

Des femmes, des hommes, des régions, **nos ressources...**



**Influence multi-échelle des composantes environnementales
sur la probabilité de capture et l'abondance des ratons laveurs
et des mouffettes rayées en Montérégie et en Estrie**

Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats (DEFH)

**Influence multi-échelle des composantes environnementales
sur la probabilité de capture et l'abondance des rats
laveurs et des mouffettes rayées en Montérégie et en Estrie**

par

Mélina Houle

Daniel Fortin

et

Julien Mainguy

Département de biologie, Université Laval

Service de la biodiversité et des maladies de la faune,
Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats,
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

Novembre 2011

Résumé

La découverte d'un raton laveur (*Procyon lotor*) atteint de la rage de la souche virale du raton laveur en Montérégie en 2006 a incité les autorités gouvernementales à mettre sur pied un programme visant à contrôler l'expansion de ce variant du virus, principalement dans les populations de ratons laveurs et de mouffettes rayées (*Mephitis mephitis*), par des opérations de vaccination dans le sud du Québec. L'efficacité de ces opérations repose en bonne partie sur la connaissance de l'écologie et de la densité des populations visées. Lors de l'étude de couverture vaccinale menée en septembre et octobre 2008 dans les secteurs de Boucherville (Montérégie) et de Coaticook (Estrie), l'emplacement des cages de capture a été noté, ce qui a permis d'examiner la relation entre les composantes environnementales et le succès de capture de chacune des deux espèces ciblées. Ce rapport fait tout d'abord état des connaissances actuelles dans la littérature scientifique sur l'utilisation de l'habitat par les deux espèces de mammifères, pour ensuite étudier le lien potentiel entre les composantes environnementales mesurées à différentes échelles spatiales et la probabilité de capture des ratons laveurs et des mouffettes rayées dans une cage dans les deux secteurs ciblés. Il examine ensuite si les composantes environnementales prédisant le mieux la probabilité de capture sont également associées au nombre de captures obtenu dans une cage. Finalement, ce rapport vérifie l'influence de la composition et de la structure du paysage sur l'abondance des captures obtenues dans un terrain de piégeage. La connaissance des caractéristiques du paysage associées à de fortes densités d'animaux constituant des vecteurs potentiels de la rage du raton laveur pourrait entre autres permettre de mieux orienter l'épandage aérien des appâts vaccinaux, notamment en augmentant les densités d'appâts dans les secteurs montrant des densités potentiellement élevées d'animaux afin de maximiser le nombre d'entre eux qui auront accès aux appâts.

Référence à citer :

HOULE, M., D. FORTIN ET J. MAINGUY (2011). Influence multi-échelle des composantes environnementales sur la probabilité de capture et l'abondance des ratons laveurs et des mouffettes rayées en Montérégie et en Estrie. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats. 26 p.

© Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2011
ISBN : 978-2-550-63606-9 (version imprimée)
978-2-550-63607-6 (PDF)

Table des matières

Introduction	1
Méthodologie.....	4
Aire d'étude.....	4
Capture des animaux.....	4
Échelles spatiales et composantes environnementales.....	5
Analyses statistiques	7
<i>Probabilité de capture de rats laveurs et de mouffettes rayées</i>	7
<i>Relation entre les composantes environnementales influençant la probabilité et le nombre de captures chez le raton laveur et la mouffette rayée</i>	8
<i>Composantes environnementales influençant l'abondance des captures de rats laveurs et de mouffettes rayées dans un terrain de piégeage</i>	9
Résultats	10
Probabilité de capture de rats laveurs et de mouffettes rayées	10
Relation entre les composantes environnementales influençant la probabilité et le nombre de captures dans une cage chez le raton laveur et la mouffette rayée	13
Composantes environnementales influençant l'abondance des captures de rats laveurs et de mouffettes rayées dans un terrain de piégeage.....	16
Discussion.....	18
Conclusion et recommandations	21
Remerciements	22
Références bibliographiques.....	23
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	v

Liste des figures

- Figure 1 Emplacement des terrains de piégeage utilisés lors des études de couverture vaccinale menées en Montérégie et en Estrie à l'automne 2008. Les terrains de piégeage étaient situés dans les secteurs de Boucherville (Montérégie) et de Coaticook (Estrie). L'emplacement des cages à l'intérieur de chacun des terrains de piégeage est marqué par des points noirs 4

Liste des tableaux

Tableau 1	Variables prédictives utilisées pour estimer la probabilité et le nombre de captures de rats laveurs et de mouffettes rayées obtenu à la suite des opérations de contrôle de la rage dans les secteurs de Boucherville et de Coaticook à l'automne 2008.....	6
Tableau 2	Modèles candidats utilisés pour décrire la probabilité et le nombre de captures de rats laveurs et de mouffettes rayées obtenues dans une cage lors de l'étude de couverture vaccinale menée dans les secteurs de Boucherville et de Coaticook à l'automne 2008. Le numéro du modèle (N^0), le nom, la structure et le nombre total de paramètres (K), incluant l'ordonnée à l'origine, sont présentés.....	8
Tableau 3	Sélection de modèles par la méthode de l'AIC afin de déterminer parmi les modèles candidats celui qui décrit le mieux la probabilité de capture des rats laveurs et des mouffettes rayées aux trois échelles spatiales étudiées.....	11
Tableau 4	Estimations des coefficients (β) et des intervalles de confiance (95 % IC) obtenues par le modèle de régression logistique décrivant le mieux la probabilité de capture des rats laveurs et des mouffettes rayées à chacune des échelles spatiales étudiées. Les variables en caractère gras ont une valeur de coefficient dont l'intervalle de confiance exclut 0.....	12
Tableau 5	Sélection de modèles par la méthode de l'AIC afin de déterminer parmi les modèles candidats celui qui prédit le mieux le nombre de captures de rats laveurs obtenu dans une cage considérant la probabilité de capture aux trois échelles spatiales étudiées. Le nombre de paramètres (K), la valeur de l'AIC, la différence entre les valeurs d'AIC (Δ_i) et le poids de l'AIC (w_i) ont été estimés à la suite de l'étude de couverture vaccinale dans les secteurs de Boucherville et de Coaticook à l'automne 2008.....	13
Tableau 6	Estimations des coefficients (β) et intervalles de confiance (95 % IC) obtenues par les modèles de régression de Poisson biaisée vers zéro (<i>zero-inflated</i>) contrastant les composantes environnementales influençant la probabilité et le nombre de captures de rats laveurs obtenu dans une cage aux trois échelles spatiales étudiées. Les variables en caractère gras ont une valeur de coefficient dont l'intervalle de confiance exclut 0 ...	14

Tableau 7	Sélection de modèles par la méthode de l'AIC afin de déterminer parmi les modèles candidats celui qui prédit le mieux le nombre de captures de mouffettes rayées obtenu dans une cage considérant la probabilité de capture aux trois échelles spatiales étudiées. Le nombre de paramètres (K), la valeur de l'AIC, la différence entre les valeurs d'AIC (Δ_i) et le poids de l'AIC (w_i) ont été estimés à la suite de l'étude de couverture vaccinale dans les secteurs de Boucherville et de Coaticook à l'automne 2008.....	15
Tableau 8	Estimations des coefficients (β) et intervalles de confiance (95 % IC) obtenues par les modèles de régression de Poisson biaisée vers zéro (<i>zero-inflated</i>) contrastant les composantes environnementales influençant la probabilité et le nombre de captures de mouffettes rayées obtenu dans une cage aux trois échelles spatiales étudiées. Les variables en caractère gras ont une valeur de coefficient dont l'intervalle de confiance exclut 0 ...	16
Tableau 9	Sélection de modèles par la méthode de l'AIC afin de déterminer celui parmi les modèles candidats qui prédit le mieux le nombre de captures de rats laveurs et de mouffettes rayées à l'échelle du terrain de piégeage. Le nombre de paramètres (K), la valeur de l'AIC, la différence entre les valeurs d'AIC (Δ_i) ainsi que le poids de l'AIC (w_i) ont été estimés à la suite de l'étude de couverture vaccinale menée dans les secteurs de Boucherville et de Coaticook à l'automne 2008.....	17
Tableau 10	Estimations des coefficients (β) et intervalles de confiance (95 % IC) obtenues par les modèles de régression de Poisson afin de déterminer les composantes environnementales influençant l'abondance des captures de rats laveurs et de mouffettes rayées dans un terrain de piégeage à la suite de l'étude de couverture vaccinale menée dans les secteurs de Boucherville et de Coaticook à l'automne 2008. Les variables en caractère gras ont une valeur de coefficient dont l'intervalle de confiance exclut 0	17

Introduction

L'utilisation de données de présence-absence et d'abondance est relativement répandue en écologie pour déterminer l'état d'une population d'intérêt. Plusieurs études ont par ailleurs démontré que l'utilisation de modèles d'occurrence (c'est-à-dire probabilité de présence selon une distribution binomiale) et de compte (nombre d'individus différents suivant une distribution de Poisson) permettait de cerner les composantes de l'habitat qui influencent la répartition spatiale d'un individu ou d'une espèce et d'estimer la densité d'une population (Mladenoff *et al.*, 1995; Boyce et Waller, 2003; Thompson et La Sorte, 2008). Étant donné qu'il est facile d'acquérir de l'information sur l'occurrence d'un individu ou d'une espèce dans un site particulier, certains auteurs se sont servis de données de présence d'une espèce afin d'en prédire l'abondance (Boyce et Waller, 2003; Royle et Nichols, 2003). Ce fut d'ailleurs le cas en Suisse, où l'abondance d'une population de mésanges boréales (*Parus montanus*) a été estimée à partir de données d'inventaires obtenues dans des stations d'écoute (Royle *et al.*, 2005).

