utilisateurs de pesticides que pour choisir les bons emplacements où installer des ruchers.

Méthodologie et indicateurs retenus

La première étape du projet a été d'identifier les facteurs qui pouvaient contribuer au risque de mortalité des pollinisateurs. Les discussions ont, dans un premier temps, identifié l'exposition aux pesticides comme étant un facteur important à considérer. Cependant, ce facteur se devait d'être raffiné, car l'exposition aux pesticides s'exprime de plusieurs manières. Voici les constats suite aux rencontres préliminaires:

Rapport: Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

- Les ruchers peuvent être affectés lors de l'application des pesticides, particulièrement les insecticides, entre autre par la dérive des produits. L'incidence du vent et du type de cultures qui reçoivent régulièrement des traitements devaient faire partie des indicateurs à retenir.
- Les traitements de semence aux néonicotinoïdes sont l'objet de plusieurs études qui soupçonnent ces produits d'affecter la santé des abeilles. Ainsi, les cultures traitées avec ces produits devaient être ciblées.
- Les petites flaques d'eau où s'abreuvent les abeilles peuvent être des sources de contamination lorsque les pesticides s'y retrouvent dilués, tel que constaté par Samson-Robert et al. (2014) dans le cadre d'une étude réalisée en Montérégie.
- Le nombre de ruchers est un élément qui n'augmente pas nécessairement le risque d'exposition aux pesticides, sauf s'il y a compétition pour la nourriture. Si tel est le cas, les abeilles optent pour des sources de nourriture plus lointaines ou moins attrayantes. Cependant, la concentration de ruchers dans une zone à risque augmente le nombre d'abeilles pouvant être affecté par l'environnement.

Par la suite, une consultation avec deux spécialistes en apiculture et un apiculteur (tableau 3) a été menée afin de valider chacun des facteurs et d'en ajouter ou d'en éliminer selon les commentaires des consultants.

Tableau 3: Liste des consultants en apiculture

Nom	Coordonnées
Nicolas Tremblay, agr. Conseiller apicole provincial	Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD) 120-A chemin du roy Deschambault, Qc G0A 1S0 (418) 286-3353 poste 224 cell: (418) 806-1311
Mario Leclerc, apiculteur	Miellerie Prince-Leclerc 239 Haut de la Paroisse St-Agapit QC G0S 1Z0 Tél.: 418-888-3323
Pierre Ayotte, technologiste agricole	Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec Direction régionale de la Chaudière-Appalaches Centre de services de Lévis 5410, boul. Guillaume-Couture, bureau 77 Lévis (Québec) G6V 4Z2 Téléphone: 418 837-7105, poste 2960 Télécopie: 418 837-1138 Courriel: pierre.ayotte@mapaq.gouv.qc.ca

Voici les principaux points que cette consultation a permis de faire ressortir pour, ultimement, mener à la production d'une liste finale des facteurs de risque à considérer. *Le tableau 4* présente les facteurs retenus et les décrit brièvement.

- La diversité végétale est apparue comme un élément très important dans le maintien de la santé d'un rucher. Ce facteur a été identifié par les spécialistes en apiculture comme étant le plus

important à considérer. Ce n'est pas tant la présence d'une culture préjudiciable à la santé des pollinisateurs qui peut être dommageable, que son étendu autour des ruchers. Ainsi, un champ de maïs inclus dans un paysage diversifié présente un risque relativement faible pour la santé des ruchers. Par contre, une grande superficie en monoculture (culture à risque) sera très préjudiciable. La même constatation est faite pour le nombre de ruchers : s'il y a beaucoup de diversité de cultures autour des ruchers, la pression du nombre devient moins importante. Le critère de diversité du paysage a donc été ajouté à la liste préliminaire des facteurs contribuant au risque.

- La présence de lignes électriques a été retirée des facteurs à risque puisqu'aucune étude sérieuse n'appuie l'hypothèse d'un impact négatif sur les abeilles.
- La proximité de routes passantes (autoroutes, grandes routes) a été ajoutée puisqu'elle contribue à augmenter le facteur de stress, ce qui rend les abeilles moins résilientes et donc plus vulnérables aux autres facteurs.

Cette rencontre a également permis de mieux comprendre les enjeux et contraintes de cette production en regard de la problématique des pesticides. Par exemple, le choix de l'emplacement des ruchers est une étape délicate pour les apiculteurs. Les sites propices ne sont pas si nombreux, car ils doivent répondre à de nombreux critères, et se situent ainsi le plus souvent sur des terres agricoles. Les apiculteurs font preuve d'une grande indulgence quant à leurs exigences auprès des entreprises agricoles afin de ne pas risquer de perdre la possibilité ou le droit d'y localiser des ruches. Il apparaît ainsi que c'est par une bonne sensibilisation auprès de ces entreprises que les améliorations des pratiques pourront progresser.

Les spécialistes en apiculture ont également indiqué, selon eux, dans quelle proportion chacun des facteurs retenus contribuait au risque de mortalité des abeilles.

Finalement, la consultation a aussi permis de faire ressortir l'impact de certaines cultures non envisagées au départ, telles que les fraises d'automne et les sapins de Noël.

Tableau 4: Liste des facteurs retenus et justification

Facteurs	Description du facteur
Diversité végétale	Ce facteur représente en fait le manque de diversité végétale . Il a été identifié par les apiculteurs comme étant celui pouvant aggraver le plus l'incidence des autres critères et accroître ainsi le risque de mortalité des abeilles.
Exposition aux pesticides par voies aériennes	Ce facteur fait référence à l'application des pesticides dans les cultures en général ainsi qu'au traitement des semences de certaines cultures avec des néonicotinoïdes. Le risque est associé à la possibilité de dérive des pesticides et à la présence de poussières de néonicotinoïdes dans l'air. Les cultures traitées avec des insecticides ont une grande incidence sur la santé des pollinisateurs de même que le système de gestion des pesticides dans le temps.
Exposition aux pesticides par voies hydriques	Il est reconnu que les pollinisateurs s'abreuvent dans de petites flaques d'eau. Ainsi les lieux où il y a risque d'accumulation d'eau à l'intérieur d'une culture traitée avec des pesticides présentent un risque accru.

Rapport: Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

Présence de routes	La proximité des routes augmentent le stress des abeilles qui sont alors davantage sensibles aux agresseurs. Seules les routes importantes sont ciblées.
Densité de ruches	Ce facteur est associé davantage au nombre d'abeilles dont la santé peut être affectée par leur environnement et le nombre de mortalité.

Les facteurs définissent le risque pour la santé des pollinisateurs et sont par nature inter-reliés. L'importance relative des différents facteurs est exprimée par une pondération propre à chacun d'eux. Les critères de vulnérabilité retenus pour chacun des facteurs permettent de quantifier le risque. Le critère est une traduction opérationnelle d'un point de vue d'expert et est mesuré par son indicateur. Par exemple, pour exprimer le facteur de la diversité végétale du territoire, l'occupation du sol est le critère retenu, et l'indicateur est une expression mathématique de la diversité des occupations du territoire et des cultures (Tableau 5). Suivant la consultation des spécialistes en apiculture, les critères en lien avec chaque facteur, de même que les méthodes de calcul de chaque indicateur ont été déterminés par le comité de travail. Enfin, le calcul de l'indice global reflète la pondération associée aux différents critères et facteurs.

L'exposition aux pesticides par voie aérienne a été liée, dans un premier temps, à la culture se trouvant à proximité des ruchers. En effet, les cultures qui reçoivent plusieurs traitements phytosanitaires et/ou à des périodes critiques, de même que les cultures dont les semences sont traitées aux néonicotinoïdes augmentent l'exposition des insectes aux pesticides. Dans un deuxième temps, le vent a été un critère à inclure dans ce facteur puisqu'il augmente les risques de dérive lors des applications de pesticides. Un algorithme spécifique a été développé afin d'exprimer l'exposition au vent d'un site donné intégrant la distribution des intensités suivant la rose des vents et les distances à un écran (couvert forestier) suivant les mêmes directions. Ainsi, pour le facteur d'exposition aux pesticides par voie aérienne deux critères ont été retenus, soit le type de culture et l'exposition au vent.