Cependant, l'occurrence et l'abondance peuvent découler de deux processus distincts (Nielsen *et al.*, 2005). Par exemple, les espèces dites généralistes vivant dans des paysages hétérogènes utilisent une proportion relativement importante des ressources disponibles dans leur milieu (Gehring et Swihart, 2003). Toutefois, un changement dans la disponibilité de la ressource pourrait influencer la répartition spatiale d'une population. Notamment, les espèces solitaires non territoriales tendent à se regrouper lorsque la ressource est distribuée de façon hétérogène dans le paysage et que la compétition intraspécifique pour cette ressource est faible (Gehrt et Fritzell, 1998; Prange *et al.*, 2003). Ainsi, la répartition spatiale de ces espèces présente souvent une variabilité qui est influencée par l'abondance et la distribution de la nourriture, atteignant des extrêmes dans des systèmes fortement hétérogènes (Prange *et al.*, 2004).

Le raton laveur (*Procyon lotor*) et la mouffette rayée (*Mephitis mephitis*) sont deux espèces solitaires considérées comme étant généralistes et non territoriales. Les niches écologiques respectives de ces deux espèces sympatriques présentent vraisemblablement un grand chevauchement (Baldwin *et al.*, 2004; Frey et Conover, 2006; Barding et Nelson, 2008). La présence de ces deux espèces dans les paysages hétérogènes est souvent associée à la proximité de certaines ressources comme les abords de cours d'eau et de boisés (Bixler et Gittleman, 2000; Baldwin *et al.*, 2004; Barding et Nelson, 2008). La composition et la structure du paysage ont également été reconnues comme des éléments influençant la répartition spatiale de ces espèces (Baldwin *et al.*, 2004; Barding et Nelson, 2008). Par exemple, l'entremêlement de boisés et de champs agricoles, particulièrement de champs de maïs (*Zea mays*), est reconnu pour augmenter la probabilité respective de leur occurrence (Baldwin *et al.*, 2004; Beasley *et al.*, 2007a; Hwang *et al.*, 2007; Barding et Nelson, 2008), puisque ces habitats sont propices à l'établissement de sites de repos tout en procurant une source de nourriture souvent de qualité (Pedlar *et al.*, 1997; Henner *et al.*, 2004).

Ces deux espèces vivent cependant à des densités différentes. Le raton laveur peut supporter une forte densité de congénères lorsque la disponibilité de la nourriture dans

un milieu n'est pas limitante (Riley *et al.*, 1998; Prange *et al.*, 2003). Au Québec, une étude menée en Montérégie en 2007 a permis d'estimer la densité moyenne de la population à 13 individus/km² (Jolicœur *et al.*, 2009). Les zones urbaines, les boisés ainsi que certains types de cultures agricoles ont par le passé été reconnus comme des milieux propices pour soutenir une forte densité de rats laveurs (Broadfoot *et al.*, 2001; Prange *et al.*, 2004). Chez cette espèce, la formation de groupes serait en partie associée à l'établissement de domaines vitaux dont le chevauchement serait plus important aux endroits où les sources de nourriture sont abondantes (Prange *et al.*, 2004). Par rapport au raton laveur, la mouffette rayée vit à des densités généralement beaucoup plus faibles. L'étude faite en Montérégie avait d'ailleurs estimé la densité moyenne de mouffettes rayées à 1,6 individu/km² (Jolicœur *et al.*, 2009). De plus, peu d'études ont observé l'agglomération d'individus dans des sites particuliers (Broadfoot *et al.*, 2001; Prange et Gehrt, 2004; Weissinger *et al.*, 2009).

Les mécanismes sous-jacents à la répartition et à l'abondance de ces espèces varieraient selon l'échelle spatiale à laquelle ces aspects sont étudiés (Johnson, 1980; Morris, 1992). En effet, les animaux ajustent leur utilisation de l'espace en réponse aux composantes environnementales en fonction de l'échelle spatiale à laquelle ils les perçoivent (Kotliar et Wiens, 1990). Chez les mésoprédateurs, la répartition spatiale à l'échelle du domaine vital est généralement associée à des composantes environnementales favorisant la survie et la reproduction à long terme (Bozek *et al.*, 2007; Hwang *et al.*, 2007), alors qu'à fine échelle, le fait que la composition et la structure du paysage favorisent des besoins immédiats, telles l'alimentation et la protection contre la prédation (Pedlar *et al.*, 1997; Bozek *et al.*, 2007), influencerait principalement leur distribution. Déterminer à quelles échelles spatiales les composantes environnementales influencent la répartition et l'abondance des espèces est donc d'une grande importance, en particulier pour cibler l'échelle des actions à poser lors de l'établissement de plans de gestion.

Au Québec, la découverte en 2006 d'un cas de rage (variant du raton laveur) chez un raton laveur a mené les autorités gouvernementales à mettre en place un plan d'intervention d'envergure afin de limiter le risque de propagation de cette maladie. Des campagnes de réduction des populations et de vaccination au sol ainsi que l'épandage aérien d'appâts vaccinaux ont été effectués afin de réduire le risque de propagation de la maladie. Pour pouvoir bien cibler les zones où le risque de propagation est plus élevé, il faut idéalement connaître les données concernant la répartition spatiale des espèces hôtes dans le paysage. De plus, la transmission de cette maladie dépend du taux de rencontre entre les individus, qui lui-même dépend en partie de la densité de la population d'hôtes potentiels (White *et al.*, 1995; Gordon *et al.*, 2004). C'est pourquoi la connaissance des composantes influençant l'abondance des espèces hôtes est essentielle afin de maximiser l'efficacité des interventions (Rosatte *et al.*, 1997), notamment en modulant les densités d'appâts vaccinaux à épandre selon les densités des animaux ciblés. Puisqu'il est facile d'obtenir l'information sur la répartition spatiale d'une espèce dans le paysage, l'existence d'une relation positive entre la probabilité de capture et l'abondance d'une espèce dans un type de milieu pourrait faciliter la délimitation des zones où le risque de propagation est élevé lors de la planification des campagnes de vaccination au sol.

Le but de notre étude était de déterminer les composantes environnementales influençant la capture des rats laveurs et des mouffettes rayées afin de circonscrire les habitats à cibler lors des campagnes d'épandage d'appâts vaccinaux contre la rage du raton laveur. Nous avons dans un premier temps examiné à différentes échelles spatiales quelles étaient les composantes environnementales qui augmentaient la probabilité de capture de chacune des espèces. Nous avons ensuite vérifié si les composantes environnementales influençant la probabilité de capture étaient différentes de celles influençant le nombre de captures obtenu dans une cage. Nous nous attendions à ce que les composantes environnementales régissant les deux processus soient les mêmes chez la mouffette rayée, mais divergent chez le raton laveur, puisque cet animal tend à s'agglomérer quand la ressource est abondante. Finalement, nous avons examiné l'influence de la composition et de la structure du paysage sur l'abondance des captures obtenues sur un terrain de piégeage afin d'orienter l'épandage aérien d'appâts vaccinaux.