L'exposition aux pesticides par voie hydrique a été reliée à la culture, reflétant l'utilisation de produits phytosanitaires évoquée pour le facteur d'exposition par voie aérienne. La prise en compte de la possibilité que les produits utilisés se retrouvent dans les aires d'abreuvement des abeilles est cependant ici considéré. Le grouperhydrologique du sol, reflétant sa capacité d'infiltration, de même que la présence de micro dépressions dans les champs ont été retenus afin d'exprimer la vulnérabilité du parcellaire à générer des zones d'accumulation d'eau où peuvent s'abreuver les abeilles. Le facteur d'exposition aux pesticides par voies hydriques comporte donc trois critères soit: la culture, le drainage et la microtopographie du terrain.

Le facteur de présence des ruchers s'exprime simplement par la présence ou non de ruchers. Il faut préciser que le facteur du nombre de ruchers est une donnée incomplète puisqu'elle a été obtenue auprès des apiculteurs qui ont volontairement participé, en 2014, à un projet visant à géolocaliser les ruches de Chaudière-Appalaches. La grande majorité des apiculteurs de la région, soit 31 entreprises sur les 33 répertoriées, se sont prêtées à l'exercice. Les entreprises qui n'ont pas participé à cet inventaire représentent entre 1 500 et 2 000 colonies, soit entre 30 et 40 % des ruchers. Ces ruchers pourront être

ajoutés ultérieurement si les apiculteurs le désirent. Mentionnons que le nombre de ruchers par entreprise peut grandement varier.

Le dernier facteur qui a été nommé, perturbations, a été lié à la présence d'autoroute et de routes provinciales. Ce sont en effet les routes où il y a une circulation importante de véhicules qui ajoutent un facteur de stress aux pollinisateurs.

Ces critères ont été par la suite exprimés sur la base d'indicateurs, puis pondérés afin de représenter les cinq facteurs de risque. Plusieurs indicateurs ont été nécessaires à la représentation des critères. *Le tableau 5* présente les facteurs, critères et indicateurs identifiés et retenus.

Compte tenu de la couverture incomplète du territoire, la présence de ruchers est exclue du calcul de l'indice global. Cependant, la représentation spatiale de la densité potentielle d'abeilles peut être superposée à la couche représentant l'indice global de risque.

Rapport: Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

Tableau 5: Facteurs, critères et indicateurs retenus

Facteurs	Critères	Indicateurs
Diversité végétale	Occupation du sol	<ul style="list-style-type: none"> • habitations (milieu urbain) • Interface forêt/champ • plans d'eau • milieux humides • friches • céréales • maïs • soya • prairies • framboises • fraises • vergers • pommes de terre • sapin de Noël • autres cultures
Exposition aux pesticides par voie aérienne	Vulnérabilité liée à la culture	<ul style="list-style-type: none"> • céréales • maïs • soya • prairies • framboises • fraises • vergers • pommes de terre • sapin de Noël • autres cultures
	Vulnérabilité liée à l'exposition aux vents dominants (avril à octobre)	<ul style="list-style-type: none"> • distance d'un brise-vent par rapport à une culture à risque • Nombre de jour avec vent > 10 km/h
Exposition aux pesticides par voie hydrique	Vulnérabilité liée à la culture	<ul style="list-style-type: none"> • céréales • maïs • soya • prairies • framboises • fraises • vergers • pommes de terre • sapin de Noël • autres cultures
	Vulnérabilité liée au drainage	<ul style="list-style-type: none"> • groupes hydrologiques (ruissellement et drainage)
	Vulnérabilité liée à la microtopographie	<ul style="list-style-type: none"> • présence de cuvettes
Présence de ruchers	Présence de ruchers	<ul style="list-style-type: none"> • nombre de ruchers
Perturbations	Autoroutes	<ul style="list-style-type: none"> • distance par rapport à une autoroute
	Routes provinciales	<ul style="list-style-type: none"> • distance par rapport à une route provinciale

Choix des pondérations et valeurs des facteurs et critères

Suivant le choix des facteurs, critères et indicateurs, un travail de consultation auprès de spécialistes en a été entrepris afin d'attribuer un poids à chaque indicateur, critère et ultimement à chaque facteur retenu pour en arriver au calcul d'indice global de risque par l'agrégation de toutes ces données.

Cette étape se devait à la fois de refléter l'importance de chaque indicateur, critère et facteur, mais également être en mesure de bien faire ressortir l'objectif de l'indice global, soit l'expression des endroits présentant un risque relativement plus élevé de mortalité des pollinisateurs et abeilles d'élevage dans la région de la Chaudière-Appalaches en lien avec l'utilisation des pesticides.

Ainsi, tout en tenant compte de l'évaluation de départ faite lors de la consultation avec les spécialistes en apiculture, de même que l'évaluation faite par le comité de travail, un document de consultation a été transmis à plusieurs spécialistes de différents domaines d'intervention (phytoprotection, horticulture, grandes cultures, apiculture, etc.) en lien avec le projet. Cette consultation avait pour but de prendre en considération les connaissances de chacun de ces experts quant à leur perception des différents facteurs et critères de risque

Les tableaux 6 à 8 présentent respectivement la liste des personnes qui ont été consultées, les informations transmises aux consultants et le tableau de consultation. De plus, afin d'appuyer les experts consultés dans leur démarche, deux documents leur ont aussi été remis. Le premier document concerne le niveau d'attrait des différentes cultures pour les pollinisateurs, alors que le second document de référence présente, pour chacune des cultures retenues, les principaux ravageurs contre lesquels des traitements phytosanitaires sont effectués, les produits les plus couramment utilisés et le nombre de traitement effectués au cours d'une saison type. Ces données sont issues d'une consultation menée par la Direction de la phytoprotection du MAPAQ et par Line Bilodeau mais doivent rester à usage restreint. Elles ne sont donc pas diffusées dans le présent document.

Rapport: Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

Tableau 6: Spécialistes consultés pour la pondération des indicateurs, des critères et des facteurs

Nom	Coordonnées
Christian Lacroix, agr.MBA, Conseiller régional en horticulture	Direction régionale de la Chaudière-Appalaches Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation 675, route Cameron, bureau 100 Sainte-Marie (Québec) G6E 3V7 Tel: 418 386-8116, poste 1524 Cell: 418 928-2093 Télec: 418 386-8345 christian.lacroix@mapaq.gouv.qc.ca
Danielle Bernier agr., Agronome-malherbologiste	Direction de la phytoprotection Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec (MAPAQ) 200 chemin Ste-Foy Québec, Qc, G6E 3V7 Tel : (418) 386-8116 poste 1521 Courriel : danielle.bernier@mapaq.gouv.qc.ca
Pierre Ayotte, technologiste agricole Conseiller en apiculture	Centre de services de Lévis Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation 5410, boul. Guillaume-Couture, bureau 77 Lévis (Québec) G6V 4Z2 Tél : 418 837-7105 poste 2960 Télec : 418 837-1138 Courriel: pierre.ayotte@mapaq.gouv.qc.ca
Dre Anne Leboeuf Médecin vétérinaire du MAPAQ	DSBEA, Direction de la santé et du bien-être des animaux, MAPAQ 200, chemin Sainte-Foy, 11e étage, Québec (Québec) G1R 4X6
Pierre-Antoine Thériault, agr., titre	Direction de l'agroenvironnement et du développement durable, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation 10e étage, 200 chemin Ste-Foy, Québec (Québec) G1R 4X6 tél.: 418-380-2150 poste 3178 télé.: 418-380-2163 Courriel : pierre-antoine.theriault@mapaq.gouv.qc.ca
Geneviève Labrie PhD., Biologiste-entomologiste	CÉROM 740, chemin Trudeau Saint-Mathieu-de-Beloeil (Québec) J3G 0E2 Canada Tel : 450-464-2715 poste 230 courriel : genevieve.labrie@cerom.qc.ca
Nicolas Tremblay, agr Conseiller apicole provincial	Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD) 120-A chemin du roy Deschambault, Qc G0A 1S0 (418) 286-3353 poste 224 cell: (418) 806-1311
Louis Robert, agr., Conseiller provincial en grandes cultures	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation Direction régionale Montérégie-Est 1355, rue Johnson Ouest, bureau 3300 Saint-Hyacinthe (Québec) J2S 8W7 (450) 778-6530 poste 6171 télécopie: (450) 778-6540 louis.robert@mapaq.gouv.qc.ca
Marie-Hélène April, agr. Coordonnatrice de la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture	Direction de l'agroenvironnement et du développement durable, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation 10e étage, 200 chemin Ste-Foy, Québec (Québec) G1R 4X6 tél.: 418-380-2150 poste 3178 télé.: 418-380-2163 marie-helene.april@mapaq.gouv.qc.ca

Rapport: Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

Tableau 7: Éléments du sondage transmis aux spécialistes, valeurs et pondérations attribuées suite au sondage