Méthodologie

Aire d'étude

L'étude s'est déroulée en septembre et en octobre 2008 dans le sud du Québec près des municipalités de Boucherville (45°57' N, 73°4 3' W) et de Coaticook (45°22' N, 72° 01' W) (figure 1). Ces deux régions se caractérisent par des paysages fragmentés composés de champs agricoles, de boisés et de zones urbaines. La culture primaire est le foin (*Fenum sp.*), mais le maïs, le soya (*Glycine max*), l'avoine (*Avena sativa*), le blé (*Triticum sp.*) et l'orge (*Hordenum sp.*) sont également cultivés dans ces secteurs. Les boisés sont dominés principalement par l'érable (*Acer spp.*), le peuplier (*Populus spp.*) et le bouleau (*Betula spp.*). Les ruisseaux et les étangs sont également nombreux dans ces régions. Au moment où l'étude fut conduite, la plupart des champs agricoles avaient atteint le stade de maturité, procurant une source de nourriture abondante (Rivest et Bergeron, 1981).

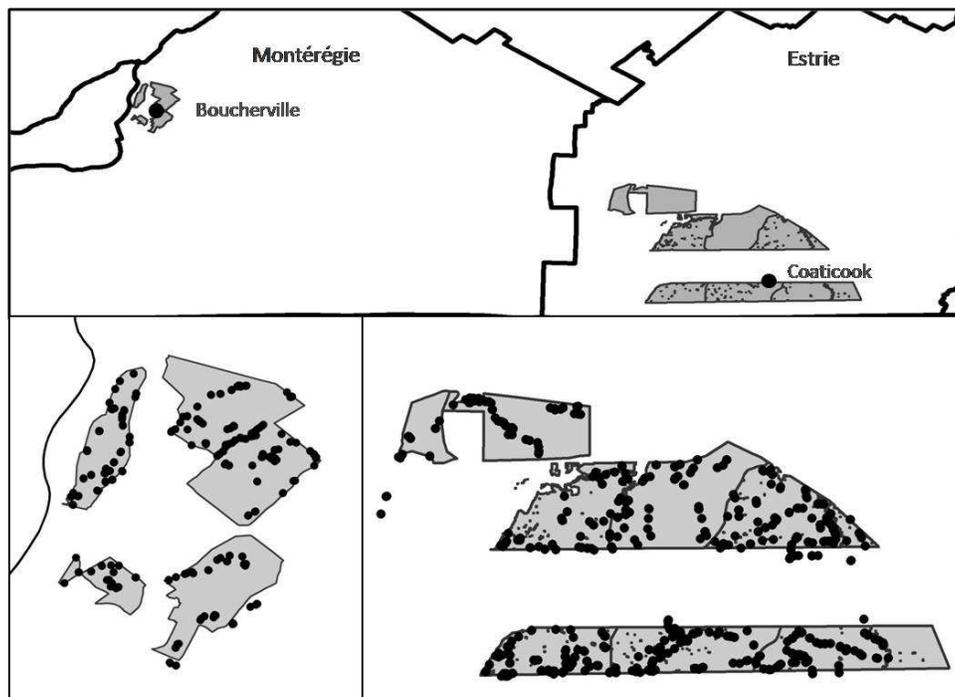


Figure 1. Emplacement des terrains de piégeage utilisés lors des études de couverture vaccinale menées en Montérégie et en Estrie à l'automne 2008. Les terrains de piégeage étaient situés dans les secteurs de Boucherville (Montérégie) et de Coaticook (Estrie). L'emplacement des cages à l'intérieur de chacun des terrains de piégeage est marqué par des points noirs.

Capture des animaux

Les secteurs de Boucherville et de Coaticook ont respectivement été divisés en quatre et huit terrains de piégeage. La taille des terrains de piégeage variait entre 4 et 110 km². Les captures de rats laveurs et de mouffettes rayées se sont déroulées sur

chaque terrain en utilisant des cages de marque Havahart (Woodstream Co., Lititz, Pennsylvanie) et Tomahawk (Tomahawk Live Trap Co., Tomahawk, Wisconsin) répondant aux normes internationales de piégeage sans cruauté. Les cages ont été appâtées avec des sardines à l'huile, de grosses guimauves et un leurre olfactif (Procoon®, Les Entreprises S. Forget enr., Charrette, Québec). En moyenne, 3,2 cages/km² ont été disposées sur chaque terrain de piégeage (intervalle : 0,4 à 10,7 cages/km²). Les cages n'étaient pas disposées de façon aléatoire ou systématique sur les terrains de piégeage, mais réparties plutôt à proximité des routes (Jolicœur *et al.*, 2009). Un point GPS a été pris par les trappeurs à chaque installation et enlèvement d'une cage ainsi qu'à chaque capture, ce qui a permis de déterminer, respectivement, l'effort de piégeage et le nombre de captures obtenu par cage en fonction de son emplacement. L'effort de piégeage a été calculé pour chacune des espèces par le nombre de nuits où la cage était présente sur le site moins le nombre de nuits où une autre espèce a été capturée. Nous n'avons pas été en mesure de considérer les nuits où une cage était hors fonction à cause d'un bris, puisque cette information n'a pas été fournie. Toutes les cages ont été visitées une fois par jour pendant la durée de l'étude de couverture vaccinale. Les rats laveurs et les mouffettes rayées capturés ont été vaccinés par voie intramusculaire et marqués avec une étiquette à l'oreille avant d'être relâchés au site de capture. Chaque recapture d'un animal précédemment marqué a été notée, et le numéro d'identification a été relevé lorsqu'il s'agissait d'un raton laveur, afin de faire un suivi individuel.

Échelles spatiales et composantes environnementales

Pour chaque cage, nous avons caractérisé l'environnement immédiat par une approche hiérarchique. Nous avons considéré trois échelles spatiales basées sur l'écologie du raton laveur et de la mouffette rayée : 1) l'échelle de la cage, 2) l'échelle locale et 3) l'échelle du domaine vital. L'échelle de la cage consistait en une zone tampon de 50 m de rayon autour de chacune des cages, caractérisant ainsi l'emplacement de la cage (Henner *et al.*, 2004). L'échelle locale consistait en une zone tampon de 200 m de rayon correspondant au déplacement moyen qu'effectuent ces espèces en une heure (déterminé à partir des données provenant d'individus munis de colliers GPS en 2009). L'échelle du domaine vital, finalement, consistait en une zone tampon de 1000 m de rayon et représentait approximativement la superficie moyenne d'un domaine vital pour les deux espèces, bien qu'il soit généralement un peu plus grand chez les rats.

À chacune des échelles, la composition du paysage a été caractérisée grâce à sept types de couvertures terrestres délimitées à partir de photographies aériennes 1:15 000 par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. Les types de couvertures terrestres incluaient : 1) les zones urbaines (maisons, granges, fermes, hangars), 2) les boisés, 3) les lacs et les cours d'eau, 4) les champs de maïs et 5) les champs agricoles autres que le maïs (avoine, blé, soya, foin et orge; tableau 1). Le type de champ agricole a été déterminé à partir des données géoréférencées obtenues de La Financière agricole du Québec. Pour tenir compte de l'influence potentielle de certains types de bordures, nous avons considéré deux autres types de couvertures terrestres, soit 6) la lisière des boisés et 7) la zone riveraine. Nous avons considéré une lisière de boisé comme étant une zone de transition de 20 m partant de la bordure de

chacun des îlots vers son intérieur (Beasley *et al.*, 2007*b*; Barding et Nelson, 2008). Une zone de transition de même largeur a été délimitée autour des étangs et des cours d'eau pour considérer l'influence potentielle de la zone riveraine. La proportion (%) des sept types de couvertures terrestres définissant la composition du paysage a été quantifiée à chaque échelle.

Étant donné qu'il a été démontré que la structure du paysage pouvait également exercer une influence sur la répartition spatiale et l'abondance des mésoprédateurs (Dijak et Thompson, 2000), nous avons quantifié la densité (km/km²) des bordures des zones urbaines, des boisés, des lacs et des cours d'eau, des champs agricoles autres que le maïs et des routes aux trois échelles spatiales étudiées. De plus, nous avons considéré la densité des bordures entre les champs de maïs et les boisés, puisque l'utilisation des champs de maïs semble se faire majoritairement dans les 20 premiers mètres à partir des zones boisées (Beasley *et al.*, 2007*b*).

Finalement, nous avons associé chacune des cages au type de couverture terrestre dans lequel elle était déposée. Nous avons également mesuré la distance séparant les cages de la bordure d'une zone urbaine, d'un boisé, d'un plan d'eau, d'un champ de maïs, d'un champ agricole autre que le maïs et d'une route. Toutes nos analyses spatiales ont été effectuées avec ArcGIS 9.3 (ESRI, 2007).

Tableau 1. Variables prédictives utilisées pour estimer la probabilité et le nombre de captures de rats laveurs et de mouffettes rayées obtenu à la suite des opérations de contrôle de la rage dans les secteurs de Boucherville et de Coaticook à l'automne 2008

Variable	Description	Unité
Urbain	Zone urbaine	
Forint	Intérieur des boisés excluant la zone de transition de 20 m	
Eau	Lacs et cours d'eau	
Maïs	Champ de maïs	
Champ	Champ agricole autre que le maïs	
Forext	Lisière des boisés correspondant à une zone de transition de 20 m commençant à la bordure en allant vers l'intérieur de ces derniers	
Riverain	Zone riveraine correspondant à la zone de transition de 20 m entourant les cours d'eau	
DistUrbain	Distance par rapport à une zone urbaine	m
DistForêt	Distance par rapport à la bordure d'un boisé	m
DistEau	Distance par rapport à un cours d'eau	m
DistMaïs	Distance par rapport à un champ de maïs	m
DistChamp	Distance par rapport à un champ agricole excluant le maïs	m
DistRoute	Distance par rapport à la route	m
pUrbain	Proportion de zones urbaines	%
pForext	Proportion de lisières de boisés	%
pForint	Proportion de boisés intérieurs	%
pEau	Proportion de lacs et de cours d'eau	%
pRiverain	Proportion de bandes riveraines	%

Variable	Description	Unité
pMaïs	Proportion de maïs	%
pChamp	Proportion de champs agricoles excluant le maïs	%
p_bUrbain	Proportion de bordures de zones urbaines	km/km ²
p_bForêt	Proportion de bordures de boisés	km/km ²
p_bEau	Proportion de bordures de cours d'eau	km/km ²
p_bMaïsForêt	Proportion de bordures entre un champ de maïs et un boisé	km/km ²
p_bChamp	Proportion de bordures de champs agricoles excluant le maïs	km/km ²
pRoute	Proportion de routes	km/km ²

Analyses statistiques

Probabilité de capture de rats laveurs et de mouffettes rayées

Les composantes environnementales influençant la capture des rats laveurs et des mouffettes rayées ont été cernées en modélisant la probabilité de capture, c'est-à-dire la probabilité que l'une de ces espèces soit présente dans une cage (distribution binomiale) en fonction de son emplacement, par des régressions logistiques. Nous avons construit quatre modèles. Les deux premiers visaient respectivement à vérifier si la probabilité de capture du raton laveur et de la mouffette rayée était associée à la présence de la cage dans un type de couverture terrestre donné (modèle n° 1, tableau 2) ou à la distance de la cage par rapport à certaines composantes (modèle n° 2, tableau 2). Les deux derniers modèles étaient des modèles hiérarchiques qui décrivaient pour l'un la composition (modèle n° 3, tableau 2) et, pour l'autre, la structure du paysage (modèle n° 4, tableau 2) aux trois échelles spatiales étudiées. Nous avons effectué des analyses séparées pour chaque échelle, les modèles 1 et 2 restant les mêmes aux trois échelles. Cette approche multi-échelle nous a permis de vérifier s'il y avait un changement dans l'influence des composantes sur la probabilité de capture selon l'échelle spatiale considérée.

À chacune des échelles, nous avons utilisé le critère d'information d'Akaike (AIC) pour sélectionner le meilleur modèle par espèce parmi les quatre modèles construits *a priori* (le meilleur modèle ayant l'AIC le plus petit; Burnham et Anderson, 1998). Pour éviter les problèmes associés à la multicollinéarité, nous avons vérifié que l'indice de condition de chacun des modèles était ≤ 10 (G. Daigle, comm. pers.). Nous avons ajouté le log (effort de piégeage) comme covariable (McCullagh et Nelder, 1999) pour tenir compte de la variation du nombre de nuits-pièges selon les terrains de piégeage. La performance de chaque meilleur modèle a été évaluée à partir de l'aire sous la courbe (« area under the curve », AUC) suivant une analyse de type « receiver-operating characteristics » (ROC). L'AUC permet de quantifier la capacité d'un modèle à prédire l'obtention des résultats observés. Une valeur d'AUC égale à 1 représente un modèle parfait, c'est-à-dire une discrimination parfaite entre les cages ayant des captures et celles n'en ayant pas (Manel *et al.*, 2001). Une valeur d'AUC supérieure ou égale à 0,7 indique une bonne « précision » de la probabilité de capture estimée, tandis qu'une

valeur d'AUC inférieure à 0,7 indique une « précision » incertaine de la probabilité de capture (Hosmer et Lemeshow, 2000). Nos analyses ont été effectuées en utilisant la procédure LOGISTIC de SAS 9.2 (SAS Institute, 2008).

Tableau 2. Modèles candidats utilisés pour décrire la probabilité et le nombre de captures de rats laveurs et de mouffettes rayées obtenu dans une cage lors de l'étude de couverture vaccinale menée dans les secteurs de Boucherville et de Coaticook à l'automne 2008. Le numéro du modèle (N°), le nom, la structure et le nombre total de paramètres (K), incluant l'ordonnée à l'origine, sont présentés

N°	Nom du modèle	Structure	K
1	Habitat	Urbain + Forint + Riverain + Maïs + Champ	6
2	Distance	DistUrbain + DistForêt + DistEau + DistMaïs + DistChamp + DistRoute	7
3	Composition	pUrbain + pForint + pRiverain + pMaïs + pChamp	6
4	Structure	p_bUrbain + p_bForêt + p_bEau + p_bMaïsForêt + p_bChamp + pRoute	7

Relation entre les composantes environnementales influençant la probabilité et le nombre de captures chez le raton laveur et la mouffette rayée

L'effet des composantes environnementales sur le nombre de captures de rats laveurs et de mouffettes rayées a été quantifié par une régression de Poisson biaisée vers zéro (*zero-inflated*) (Nielsen *et al.*, 2005). Ce type de régression est une méthode de modélisation appropriée pour déterminer les composantes environnementales influençant l'abondance d'événements rares étant donné sa capacité à considérer un grand nombre d'absences (Nielsen *et al.*, 2005). Ce type de régression peut être considéré comme un modèle à deux niveaux d'analyse dans lequel on modélise simultanément 1) la probabilité d'obtenir une capture dans une cage et 2) le nombre de captures lorsqu'une cage obtient du succès, et ce, à partir de la même variable réponse. Dans nos analyses, nous avons utilisé, pour les deux espèces, le meilleur modèle obtenu à l'analyse précédente pour modéliser la probabilité de capture, et nous avons fait une sélection de modèles basée sur l'AIC à partir des quatre modèles décrivant la composition et la structure du paysage afin de déterminer, compte tenu de la probabilité de capture, le modèle décrivant le mieux le nombre de captures obtenu dans une cage. La variation du nombre de nuits-pièges selon les terrains de piégeage a été une fois de plus prise en compte dans les analyses de la même manière que pour la régression logistique (log [effort de piégeage]). La performance du meilleur modèle a été évaluée sur la base des pseudo-R² calculés à partir de la relation entre les valeurs observées et celles prédites par le modèle.

Composantes environnementales influençant l'abondance des captures de rats laveurs et de mouffettes rayées dans un terrain de piégeage

Nous avons examiné l'influence des composantes environnementales sur l'abondance de captures obtenues dans un terrain de piégeage à l'aide d'une régression de Poisson. Nous avons procédé à une sélection de modèles basée sur l'AIC en utilisant le modèle de composition (modèle n° 3, tableau 2) et de structure (modèle n° 4, tableau 2). Dans cette analyse, le terrain de piégeage représentait l'unité échantillon, et le nombre de captures d'individus différents (c'est-à-dire en considérant la première capture de chaque individu seulement) constituait notre variable dépendante. Les variables explicatrices étaient celles décrivant la composition et la structure des différents habitats considérés à l'échelle du terrain. Nous avons également considéré un troisième modèle qui utilisait la densité des bordures entre champs de maïs et boisés (pMaiFo), la proportion de lisières de boisés (pForedge) et la proportion de zones urbaines (pUrbain). Ce modèle avait été utilisé en Montérégie en 2007 pour décrire l'abondance des captures de rats laveurs obtenues par terrain de piégeage. Nous avons ajouté le log (effort de piégeage) comme covariable (McCullagh et Nelder, 1999) pour tenir compte de la variation du nombre de nuits-pièges selon les terrains de piégeage. La performance des modèles a été évaluée sur la base des pseudo-R². La procédure GENMOD de SAS 9.2 (SAS Institute, 2008) a été utilisée pour cette analyse.