Facteurs	Importance relative par facteur (% attribué à chaque facteur: la somme doit éгалer 100%)	Critères	Indicateurs	Importance relative des indicateurs (Valeurs attribuées suite au sondage)
Diversité végétale	30%	Occupation du sol	<ul style="list-style-type: none"> • habitations (milieu urbain) • Interface forêt/champ • plans d'eau • milieux humides • friches • céréales • maïs • soya • prairies • framboises • fraises • vergers • pommes de terre • sapin de Noël • autres cultures 	
Exposition aux pesticides par voie aérienne	42%	Vulnérabilité liée à la culture	Céréales	1
			Maïs	4
			Soya	3
			Prairies	0
			Framboises d'automne	3
			Framboise standard	2
			Fraises d'automne	3
			Fraises standard	2
			Vergers	3
			pommes de terre	3
			sapin de Noël	3
			Autres cultures	2
		autres occupations du sol	0	
		Vulnérabilité liée à l'exposition aux vents dominants (avril à octobre)	<ul style="list-style-type: none"> • distance d'un brise-vent par rapport à une culture à risque • Nombre de jour avec vent > 10 km/h 	
Exposition aux pesticides par voie hydrique		Vulnérabilité liée à la culture	Céréales	1
			Maïs	4
			Soya	3
			prairies	0
			framboises	2
			Fraises	2
			vergers	2
			pommes de terre	2

Rapport: Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

Facteurs	Importance relative par facteur (% attribué à chaque facteur: la somme doit éгалer 100%)	Critères	Indicateurs	Importance relative des indicateurs (Valeurs attribuées suite au sondage)
	11%		sapin de Noël	2
	11%		autres cultures	1
			Autre occupation du sol	0
		Vulnérabilité liée au drainage	groupes hydrologiques (ruissellement)	
	Vulnérabilité liée à la microtopographie	<ul style="list-style-type: none"> présence de cuvettes 		
Présence de ruchers	0%, superposé	Présence de ruchers	<ul style="list-style-type: none"> nombre de ruchers 	
Perturbations	6%	Autoroutes Routes provinciale	<ul style="list-style-type: none"> Distance par rapport à une autoroute Distance par rapport à une route provinciale 	
Total	100%			

Rapport: Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

Tableau 8: Informations complémentaires transmises en support au processus de consultation.

Facteurs	Explication de la sélection du facteur	Critères	Calcul de l'indice	Classes
Diversité végétale	Ce critère veut représenter le manque de diversité végétale . Ce critère a été identifié par les apiculteurs comme étant celui qui peut aggraver le plus l'incidence des autres critères et affecter la santé des abeilles .	Occupation du territoire (Ex: maïs, couvert forestier....)	Indice mathématique de distribution des classes d'occupation du sol	0, 1, 2, 3, Ordre décroissant de diversité végétale
Exposition aux pesticides par voies aériennes	Ce critère fait référence à l'application des pesticides dans les cultures en général ainsi qu'au traitement des semences de certaines cultures avec des néonicotinoïdes. Le risque est associé à la possibilité de dérive des pesticides et à la présence de poussières de néonicotinoïdes dans l'air. Les cultures traitées avec des insecticides ont une plus grande incidence sur la santé des pollinisateurs de même que leur système de gestion des pesticides dans le temps. EPVA = Facteur culture X Facteur Vent	Vulnérabilité liée à la culture	Superficie (ha)de la culture X pondération du risque de la culture dans un rayon de recherche	0, 1, 2, 3, 4 Ordre croissant de pression du système de culture sur la santé des abeilles
		Vulnérabilité lié au vent (dérive)	Proximité d'un écran forestier (km) dans l'axe du vent dominant (mai-octobre)	0, 1, 2, 3, 4 Fonction de la distance d'un écran forestier x l'incidence de vents > 10 km/h
Exposition aux pesticides par voies hydriques	Les pollinisateurs s'abreuvent dans de petites flaques d'eau. Ainsi les lieux où il y a risque d'accumulation d'eau à l'intérieur d'une culture traitée avec des pesticides présentent un risque accru. EPVH = Facteur culture X Facteur Drainage X Facteur topographique	Vulnérabilité liée à la culture	Superficie (ha)de la culture X pondération du risque de la culture dans un rayon de recherche	0, 1, 2, 3, 4 Ordre croissant de pression du système de culture sur la santé des abeilles
		Vulnérabilité liée au groupe hydrologique des sols (Drainage)	Distribution du groupe hydrologique dans un rayon de recherche donné	0, 1, 2, 3, 4 Ordre croissant du groupe hydrologique (A:1, B:2, C:3, D:4; Plan d'eau:0)
		Vulnérabilité liée à la Présence de cuvettes (Micro-topographie)	Densité de la présence de cuvettes dans un rayon de recherche donné	0, 1, 2, 3, 4 Ordre croissant de la taille des cuvettes
Présence de routes	Seules les routes importantes sont ciblées. Elles augmentent le stress des abeilles qui sont alors davantage sensibles aux agresseurs.	autoroutes	Tampon de 1 km dans un rayon de recherche	0 (aucune), 2 (route numérotée), 4 (autoroute)
		Routes numérotées	Tampon de 0,5 km dans un rayon de recherche	

Rapport: Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

Facteurs	Explication de la sélection du facteur	Critères	Calcul de l'indice	Classes
Densité de la population de ruches	Ce critère est associé davantage au nombre d'abeilles dont la santé peut être affectée par leur environnement et le nombre de mortalité.	Nombre de ruches	Nb ruches dans un rayon de recherche donné	n/a

Élaboration du SIG, et traitements spatiales des données

L'élaboration du SIG a consisté à traiter les données et les agréger afin de produire un indice de risque global de sensibilité des pollinisateurs aux risques d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants sur le territoire de la Chaudière-Appalaches. Les zones sont exprimées suivant une classification croissante du risque de 0 à 4, et illustrés suivant un code de couleur.

Différentes sources de données géospatiales ont été mises à profit dans l'expression des différents indicateurs retenus. Compte tenu d'un échéancier de réalisation très serré (9 semaines), la réalisation du SIG a mis à profit uniquement les données géospatiales disponibles en format électronique, tout processus de numérisation de nouvelles données étant exclu. Le tableau 9 identifie, les sources de données géospatiales mises à profit dans le calcul de chaque critère. Le tableau 10 énumère pour sa part les méthodes de calcul retenues pour chacun des critères.

Le calcul de certains critères ont requis plusieurs sources de données et diverses itérations. Le critère d'utilisation du sol représentant la biodiversité a notamment nécessité plusieurs traitements. Les données géoréférencées 2011-2014 des cultures de la FADQ (Financière agricole du Québec) incluaient par exemple les cultures de framboises, de fraises d'automne et d'été, de pomme de terre, de sapin de Noël dans des catégories très larges. Ces cultures étaient cependant identifiées comme présentant un risque accru en regard des interventions phytosanitaires suscitées et de leur attrait pour le butinage des pollinisateurs. Des recherches ont été requises pour géoréférencer sur le territoire l'emplacement le plus probable de ces productions.

De même, la réalisation du projet a profité d'une cartographie complète de l'utilisation du sol réalisée par l'IRDA dans le cadre du projet PACES de Chaudières-Appalaches (Lefebvre et al., 2014) pour la majeure partie du territoire de la Chaudière-Appalaches. Cependant une portion du territoire manquait. La représentation complète du territoire a donc nécessité une étape d'agrégation de la carte écoforestière du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec et de celle des cultures telle que fournie par la FADQ.

Rapport: Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

Tableau 9: Liste des sources et traitements des données géospatiales.

Critères	Données géospatiales	Traitements des indicateurs
Occupation du sol	<ul style="list-style-type: none"> • Carte écoforestière, MFFP. • Données de cultures dé-nominalisées 2011-2014, FADQ. • Localisation des unités d'évaluation des producteurs commerciaux de sapins de Noël, (Direction régionale MAPAQ ,Estrie) • Adresses de producteurs de fraises d'automne (MAPAQ) • Données dé-nominalisées des cultures 2013 de pomme de terre et fraises été et automne, FADQ. 	<ul style="list-style-type: none"> • Jointure des différentes sources cartographiques pour créer une carte d'utilisation du sol unique. • Attribution d'un code unique à chaque culture.
Vulnérabilité liée à la culture	<ul style="list-style-type: none"> • Carte écoforestière, MFFP. • Données de cultures dé-nominalisées 2011-2014, FADQ. • Données de cultures dé-nominalisées 2011-2014, FADQ. Localisation des unités d'évaluation des producteurs commerciaux de sapins de Noël, (Direction régionale MAPAQ ,Estrie) • Adresses des producteurs de fraises d'automne • FADQ, pomme de terre et fraises été et automne, données dé-nominalisées. 	<ul style="list-style-type: none"> • Création de deux cartes d'occupation du sol : une liée à la dérive éolienne, la seconde à la dérive hydrique. • Reclassement des codes uniques de 0 à 4 selon les scores établis lors des consultations
Vulnérabilité liée à l'exposition aux vents dominants (avril à octobre)	<ul style="list-style-type: none"> • Carte Écoforestière, MFFP • Données des stations météorologiques d'Environnement Canada 	<ul style="list-style-type: none"> • Détermination des écrans forestiers dans le paysage régional • Intégration de l'incidence des vents > 10km/h pour l'ensemble du territoire et pour 8 directions. • Multiplication de la distance à l'écran forestier avec l'incidence des vents. • Reclassement en fonction de la distribution des résultats régionaux
Vulnérabilité liée au drainage	<ul style="list-style-type: none"> • Rapports pédologiques de Chaudière-Appalaches, sources variées • URH (Unité Réponse Hydrologique), IRDA 	<ul style="list-style-type: none"> • Agrégations des données pédologiques régionales • Jointure entre les groupes hydrologiques et les séries de sols.
Vulnérabilité liée à la microtopographie	<ul style="list-style-type: none"> • Cuvettes dérivées des Modèles Numériques de Terrain(MNT) de Chaudière-Appalaches. 	<ul style="list-style-type: none"> • Extraction des cuvettes du MNT en fonction • Classification des cuvettes en fonction de leurs superficies
Présence de ruchers	<ul style="list-style-type: none"> • Géolocalisation des ruchers de Chaudière-Appalaches, MAPAQ, 2013. 	<ul style="list-style-type: none"> • Création d'une zone tampon de 3km autour des emplacements des ruchers, • Superposition des zones de butinage des ruches
Autoroutes et routes provinciale	<ul style="list-style-type: none"> • Carte des réseaux routiers de la région de la Chaudière Appalaches. 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolement des autoroutes et des routes secondaires • Attribution d'un score dans une zone tampon déterminée selon le type de route

Rapport: Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

Tableau 10: Méthode de calcul des critères

Critères	Calcul des critères	Classification des indicateurs
Occupation du territoire (Ex: maïs, couvert forestier....)	Indice mathématique de distribution des classes d'occupation du sol	0, 1, 2, 3, Ordre décroissant de diversité végétale
Vulnérabilité liée à la culture	Superficie (ha) de la culture X pondération du risque de la culture dans un rayon de recherche	0, 1, 2, 3, 4 Ordre croissant de pression du système de culture sur la santé des abeilles
Vulnérabilité liée au vent (dérive)	Proximité d'un écran forestier (km) dans l'axe du vent dominant (mai-octobre)	0, 1, 2, 3, 4 Fonction de la distance d'un écran forestier x l'incidence de vents > 10 km/h
Vulnérabilité liée à la culture	Superficie (ha) de la culture X pondération du risque de la culture dans un rayon de recherche	0, 1, 2, 3, 4 Ordre croissant de pression du système de culture sur la santé des abeilles
Vulnérabilité liée au groupe hydrologique de sol (Drainage)	Distribution du groupe hydrologique dans un rayon de recherche donné	0, 1, 2, 3, 4 Ordre croissant du groupe hydrologique (A:1, B:2, C:3, D:4; Plan d'eau:0)
Vulnérabilité liée à la Présence de cuvettes (Micro-topographie)	Taille des cuvettes	0, 1, 2, 3, 4 Ordre croissant de la taille des cuvettes
Autoroutes	Tampon de 0,5 km pour les routes numérotées et de 1 km pour les autoroutes.	0 (aucune), 2 (route numérotée), 4 (autoroute)
Routes numérotées	Tampon de 0,5 km dans un rayon de recherche	
Nombre de ruches	Nb ruches dans un rayon de recherche donné	n/a

Calcul de l'indice final

Une valeur numérique pour chacun des facteurs a été obtenue par le produit de leurs critères respectifs. La pondération des facteurs suivant les poids exprimés au tableau 7 a permis la représentation spatiale d'un indice de risque global.

La présente section commente la procédure de représentation spatiale de chaque facteur contribuant à l'indice global du risque.

Facteur de diversité végétale:

La représentation de la diversité florale dans le paysage est exprimée sur la base de la distribution des différentes classes d'occupation du sol, qui se sont vues attribuées différentes valeurs (de « 0 » à « 4 »). L'influence d'une culture donnée est donc traduite par sa distribution (importance quantitative) et sa qualité. Ainsi, une occupation du sol à forte incidence sur les pollinisateurs peut ainsi voir son effet atténué par une faible superficie. Les cultures de fruits par exemple (fraises, framboises, vergers,...) se retrouvent généralement en faibles superficies. Or, leur impact est important sur les abeilles compte tenu de l'attrait que représentent leurs inflorescences, de même que de la toxicité élevée et de l'importance des volumes d'insecticides généralement appliqués. Dans le cadre d'une carte de risque intégrant différents facteurs, ces cultures peuvent alors apparaître sous représentées, surtout dans l'optique d'un outil d'aide à la décision pour les apiculteurs. Conséquemment à leurs petites superficies incluses dans le paysage agricole, elles augmentent la diversité du paysage, ce qui amenuise leur impact.

Il est aussi important de noter que la valeur de l'indicateur attribuée à une culture donnée reflète les pratiques culturales généralement associées à la régie de culture conventionnelle. Par exemple, l'usage des semences traitées aux néonicotinoïdes est ici considéré comme systématique dans la culture de maïs. Aussi, les superficies sous régie biologique, où les pesticides chimiques de synthèse sont proscrits, ne sont pas intégrées dans cette carte compte tenu du manque d'informations géoréférencées à ce sujet.

Il faut également considérer que les indices produits sont appelés à varier au fil des années, surtout dans les secteurs fortement représentés par des cultures annuelles. L'indice représente donc un portrait instantané de la situation. Notons par ailleurs que l'indice élaboré ne tient pas compte des zones de transition entre différentes occupations du sol, souvent colonisées par d'autres espèces florales qui diversifient l'offre florale aux pollinisateurs. Enfin, l'indice ne tient pas compte de l'attrait et du potentiel mellifère d'une occupation de sol donnée, ce qui signifie qu'une zone identifiée comme étant moins à risque pour les pollinisateurs n'est pas forcément optimale en regard de la production de miel. La figure 1 illustre la représentation du facteur diversité végétale pour un secteur circonscrit de la région à l'étude, soit les alentours de la municipalité de St-Isidore.

Tableau 11: Légende illustrant la diversité végétale

Couleur		description	classes
	rouge	Zone ayant peu de diversité végétale	4
	orangé		3
	jaune		2
	vert		1
	Aucune couleur	Zone ayant une forte diversité végétale	0