Résultats

Lors de l'étude de couverture vaccinale de 2008, un total de 1164 cages a été utilisé pour la capture de rats laveurs et de mouffettes rayées dans les deux secteurs d'étude, ce qui a permis la capture de 726 rats laveurs et de 217 mouffettes rayées. Parmi ces captures, 610 rats laveurs et 121 mouffettes rayées correspondaient à des individus différents et ont été conservés pour les analyses. En moyenne, l'effort de piégeage a été de 5 nuits/cage (intervalle : 1-9 nuits/cage), tandis que le nombre de captures d'individus uniques par cage a varié entre 0 et 5 pour le raton laveur et entre 0 et 4 pour la mouffette rayée. L'abondance des deux espèces a cependant montré des variations importantes entre les terrains de piégeage (intervalle : 11-96 rats laveurs/terrain et 0-34 mouffettes rayées/terrain). Le nombre de captures par terrain était dépendant de l'effort de piégeage (raton laveur : $\chi^2 = 83,5$, d.l. = 10, $p < 0,001$; mouffette rayée : $\chi^2 = 14,5$, d.l. = 10, $p < 0,001$). De plus, la taille du terrain de piégeage était liée au nombre de captures (raton laveur : $\chi^2 = 50,1$, d.l. = 10, $p < 0,001$; mouffette rayée : $\chi^2 = 10,7$, d.l. = 10, $p < 0,001$), ce qui peut éventuellement être expliqué par le fait que l'effort de piégeage par terrain était dépendant de sa taille (raton laveur : $\chi^2 = 212,4$, d.l. = 10, $p < 0,001$; mouffette rayée : $\chi^2 = 151,7$, d.l. = 10, $p < 0,001$).

Probabilité de capture de rats laveurs et de mouffettes rayées

Nous avons observé que les composantes environnementales influençant la probabilité de capture des rats laveurs et des mouffettes rayées différaient selon l'échelle spatiale étudiée. Chez le raton laveur, la probabilité de capture à l'échelle de la cage était mieux décrite par le modèle de distance (modèle 2, tableau 3). En particulier, la proximité de la bordure d'une zone urbaine et d'un champ agricole autre que le maïs influençait négativement la probabilité de capture (tableau 4). À l'échelle locale et à l'échelle du domaine vital, c'était plutôt le modèle associé à la structure du paysage qui décrivait le mieux la probabilité de capture (modèle n° 4, tableau 3). L'augmentation de la densité des bordures associées aux boisés augmentait la probabilité de capture aux deux échelles, contrairement à la densité des bordures associées aux champs de maïs et aux boisés, qui la diminuait (tableau 4). De plus, à l'échelle du domaine vital, les bordures de zones urbaines étaient associées à une faible probabilité de capture des rats laveurs, tandis qu'une augmentation de la densité des bordures de cours d'eau augmentait la probabilité de capture (tableau 4).

Tableau 3. Sélection de modèles par la méthode de l'AIC afin de déterminer parmi les modèles candidats celui qui décrit le mieux la probabilité de capture des rats laveurs et des mouffettes rayées aux trois échelles spatiales étudiées

Espèce	N°	Nom du modèle	K	AIC	Δ_i	w_i
Raton laveur						
<i>Échelle de la cage</i>						
	1	Habitat	6	1520	14	0,04
	2	Distance	7	1506	0	0,99
	3	Composition	6	1516	10	0,01
	4	Structure	7	1521	15	0,00
<i>Échelle locale</i>						
	1	Habitat	6	1520	19	0,00
	2	Distance	7	1506	5	0,08
	3	Composition	6	1512	11	0,00
	4	Structure	7	1501	0	0,92
<i>Échelle du domaine vital</i>						
	1	Habitat	6	1520	40	0,00
	2	Distance	7	1506	26	0,00
	3	Composition	6	1494	14	0,01
	4	Structure	7	1480	0	1,00
Mouffette rayée						
<i>Échelle de la cage</i>						
	1	Habitat	6	721	19	0,00
	2	Distance	7	702	0	1,00
	3	Composition	6	710	8	0,00
	4	Structure	7	723	21	0,00
<i>Échelle locale</i>						
	1	Habitat	6	721	21	0,00
	2	Distance	7	702	2	0,27
	3	Composition	6	700	0	0,73
	4	Structure	7	712	12	0,00
<i>Échelle du domaine vital</i>						
	1	Habitat	6	721	47	0,00
	2	Distance	7	702	27	0,00
	3	Composition	6	675	0	1,00
	4	Structure	7	689	14	0,00

Tableau 4. Estimations des coefficients (β) et des intervalles de confiance (95 % IC) obtenues par le modèle de régression logistique décrivant le mieux la probabilité de capture des rats laveurs et des mouffettes rayées à chacune des échelles spatiales étudiées. Les variables en caractère gras ont une valeur de coefficient dont l'intervalle de confiance exclut 0

Échelle de sélection	Raton laveur				Mouffette rayée		
	Modèle/ Variables	β	95 % IC	Modèle/ Variables	β	95 % IC	
Échelle de la cage	<i>Modèle de distance</i>				<i>Modèle de distance</i>		
	DistUrbain	0,16	(0,03 : 0,29)	DistUrbain	- 0,26	(- 0,52 : - 0,03)	
	DistForêt	- 0,51	(- 1,06 : 0,02)	DistForêt	0,42	(- 0,25 : 1,07)	
	DistEau	0,27	(- 0,46 : 1,00)	DistEau	0,82	(- 0,43 : 2,00)	
	DistChamp	0,21	(0,02 : 0,41)	DistChamp	0,61	(0,24 : 0,98)	
	DistMaïs	< 0,01	(- 0,07 : 0,07)	DistMaïs	- 0,27	(- 0,44 : - 0,12)	
	DistRoute	0,30	(- 1,32 : 1,91)	DistRoute	- 2,14	(- 5,78 : 0,70)	
Échelle locale	<i>Modèle de structure</i>				<i>Modèle de composition</i>		
	p_bUrbain	- 0,01	(- 0,07 : 0,05)	pUrbain	0,15	(- 1,12 : 1,14)	
	p_bForêt	0,11	(0,06 : 0,17)	pForint	- 2,56	(- 4,05 : - 1,13)	
	p_bEau	0,03	(- 0,02 : 0,09)	pRiverain	0,19	(- 1,44 : 1,78)	
	p_bChamp	- 0,02	(- 0,07 : 0,03)	pChamp	- 1,08	(- 2,11 : - 0,04)	
	p_bMaïsForêt	- 0,24	(- 0,47 : - 0,02)	pMaïs	- 1,17	(- 2,65 : 0,23)	
	pRoute	0,01	(- 0,04 : 0,06)				
Échelle du domaine vital	<i>Modèle de structure</i>				<i>Modèle de composition</i>		
	p_bUrbain	- 0,18	(- 0,36 : - 0,01)	pUrbain	0,58	(- 1,82 : 2,97)	
	p_bForêt	0,33	(0,21 : 0,46)	pForint	- 2,99	(- 5,40 : - 0,56)	
	p_bEau	0,23	(0,11 : 0,35)	pRiverain	2,87	(0,69 : 5,15)	
	p_bChamp	0,07	(- 0,19 : 0,05)	pChamp	0,66	(- 1,55 : 2,93)	
	p_bMaïsForêt	- 0,98	(- 1,80 : - 0,17)	pMaïs	- 2,03	(- 5,02 : 0,92)	
	pRoute	0,06	(0,001 : 0,12)				

Chez la mouffette, la probabilité de capture à l'échelle de la cage était mieux décrite par le modèle de distance (modèle 2, tableau 3). Par exemple, la proximité d'une zone urbaine ainsi que d'un champ de maïs influençait favorablement la probabilité de capture, tandis que la distance par rapport à un champ agricole autre que le maïs avait une influence négative (tableau 4). À l'échelle locale et du domaine vital, le modèle de composition prédisait mieux la probabilité de capture (modèle 3, tableau 3). La probabilité de capture était négativement influencée par la proportion de champs agricoles autres que le maïs à l'échelle locale et favorablement influencée par la proportion de zones riveraines à l'échelle du domaine vital (tableau 4). L'augmentation de la proportion de boisés exerçait une influence négative aux deux échelles (tableau 4). Parmi les trois échelles étudiées, la probabilité de capture dans une cage pour chacune des espèces était mieux prédite à l'échelle du domaine vital (meilleure performance des modèles), avec un AUC de 0,6 chez le raton laveur et de 0,7 chez la mouffette rayée.