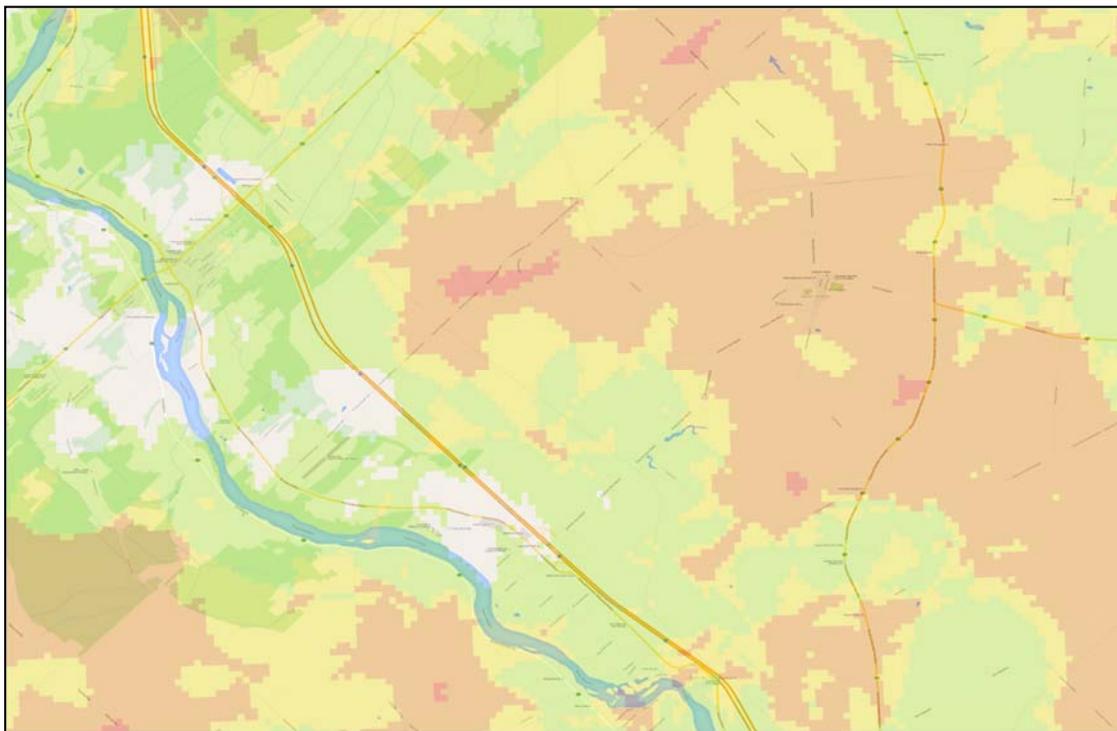


Figure 1 : Représentation spatiale de la diversité végétale

Exposition aux pesticides par voies aériennes

Tel que mentionné précédemment, ce facteur est une agrégation de deux critères, les cultures et l'impact des vents. Pour ce dernier critère, il a été possible de générer un indice de dérive éolienne des pesticides grâce aux informations disponibles de la carte écoforestière du MRF qui identifiait la présence de boisés et des données des stations météo pour le calcul d'un indice des vents. En conséquence, pour un point donné, l'indice a été calculé en multipliant la distance de ce point par rapport à un écran forestier avec le pourcentage de temps où les vents soufflent à plus de > 10km/h durant la période active des pollinisateurs (avril à octobre) et ce, pour la sommation de 8 points cardinaux. La période considérée a été de mai à septembre (tableau 9). Il faut préciser que la présence de haies brise-vent plantées n'est pas négligeable dans l'atténuation de cette dérive. Or, cette information n'est pas colligée au plan spatial. L'impact de ces haies n'a donc pas été pris en compte. La figure 2 illustre la représentation du facteur d'exposition aux pesticides par voie aérienne pour un secteur circonscrit de la région à l'étude.

Tableau 12: Légende illustrant l'exposition aux pesticides par voie aérienne

Couleur		description	classe
	rouge	Zone ayant le plus de risques de contamination par voie aérienne	4
	orangé		3
	jaune		2
	vert		1
	Aucune couleur	Zone présentant peu de risque	0

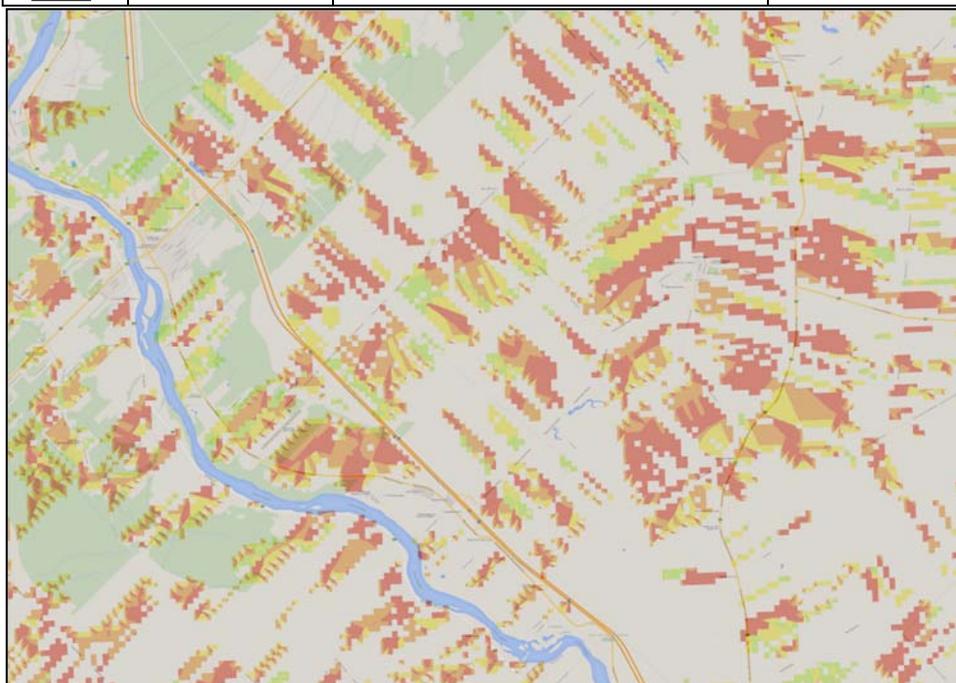


Figure 2: Représentation spatiale d'exposition aux pesticides par voie aérienne

Exposition aux pesticides par voie hydrique

Ce facteur a été représenté en début de projet par trois critères, soit les cultures, la présence de cuvettes (figure 4) et la qualité du drainage (figure 3). Cependant, suite à des discussions en cours de projet, ces deux derniers critères ont par la suite été *chacun* mis en relation avec la culture présente à un point donné pour faciliter l'ajustement potentiel du modèle. La qualité du drainage a été classifiée en fonction des groupes hydrologiques (A-B-C-D et 0). Les classes obtenues ont été multipliées par les valeurs attribuées aux cultures (tableau 7). L'incidence des cuvettes par rapport au risque a été classifiée en fonction de leur taille et multipliée par les valeurs attribuées aux cultures. Nous avons obtenu ultimement deux critères qui ont été pondérés et multipliés pour l'attribution d'une valeur au facteur d'exposition aux pesticides par voie hydrique.

Tableau 13: Légende illustrant le critère drainage

Couleur		description	classe
	Rouge	Zones ayant le plus de risque de contamination compte tenu du groupe hydrologique (qualité du drainage)	4
	Orangé		3
	Jaune		2
	Vert		1
	Aucune couleur	Zones présentant peu de risque	0

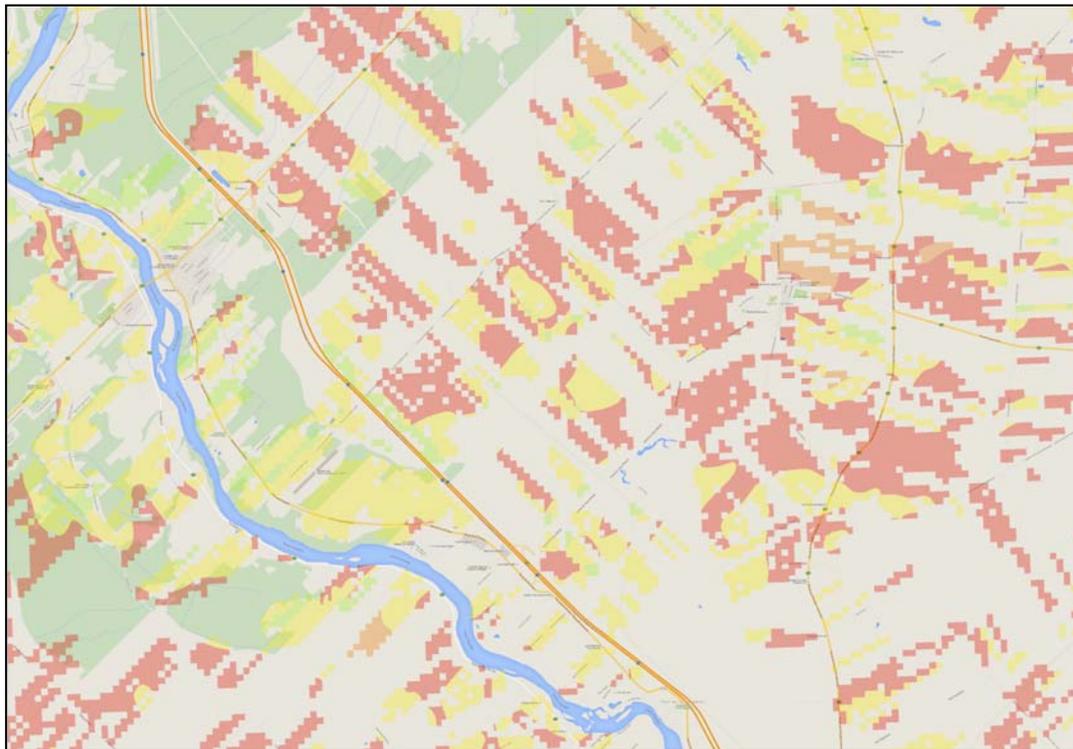


Figure 3: Représentation spatiale du critère drainage

Tableau 14: Légende illustrant le critère de la présence de cuvettes

Couleur		description	Classe
	rouge	Zones ayant le plus de risque de contamination par la présence de microdépressions	4
	orangé		3
	jaune		2
	vert		1
	Aucune couleur	Zones présentant peu de risque	0



Figure 4: Représentation spatiale du critère indiquant la présence de cuvettes

Représentation spatiale indiquant les perturbations (routes)

Cette couche d'information est simplement calculée en attribuant les valeurs suivantes : 0 (aucune), 2 (route numérotée), 4 (autoroute) et en appliquant une zone tampon de 500 mètres pour les routes numérotées et de 1 kilomètre pour les autoroutes (figure 5).