Relation entre les composantes environnementales influençant la probabilité et le nombre de captures dans une cage chez le raton laveur et la mouffette rayée

Chez le raton laveur, les analyses ont démontré que le modèle prédisant le nombre de captures dans une cage était le même que celui prédisant la probabilité de capture à l'échelle de la cage, mais qu'il différait pour l'échelle locale et pour l'échelle du domaine vital (tableau 5). En effet, à l'échelle de la cage, le modèle de distance décrivait aussi bien l'abondance que la probabilité de captures (tableau 5). Cependant, l'influence des composantes environnementales n'était pas la même.

Tableau 5. Sélection de modèles par la méthode de l'AIC afin de déterminer parmi les modèles candidats celui qui prédit le mieux le nombre de captures de ratons laveurs obtenu dans une cage considérant la probabilité de capture aux trois échelles spatiales étudiées. Le nombre de paramètres (K), la valeur de l'AIC, la différence entre les valeurs d'AIC (Δ_i) et le poids de l'AIC (w_i) ont été estimés à la suite de l'étude de couverture vaccinale dans les secteurs de Boucherville et de Coaticook à l'automne 2008

N°	Nom du modèle	K	AIC	Δ_i	w_i
<i>Échelle de la cage</i>					
1	Habitat	13	2254	4	0,09
2	Distance	14	2250	0	0,66
3	Composition	13	2252	2	0,24
4	Structure	14	2258	8	0,01
<i>Échelle locale</i>					
1	Habitat	13	2258	8	0,02
2	Distance	14	2254	2	0,11
3	Composition	13	2250	0	0,80
4	Structure	14	2255	6	0,07
<i>Échelle du domaine vital</i>					
1	Habitat	13	2242	16	0,00
2	Distance	14	2234	8	0,02
3	Composition	13	2226	0	0,98
4	Structure	14	2240	14	0,00

Par exemple, la proximité d'une zone urbaine influençait négativement la probabilité de capture d'un raton laveur, tandis que le nombre de captures obtenu dans une cage était plutôt influencé positivement par la proximité d'un boisé et par l'éloignement des champs agricoles autres que le maïs (tableau 6). À l'échelle locale et du domaine vital, bien que la probabilité de capture ait été associée à la structure de l'habitat, c'est plutôt la composition du paysage qui influençait l'abondance (tableau 5). En particulier, à l'échelle du domaine vital, une augmentation de la proportion de boisés et de champs autres que le maïs influençait négativement le nombre de captures (tableau 6).

Tableau 6. Estimations des coefficients (β) et intervalles de confiance (95 % IC) obtenues par les modèles de régression de Poisson biaisée vers zéro (*zero-inflated*) contrastant les composantes environnementales influençant la probabilité et le nombre de captures de rats laveurs obtenu dans une cage aux trois échelles spatiales étudiées. Les variables en caractère gras ont une valeur de coefficient dont l'intervalle de confiance exclut 0

Échelle de sélection	Probabilité de capture				Nombre de captures		
	Modèle/ Variables	Coef.	95 % IC	Modèle/ Variables	Coef.	95 % IC	
Échelle de la cage	<i>Modèle de distance</i>				<i>Modèle de distance</i>		
	DistUrbain	- 0,51	(- 0,89 : - 0,14)	DistUrbain	- 0,03	(- 0,13 : 0,08)	
	DistForêt	- 0,23	(- 1,37 : 0,91)	DistForêt	- 0,56	(- 1,09 : - 0,03)	
	DistEau	- 0,53	(- 2,41 : 1,36)	DistEau	- 0,09	(- 0,75 : 0,56)	
	DistChamp	0,34	(- 0,05 : 0,74)	DistChamp	0,29	(0,11 : 0,47)	
	DistMaïs	- 0,08	(- 0,26 : 0,10)	DistMaïs	- 0,04	(- 0,11 : 0,02)	
	DistRoute	- 0,26	(- 3,85 : 3,33)	DistRoute	0,09	(- 1,21 : 1,39)	
Échelle locale	<i>Modèle de structure</i>				<i>Modèle de composition</i>		
	p_bUrbain	0,09	(- 0,03 : 0,22)	pUrbain	0,57	(- 0,09 : 1,23)	
	p_bForêt	- 0,14	(- 0,25 : - 0,04)	pForint	- 0,24	(- 0,83 : 0,34)	
	p_bEau	- 0,07	(- 0,20 : 0,05)	pRiverain	- 0,61	(- 1,46 : 0,25)	
	p_bChamp	- 0,06	(- 0,17 : 0,05)	pChamp	- 0,43	(- 0,94 : 0,07)	
	pMaïsForêt	0,45	(0,08 : 0,83)	pMaïs	- 0,26	(- 0,96 : 0,45)	
Échelle du domaine vital	<i>Modèle de structure</i>				<i>Modèle de composition</i>		
	p_bUrbain	0,24	(- 0,08 : 0,55)	pUrbain	- 0,93	(- 2,25 : 0,38)	
	p_bForêt	- 0,38	(- 0,63 : - 0,13)	pForint	- 1,46	(- 2,59 : - 0,32)	
	p_bEau	- 0,17	(- 0,39 : 0,06)	pRiverain	- 0,12	(- 1,27 : 1,03)	
	p_bChamp	- 0,16	(- 0,43 : 0,11)	pChamp	- 1,19	(- 2,31 : - 0,07)	
	pMaïsForêt	0,59	(- 1,11 : 2,28)	pMaïs	- 2,72	(- 4,43 : - 1,01)	
	pRoute	- 0,04	(- 0,16 : 0,07)				

Chez la mouffette rayée, le modèle prédisant le mieux le nombre de captures obtenu dans une cage était le même que celui décrivant la probabilité de capture, et ce, à toutes les échelles (tableau 7). Cependant, l'influence des composantes environnementales sur la probabilité et le nombre de captures obtenu dans une cage était différente selon l'échelle étudiée. À l'échelle de la cage, le nombre de captures était influencé positivement par la proximité d'une zone urbaine et de champs de maïs. Par ailleurs, la proportion de boisés influençait négativement le nombre de captures à l'échelle locale, alors qu'à l'échelle du domaine vital, la proportion de zones urbaines, de zones riveraines et de champs agricoles autres que le maïs avait une influence favorable sur le nombre de captures (tableau 8).

Tableau 7. Sélection de modèles par la méthode de l'AIC afin de déterminer parmi les modèles candidats celui qui prédit le mieux le nombre de captures de mouffettes rayées obtenu dans une cage considérant la probabilité de capture aux trois échelles spatiales étudiées. Le nombre de paramètres (K), la valeur de l'AIC, la différence entre les valeurs d'AIC (Δ_i) et le poids de l'AIC (w_i) ont été estimés à la suite de l'étude de couverture vaccinale dans les secteurs de Boucherville et de Coaticook à l'automne 2008

N ^o	Nom du modèle	K	AIC	Δ_i	w_i
<i>Échelle de la cage</i>					
1	Habitat	13	794	24	0,00
2	Distance	14	770	0	1,00
3	Composition	13	786	16	0,00
4	Structure	14	796	26	0,00
<i>Échelle locale</i>					
1	Habitat	12	800	20	0,00
2	Distance	13	784	4	0,12
3	Composition	12	780	0	0,87
4	Structure	13	789	8	0,01
<i>Échelle du domaine vital</i>					
1	Habitat	12	778	24	0,00
2	Distance	13	770	16	0,00
3	Composition	12	754	0	0,95
4	Structure	13	760	6	0,05

Tableau 8. Estimations des coefficients (β) et intervalles de confiance (95 % IC) obtenues par les modèles de régression de Poisson biaisée vers zéro (*zero-inflated*) contrastant les composantes environnementales influençant la probabilité et le nombre de captures de mouffettes rayées obtenu dans une cage aux trois échelles spatiales étudiées. Les variables en caractère gras ont une valeur de coefficient dont l'intervalle de confiance exclut 0.