Tableau 15: Légende illustrant les perturbations (routes)

Couleur		Description	Classe
	rouge	Zone avec autoroute	4
	jaune	Zone avec routes numérotées	2
	Aucune couleur	Autres routes	0

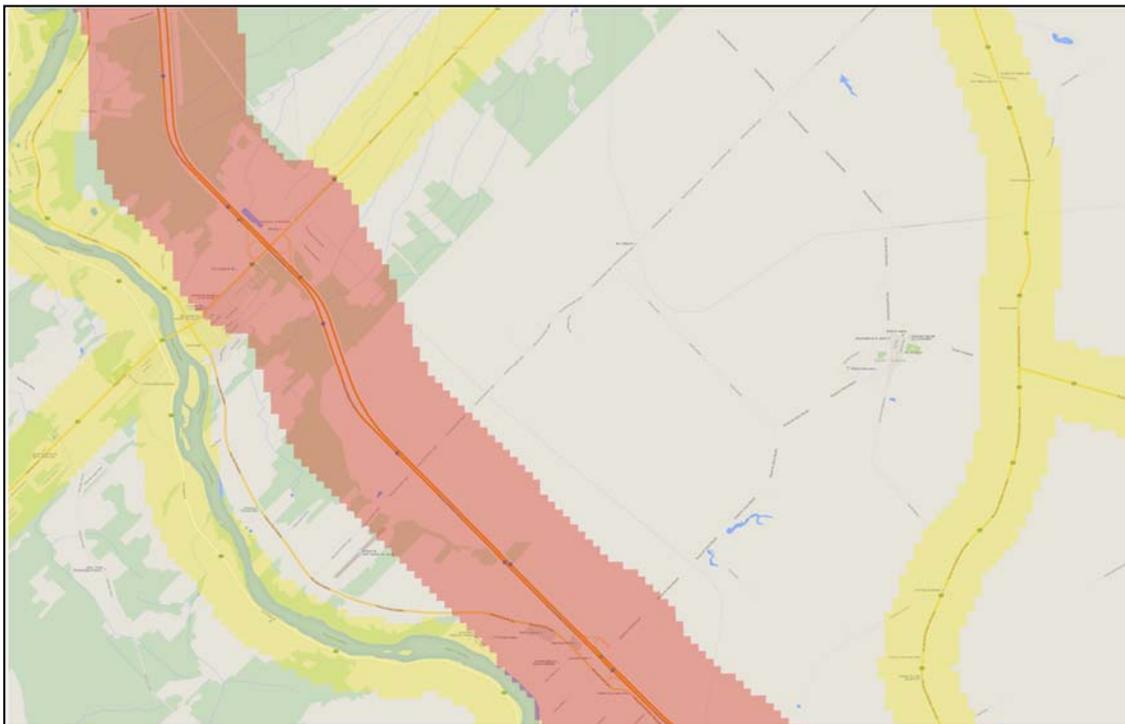


Figure 5: Représentation spatiale indiquant les perturbations (routes)

Indice global de sensibilité des pollinisateurs aux risques d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

La figure 6 illustre l'indice global de sensibilité des pollinisateurs aux risques d'exposition aux pesticides et aux autres facteurs aggravants en tenant compte des pondérations illustrées dans le tableau 7.

Tableau 16: Légende illustrant l'indice global

Couleur		description	classe
	Rouge	Indice de risque pour la santé des pollinisateurs élevé	4
	Orangé		3
	Jaune		2
	Vert		1
	Aucune couleur	Peu de risque	0

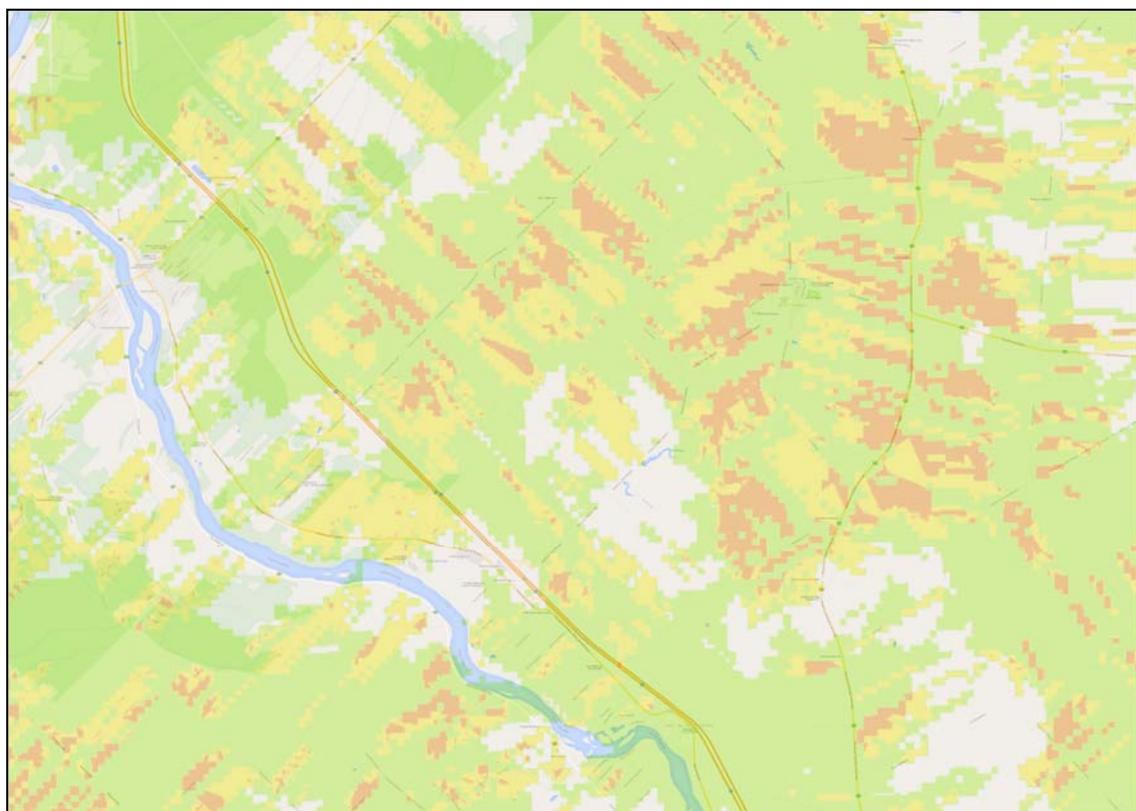


Figure 6: Représentation spatiale de l'indice global.

Représentation spatiale de la présence des ruchers

Cette couche d'information ne fait pas partie de l'indice final de risque, mais vient se superposer à l'indice de risque environnemental. Elle s'exprime par une gradation de l'intensité de couleur en lien avec le nombre de ruches pour lesquelles les abeilles exploreront une zone de 3 km autour d'un rucher (figure 7).