Échelle de sélection	Probabilité de capture				Nombre de captures		
	Modèle/ Variables	Coef.	95 % IC	Modèle/ Variables	Coef.	95 % IC	
Échelle de la cage	<i>Modèle de distance</i>				<i>Modèle de distance</i>		
	DistUrbain	- 0,76	(- 1,44 : - 0,07)	DistUrbain	- 0,45	(- 0,75 : - 0,14)	
	DistForêt	- 2,22	(- 3,98 : - 0,47)	DistForêt	- 0,30	(- 1,21 : 0,60)	
	DistEau	- 3,38	(- 8,07 : 1,31)	DistEau	- 0,50	(- 2,28 : 1,28)	
	DistChamp	- 1,67	(- 4,15 : 0,80)	DistChamp	0,42	(0,08 : 0,75)	
	DistMaïs	- 0,94	(- 1,57 : - 0,32)	DistMaïs	- 0,45	(- 0,62 : - 0,27)	
	DistRoute	- 6,24	(- 19,46 : 6,97)	DistRoute	- 3,05	(- 6,79 : 0,68)	
Échelle locale	<i>Modèle de composition</i>				<i>Modèle de composition</i>		
	pUrbain	1,45	(- 1,33 : 4,23)	pUrbain	1,21	(- 0,27 : 2,70)	
	pForint	- 3,17	(- 8,19 : 1,84)	pForint	- 3,31	(- 5,29 : - 1,32)	
	pRiverain	0,57	(- 3,32 : 4,45)	pRiverain	0,50	(- 1,78 : 2,77)	
	pChamp	1,65	(- 0,93 : 4,22)	pChamp	0,13	(- 1,46 : 1,72)	
	pMaïs	- 2,33	(- 7,32 : 2,67)	pMaïs	- 1,89	(- 4,10 : 0,32)	
Échelle du domaine vital	<i>Modèle de composition</i>				<i>Modèle de composition</i>		
	pUrbain	8,44	(- 0,33 : 17,22)	pUrbain	5,21	(1,94 : 8,49)	
	pForint	1,03	(- 7,41 : 9,47)	pForint	- 1,71	(- 4,74 : 1,31)	
	pRiverain	2,49	(- 6,14 : 11,13)	pRiverain	3,59	(0,70 : 6,49)	
	pChamp	6,39	(- 2,15 : 14,94)	pChamp	3,63	(0,59 : 6,68)	
	pMaïs	1,11	(- 7,80 : 10,02)	pMaïs	- 0,60	(- 4,24 : 3,03)	

Composantes environnementales influençant l'abondance des captures de rats laveurs et de mouffettes rayées dans un terrain de piégeage

L'abondance des captures de rats laveurs et de mouffettes rayées dans un terrain de piégeage était mieux prédite par le modèle décrivant la structure du paysage que par celui décrivant la composition ou par celui qui avait été utilisé en Montérégie en 2007 pour décrire l'abondance de rats laveurs (tableau 9). Chez les deux espèces, l'abondance des captures obtenues dans un terrain de piégeage était favorablement influencée par la densité des bordures associées aux cours d'eau, tandis que la densité des bordures entre champs de maïs et boisés avait une influence négative (tableau 10). Par contre, l'augmentation de la densité des bordures associées aux boisés influençait favorablement l'abondance des captures de rats laveurs (tableau 10). Le modèle

avait un fort pouvoir prédictif chez le raton laveur (pseudo-R² = 0,91), mais ce pouvoir était très faible chez la mouffette rayée (pseudo-R² = 0,09).

Tableau 9. Sélection de modèles par la méthode de l'AIC afin de déterminer celui parmi les modèles candidats qui prédit le mieux le nombre de captures de rats laveurs et de mouffettes rayées à l'échelle du terrain de piégeage. Le nombre de paramètres (K), la valeur de l'AIC, la différence entre les valeurs d'AIC (Δ_i) ainsi que le poids de l'AIC (w_i) ont été estimés à la suite de l'étude de couverture vaccinale menée dans les secteurs de Boucherville et de Coaticook à l'automne 2008

N ^o	Nom du modèle	K	AIC	Δ_i	w_i
<i>Raton laveur</i>					
	Composition	6	115	19,4	0,00
	Structure	6	95,6	0	1,00
	Montérégie 2007	4	106,7	11,1	0,00
<i>Mouffette rayée</i>					
	Composition	6	70	3,6	0,13
	Structure	6	66,4	0	0,80
	Montérégie 2007	4	71,3	4,9	0,07

Tableau 10. Estimations des coefficients (β) et intervalles de confiance (95 % IC) obtenues par les modèles de régression de Poisson afin de déterminer les composantes environnementales influençant l'abondance des captures de rats laveurs et de mouffettes rayées dans un terrain de piégeage à la suite de l'étude de couverture vaccinale menée dans les secteurs de Boucherville et de Coaticook à l'automne 2008. Les variables en caractère gras ont une valeur de coefficient dont l'intervalle de confiance exclut 0

Variables	Raton laveur		Mouffette rayée	
	β	95 % IC	β	95 % IC
p_bUrbain	- 0,17	(- 0,40 : 0,07)	- 0,04	(- 0,42 : 0,33)
p_bForêt	0,50	(0,31 : 0,78)	0,45	(- 0,06 : 0,96)
p_bMaïsForêt	- 0,48	(- 0,94 : - 0,02)	- 1,34	(- 2,47 : - 0,22)
p_bEau	0,38	(0,24 : 0,53)	0,33	(0,12 : 0,53)
p_bChamp	- 0,03	(- 0,16 : 0,09)	- 0,16	(- 0,51 : 0,19)

Discussion

La compréhension du lien existant entre la probabilité de capture et l'abondance d'une espèce dans un milieu est un élément d'une grande valeur, en particulier lorsque des décisions d'aménagement doivent être prises à partir des données relatives à la présence de l'espèce. Dans notre étude, nous avons voulu vérifier l'existence de ce lien dans un contexte de lutte contre la rage du raton laveur afin de faciliter les opérations de vaccination, sachant que le risque de propagation de la rage est plus grand lorsqu'une espèce hôte est abondante. Nous avons observé l'existence d'une relation entre la probabilité et le nombre de captures chez la mouffette rayée, mais la probabilité de capture ne serait pas liée au nombre de captures obtenu dans une cage chez le raton laveur. Nos résultats soulignent également le rôle de l'échelle spatiale dans la compréhension des mécanismes régissant la répartition spatiale.

La probabilité de capture des rats laveurs et des mouffettes rayées semble influencée par la distance de la cage par rapport à certaines composantes de l'habitat à l'échelle de la cage, tandis qu'à l'échelle locale et du domaine vital, c'est plutôt la composition et la structure du paysage qui influencent respectivement ces deux espèces. Chez le raton laveur, nous avons constaté que la probabilité de capture était favorablement influencée par la densité des bordures de boisés et de zones riveraines, tandis que la densité des bordures de zones urbaines et des bordures se trouvant entre les champs de maïs et les boisés avait une influence négative. Ces résultats appuient ceux d'études précédentes ayant démontré l'importance de la structure du paysage dans l'utilisation que fait le raton laveur de son domaine vital en milieu rural (Dijak et Thompson, 2000; Barding et Nelson, 2008). Lorsque la présence de l'homme n'est pas prédominante dans le paysage, les activités menées par le raton laveur à l'intérieur de son domaine vital se concentreraient majoritairement en périphérie des forêts et des cours d'eau (Barding et Nelson, 2008). Chez la mouffette rayée, la probabilité de capture à l'échelle de la cage semble associée à la proximité d'une zone urbaine et d'un champ agricole autre que le maïs, ce qui est également appuyé par les résultats d'études précédentes (Rosatte *et al.*, 1992; Gerhing et Swihart, 2003). Ces habitats lui permettraient de combler des besoins immédiats comme l'acquisition de nourriture et la sécurité (Broadfoot *et al.*, 2001). Cependant, en ce qui a trait à l'échelle du domaine vital, la composition du paysage serait davantage importante chez cette espèce. Par exemple, les vastes boisés seraient évités, puisqu'ils augmenteraient le risque de prédation et procureraient peu de nourriture (Vert, 1967; Broadfoot *et al.*, 2001).

Les modèles décrivant le nombre de captures obtenues à l'échelle locale et du domaine vital chez le raton laveur sont différents de ceux prédisant la probabilité de capture. L'étude des composantes influençant la probabilité de capture ne permettrait donc pas de cerner celles régissant le processus d'agglomération à ces deux échelles. Le processus d'agglomération chez le raton laveur résulterait d'un chevauchement important des domaines vitaux à l'intérieur desquels il y aurait une utilisation commune de certaines ressources (Gehrt et Fritzell, 1998; Prange et Gehrt, 2004). Par exemple, la distribution spatiale des aires d'alimentation à l'intérieur du domaine vital influencerait particulièrement la densité (Prange *et al.*, 2004). C'est le cas des zones urbaines qui fournissent une source de nourriture artificielle abondante propice à l'utilisation

commune de la ressource (Prange *et al.*, 2004). Cependant, dans notre étude, nous avons observé qu'une forte proportion de boisés et de champs agricoles diminuait le nombre de captures dans une cage pour cette espèce. Lorsque la nourriture est abondante de façon naturelle dans le domaine vital, comme c'est le cas à l'automne avec l'atteinte de la maturité des champs agricoles, les ratons laveurs pourraient utiliser des paysages fragmentés par les boisés et les champs agricoles, délaissant ainsi les zones urbaines.