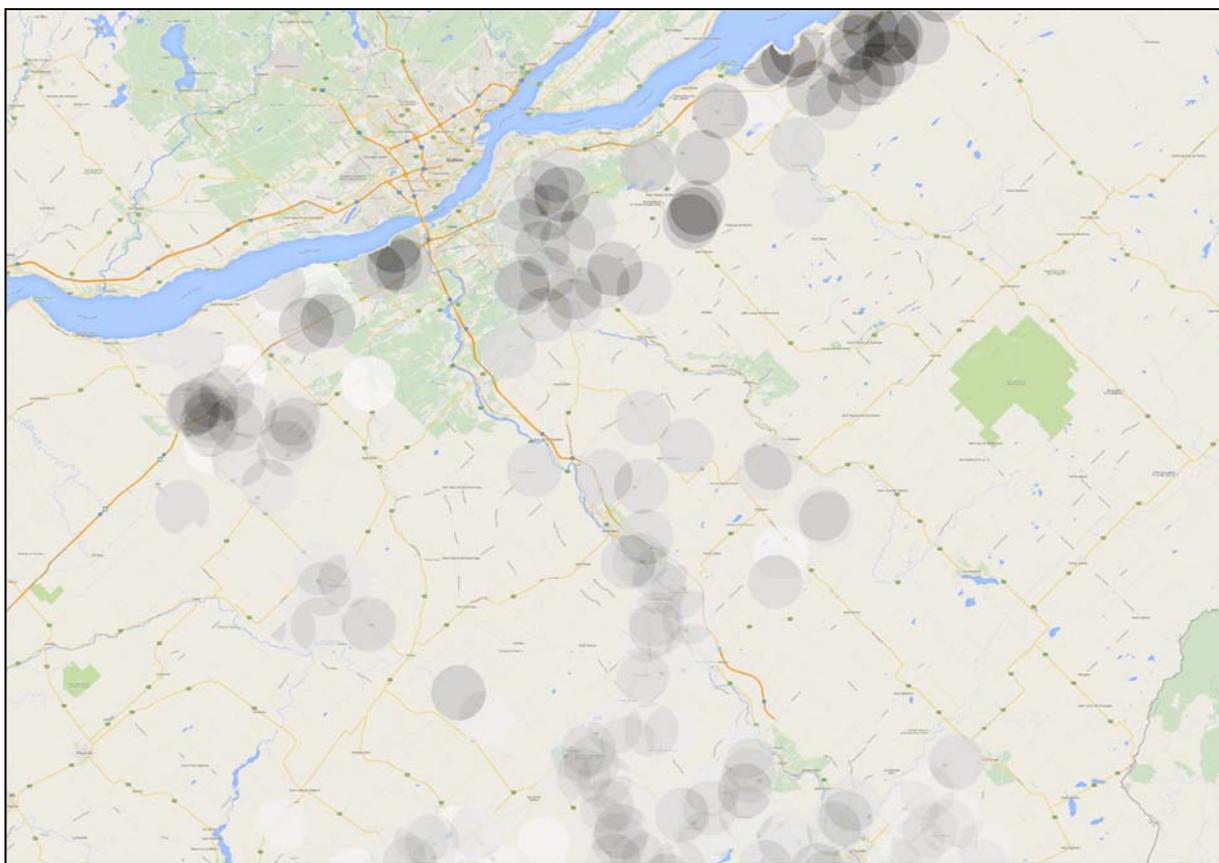


Figure 7: Représentation spatiale de la présence de ruchers

Limitations du modèle

La présente carte se veut une expression visuelle et géoréférencée des risques environnementaux qui peuvent influencer la santé des pollinisateurs. Bien qu'elle puisse indiquer aux apiculteurs de Chaudière-Appalaches des sites plus ou moins propices à l'emplacement de leurs ruchers, il ne s'agit en aucun cas d'un outil déterminant le potentiel d'un site à la production mellifère.

De plus, comme il s'agit d'une cartographie couvrant l'ensemble du territoire de Chaudière-Appalaches et que le traitement des données couvre de très petites superficies (ex : cuvettes), le travail a été réalisé avec des résolutions très fines, de l'ordre de 8 m. Certains phénomènes très locaux sont distribués de façon éparse sur l'ensemble du territoire et s'expriment difficilement lorsqu'on consulte la carte à

l'échelle régionale ou municipale. On perd alors certaines informations d'intérêt lorsqu'on s'intéresse à une vue d'ensemble.

Aussi, rappelons que la présente carte repose sur les données d'utilisation du sol de 2014, qui sont appelées à changer au fil des ans. Par contre, compte tenu que la rotation des cultures s'exercent généralement à l'échelle d'une entreprise agricole, il est convenu que le présent exercice répond à l'objectif de cibler, au plan spatial, les zones de la région où la santé des abeilles est la plus vulnérable.

Dans la perspective d'améliorer le produit final et de livrer un SIG qui se prête à une diffusion au grand public, les auteurs ont formulé les recommandations suivantes de modifications à apporter au présent modèle :

- **Pratiquer un ré-échantillonnage des couches d'entrée du SIG et lissage**

Le modèle cartographique utilisé pour produire la carte de sensibilité des pollinisateurs est basé sur une combinaison linéaire des indices de vulnérabilité (diversité végétale, exposition aux pesticides par voie éolienne et hydrique et perturbations). Les pixels de ces images d'indices n'ont pas la même taille puisqu'ils sont issus de nombreuses opérations de traitement. Le ré-échantillonnage des indices est donc nécessaire pour les mettre à la même résolution. Certaines données vont subir un lissage pour ressortir de l'information et réduire les artéfacts.

- **Homogénéiser les processus de classification**

Pour la classification de ces indices à cinq classes (0 à 4), certains systèmes de classification sont d'intervalles géométriques (par exemple la diversité végétale) et d'autres d'intervalles égaux (par exemple les groupes hydrologiques). Une homogénéisation de la classification est nécessaire pour ne pas imposer de biais dans la classification finale.

- **Recompilation du modèle**

Une fois ces traitements effectués, le modèle serait recompilé avec les poids associés à chacun des indices. À cette étape, l'approche additive et l'approche multiplicative seraient évaluées pour analyser la discrimination spatiale des indices de vulnérabilité.

- **Analyse de sensibilité du modèle**

Une analyse de sensibilité en fonction des différentes méthodes d'agrégation des paramètres (les deux approches) serait effectuée. À cette étape, la nécessité de l'utilisation de tous les indices de vulnérabilité sera étudiée. Deux tests de sensibilité seront faits.

Conclusion

L'établissement des valeurs et des pondérations des critères et facteurs a permis de générer une première version du modèle de la carte des zones de sensibilité, du territoire de la Chaudière-Appalaches, au risque d'exposition des pollinisateurs aux insecticides et autres facteurs aggravants.

Ce modèle doit cependant profiter d'une analyse de sensibilité, être validé auprès d'experts et d'utilisateurs, et enfin subir un traitement plus raffiné des fonctions de visualisation des indices. Ce projet est une première étape qui permettra à terme de situer les endroits de plus forte densité de ruchers où le potentiel de mortalité des abeilles est le plus élevé. Elle sera également un outil précieux pour les apiculteurs dans le choix de nouveaux sites d'exploitations. Elle pourra par la suite être diffusée et utilisée par les apiculteurs et toutes personnes intéressées par l'amélioration de la santé des pollinisateurs.

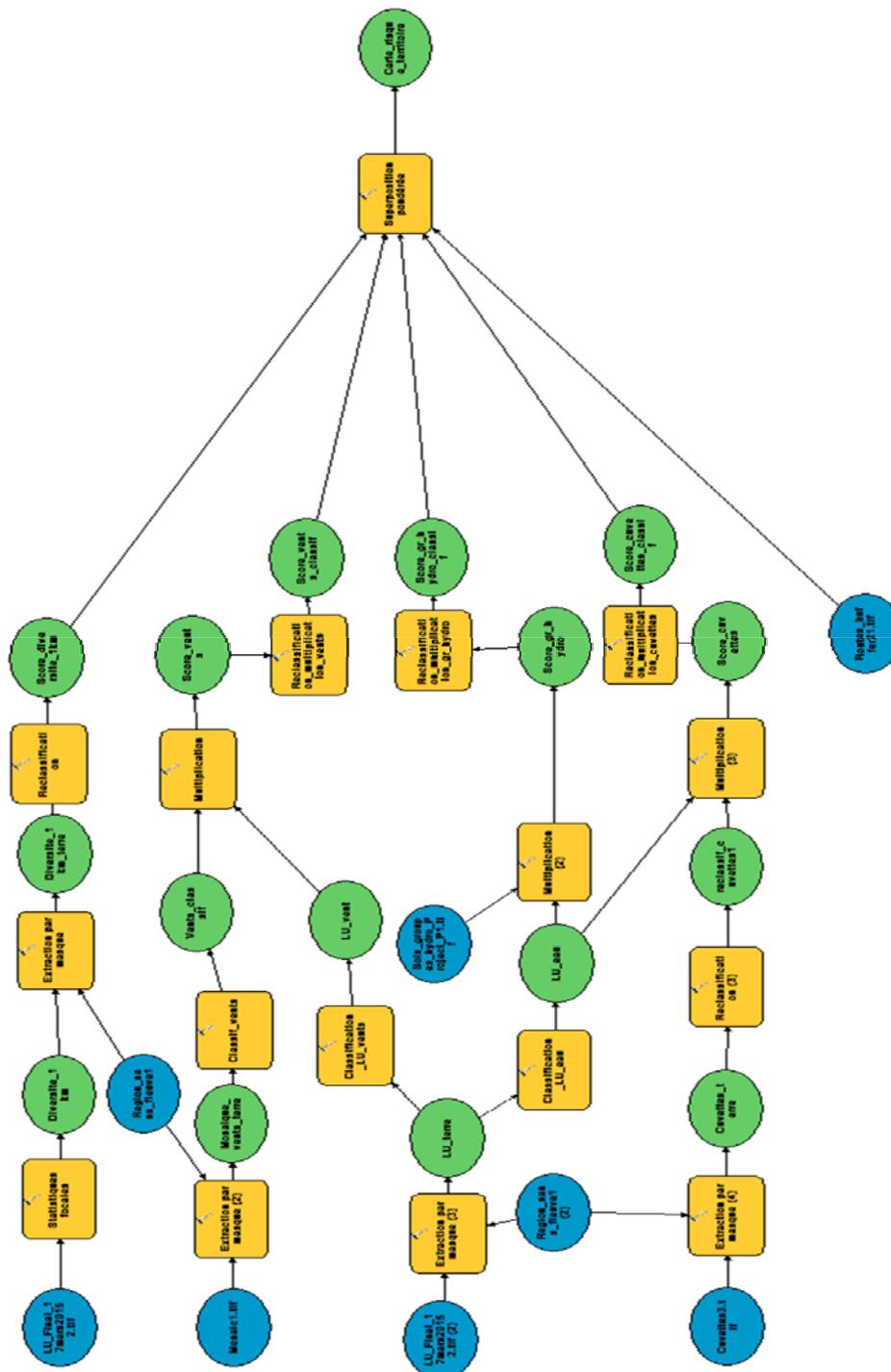
Bibliographie

- Agriculture et Agroalimentaire Canada. (2014) *Les insectes pollinisateurs indigènes et l'agriculture au Canada*. (n.d.).
- Chagnon, M. (2008). Causes et effets du déclin mondial des pollinisateurs et les moyens d'y remédier. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53, 1689–1699.
<http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Di Pasquale G, Salignon M, Le Conte Y, Belzunces LP, Decourtye A, Kretzschmar A, et al. (2013) Influence of Pollen Nutrition on Honey Bee Health: Do Pollen Quality and Diversity Matter? *PLoS ONE* 8(8): e72016. Doi:10.1371/journal.pone.0072016
- Fournier, V., & Ph, D. (2013). Les néonicotinoïdes en grandes cultures : pertinence agronomique et impacts environnementaux.
- Grixti, J. C., Wong, L. T., Cameron, S. a., & Favret, C. (2009). Decline of bumble bees (*Bombus*) in the North American Midwest. *Biological Conservation*, 142(1), 75–84.
<http://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.09.027>
- Lefebvre, R., Ballard, J.-M., Carrier, M.-A., Vigneault, H., Beaudry, C., Berthot, L., Légaré-Couture, G., Parent, M., Laurencelle, M., Malet, X., Therrien, A., Michaud, A., Desjardins, J., Drouin, A., Cloutier, M.H., Grenier, J., Bourgault, M.-A., Larocque, M., Pellerin, S., Graveline, M.-H., Janos, D. et Molson, J. (2015) Portrait des ressources en eau souterraine en Chaudière-Appalaches, Québec, Canada. Projet réalisé conjointement par l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA) et le Regroupement des organismes de bassins versants de la Chaudière-Appalaches (OBV-CA) dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES), Rapport final INRS R-1580, soumis au MDDELCC en mars 2015.
- OMAFRA. (2015) *Stratégie pour la santé des pollinisateurs*, Adresse URL : <http://www.omafra.gov.on.ca/french/pollinator/meeting-reg.htm> [En ligne] (Page consultée le 15 mars 2015)
- Pettis, J. S., Lichtenberg, E. M., Andree, M., Stitzinger, J., Rose, R., & vanEngelsdorp, D. (2013). Crop Pollination Exposes Honey Bees to Pesticides Which Alters Their Susceptibility to the Gut Pathogen *Nosema ceranae*. *PLoS ONE*, 8(7), e70182. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0070182>
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345–353.
<http://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>

Samson-Robert, O., Labrie, G., Chagnon, M., & Fournier, V. (2014). Neonicotinoid-Contaminated Puddles of Water Represent a Risk of Intoxication for Honey Bees. *PLoS ONE*, 9(12), e108443.
<http://doi.org/10.1371/journal.pone.010844>

Annexes

Chaîne d'opérations du SIG



Rapport: Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

Couches d'entrées :

Entrées de la carte	Répertoires consultés
LandUse (utilisation du sol)	Carte écoforestière, MFFP
	Données de cultures dénominalisées 2011-2014, FADQ
	Localisation des unités d'évaluation des producteurs commerciaux de sapins de Noël, DRE (Direction régionale Estrie) - MAPAQ
Mosaïque des vents	<ul style="list-style-type: none"> - Carte Écoforestière, MFFP - Données des stations météorologiques (Confirmer avec Abou ou Aubert...)
Groupes hydrologiques	Rapports pédologiques de Chaudière-Appalaches, sources variées
	URH (Unité Réponse Hydrologique), IRDA
Cuvettes	Issues des Modèles Numériques de Terrain(MNT) de Chaudière-Appalaches. (voir avec Aubert, je crois qu'ils ont complété avec une autre source)
Localisation et population des ruchers	Consultation par le CRSAD auprès des apiculteurs de Chaudière-Appalaches. Information exclusive au MAPAQ.

Une classification constante des critères avec des pointages de 0 à 4.

La carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et aux autres facteurs aggravants et le rapport ont été réalisés par :

Hélène Moore, agronome, M.Sc.

Club de fertilisation de la Beauce,

111C rue Principale, Sainte-Hénédine, Qc

GOR 2S0

Tel: 418-935-3531

Teléc.: 418- 935-7288

Courrier électronique: clfb@globetrotter.net

Charles Fournier-Marcotte, agronome

Club de fertilisation de la Beauce,

111C rue Principale, Sainte-Hénédine, Qc

GOR 2S0

Tel: 418-935-3531

Teléc.: 418- 935-7288

Courrier électronique: clfb@globetrotter.net

Aubert Michaud, Ph. D.

IRDA

2700, rue Einstein

Québec (Québec) G1P 3W8

Tél.: 418 643-2380

Teléc.: 418 644-6855

aubert.michaud@irda.qc.ca

Mohamed Abou Niang, Ph.D.

IRDA

2700, rue Einstein

Québec (Québec) G1P 3W8

Tél.: 418 643-2380

Teléc.: 418 644-6855

mohamed.niang@irda.qc.ca

Comité d'experts scientifiques et techniques ayant contribué au guide et à la carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et aux autres facteurs aggravants :

Line Bilodeau, agr., M.Sc. Conseillère régionale en grandes cultures

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Jean-François Guay, Ph.D.Sc.Env., Analyse principal – Aménagement du territoire/Planification territoriale, Spécialiste en aide multicritère à la décision/analyse prospective/modélisation et analyse spatiale SIG

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Annie Goudreau, agr. Conseillère régionale en agroenvironnement

Rapport: Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et autres facteurs aggravants

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Nicolas Tremblay, agr. Conseiller provincial en apiculture

CRSAD

Christian Lacroix, agr.MBA, Conseiller régional en horticulture

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Danielle Bernier agr., Agronome-malherbologiste

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Pierre Ayotte, technologiste agricole, Conseiller en apiculture

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Dre Anne Leboeuf, Médecin vétérinaire

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Pierre-Antoine Thériault, agr.

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Geneviève Labrie PhD., Biologiste-entomologiste

CÉROM

Louis Robert, agr., Conseiller provincial en grandes cultures

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Marie-Hélène April, agr., Coordinatrice de la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Ce projet a été réalisé dans le cadre du Programme Prime-Vert, sous-volet 3.1 – Approche régionale avec une aide financière du Ministère de l'agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

Les documents peuvent être cités comme suit :

Moore, H., Fournier-Marcotte, C., Michaud, A., Niang, M. 2015. *Carte de sensibilité des pollinisateurs au risque d'exposition aux pesticides et aux autres facteurs aggravants.*