Chez la mouffette rayée, les modèles décrivant le mieux la probabilité de capture sont les mêmes que ceux décrivant le nombre de captures dans une cage aux trois échelles spatiales étudiées. Ce résultat n'est pas surprenant, puisque cette espèce vit à des densités beaucoup plus faibles que le raton laveur (Broadfoot *et al.*, 2001) et qu'elle ne semble pas tendre à s'agglomérer. De plus, des études antérieures ont démontré que le chevauchement des domaines vitaux à l'automne était beaucoup moins grand qu'au printemps chez cette espèce (Weissinger *et al.*, 2009), ce qui réduit également l'utilisation commune d'une même source de nourriture. Nous avons cependant remarqué qu'à l'échelle du domaine vital, une forte proportion de champs agricoles et de zones riveraines influence favorablement le nombre de captures. Ces habitats recèleraient un large éventail de nourriture pour la mouffette rayée (Greenwood *et al.*, 1999; Phillips *et al.*, 2004), ce qui leur permettrait de soutenir de plus fortes densités.

Pour sa part, l'abondance de captures de ratons laveurs et de mouffettes rayées dans un terrain de piégeage paraît influencée par la structure de l'habitat. Ces espèces semblent tirer profit de la fragmentation de l'habitat. Certaines études ont d'ailleurs démontré que l'établissement des domaines vitaux chez les deux espèces serait associé aux habitats de bordure (Bixler et Gittleman, 2000; Frey *et al.*, 2006). Les bordures associées aux boisés et aux cours d'eau procureraient entre autres protection et nourriture. Contrairement aux résultats obtenus en Montérégie en 2007, dans notre étude, l'abondance des captures de ratons laveurs n'a pas paru favorablement influencée par la densité des bordures entre champs de maïs et boisés, puisqu'une relation inverse a été observée. Dans notre aire d'étude, la proportion de champs de maïs dans les terrains de piégeage était beaucoup plus faible que celle trouvée dans l'aire d'étude de 2007 en Montérégie (proportion moyenne des champs de maïs par terrain de piégeage de 6,0 % dans notre aire d'étude contre 24,7 % dans l'aire d'étude de 2007). Étant donné la faible proportion de champs de maïs dans notre aire d'étude, d'autres sources de nourriture ont été probablement exploitées, ce qui a probablement changé par le fait même la relation entre le nombre d'individus capturés chez ces deux espèces et cette composante environnementale. Par ailleurs, l'influence du paysage sur l'abondance de captures dans un terrain de piégeage diffère également des résultats de l'analyse précédente, où nous examinions la relation entre les composantes du paysage et le nombre de captures pour une même cage. En effet, le nombre de captures dans un terrain de piégeage semble associé à la structure du paysage, tandis que le nombre de captures dans une même cage est plutôt associé à la composition du paysage autour de cette cage. La fragmentation du paysage pourrait donc influencer l'établissement des domaines vitaux des ratons laveurs et des mouffettes rayées, mais, une fois le domaine vital établi, ce serait plutôt la composition du paysage qui jouerait un rôle prédominant. De plus, le nombre de captures dans une cage a été mieux décrit

à l'échelle locale, ce qui nous indique que l'agglomération d'individus serait associée à des composantes environnementales répondant à des besoins immédiats.

Conclusion et recommandations

Dans un contexte où le risque d'épidémie de la rage du raton laveur est présent, la compréhension de la relation entre la présence et l'abondance d'une espèce dans le paysage permettrait de faciliter la délimitation des zones à risque (Ramey *et al.*, 2008). Nos résultats démontrent que, selon l'écologie de l'animal, les composantes influençant la probabilité et l'abondance de captures peuvent différer. De plus, l'échelle spatiale influence les conclusions concernant la réponse comportementale de l'animal. Le raton laveur est un animal pouvant apparemment supporter de fortes densités de congénères et qui tend à s'agglomérer lorsque la ressource est abondante, mais distribuée de façon hétérogène. Pour favoriser le nombre de captures de rats laveurs lorsque les opérations de vaccination se déroulent au sol, les cages devraient être déposées dans les paysages ayant un fort entremêlement de boisés et de champs agricoles. En effet, nous avons démontré que ces zones étaient propices à la capture de rats laveurs, et permettent ainsi d'augmenter le succès de l'immunisation des espèces hôtes (Ramey *et al.*, 2008). Lors de l'épandage aérien des appâts vaccinaux, les paysages ayant un fort degré de fragmentation favoriseraient l'efficacité des opérations chez le raton, en particulier les secteurs ayant une forte densité de bordures associées aux boisés et aux zones riveraines. La mouffette rayée, pour sa part, vit à des densités plus faibles que le raton (Jolicœur *et al.*, 2009) et ne tend pas à s'agglomérer, ce qui rend difficile la priorisation des zones d'intervention. Lors des opérations de vaccination au sol, l'effort de capture devrait se concentrer dans les zones riveraines et près des zones urbaines. Les grands boisés devraient par contre être évités. Il semblerait difficile de cibler des zones d'intervention pour cette espèce à l'échelle du paysage.

Remerciements

Les données analysées dans cette étude ont été recueillies par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF). Parmi les nombreuses personnes qui ont participé à la campagne de vaccination sur les îles de Boucherville et à Coaticook en 2008, nous tenons particulièrement à remercier Pierre Canac-Marquis (MRNF), qui était chargé de coordonner ces opérations, ainsi que Daniel Guérin (MRNF), qui a géré la base de données. Nous remercions également Marc Mazerolle pour le soutien statistique ainsi que Mathieu Basille et Nicolas Courbin pour leurs commentaires sur des versions précédentes de ce rapport.

Références bibliographiques

- Baldwin, R. A., A. E. Houston, M. L. Kennedy, P. S. Liu. 2004. An assessment of microhabitat variables and capture success of striped skunks (*Mephitis mephitis*). *Journal of Mammalogy* 85: 1068-1076.
- Barding, E. E., T. E. Nelson. 2008. Raccoons use habitat edges in Northern Illinois. *American Midland Naturalist* 159: 394-402.
- Beasley, J. C., T. L. Devault, M. I. Retamosa, O. E. Rhodes. 2007a. A hierarchical analysis of habitat selection by raccoons in Northern Indiana. *Journal of Wildlife Management* 71: 1125-1133.
- Beasley, J. C., T. L. Devault, O. E. Rhodes. 2007b. Home-range attributes of raccoons in a fragmented agricultural region of northern Indiana. *Journal of Wildlife Management* 71: 844-850.
- Bixler, A., J. L. Gittleman. 2000. Variation in home range and use of habitat in the striped skunk (*Mephitis mephitis*). *Journal of Zoology* 251: 525-533.
- Boyce, M. S., J. S. Waller. 2003. Grizzly bears for the Bitterroot: predicting potential abundance and distribution. *Wildlife Society Bulletin* 31: 670-683.
- Bozek, C. K., S. Prange, S. D. Gehrt. 2007. The influence of anthropogenic resources on multi-scale habitat selection by raccoons. *Urban Ecosystems* 10: 413-425.
- Broadfoot, J. D., R. C. Rosatte, D. T. O'Leary. 2001. Raccoon and skunk population models for urban disease control planning in Ontario, Canada. *Ecological Applications* 11: 295-303.
- Burnham, K. P., D. R. Anderson. 1998. *Model selection and inference: a practical information-theoretic approach*. Springer-Verlag, New York, New York, USA.
- Dijak, W. D., F. R. Thompson. 2000. Landscape and edge effects on the distribution of mammalian predators in Missouri. *Journal of Wildlife Management* 64: 209-216.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2007. *ArcGIS Version 9.2*. ESRI, Redlands, California, USA.
- Frey, S. N., M. R. Conover. 2006. Habitat use by meso-predators in a corridor environment. *Journal of Wildlife Management* 70: 1111-1118.
- Gerhing, T. M., R. K. Swihart. 2003. Body size, niche breadth, and ecologically scaled responses to habitat fragmentation: mammalian predators in an agricultural landscape. *Biological Conservation* 109: 283-295.

- Gehrt, S. D., E. K. Fritzell. 1998. Resource distribution, female home range dispersion and male spatial interactions: group structure in a solitary carnivore. *Animal Behaviour* 55: 1211-1227.
- Gordon, E. R., A. T. Curns, J. W. Krebs, C. E. Rupprecht, L. A. Real, J. E. Childs. 2004. Temporal dynamics of rabies in a wildlife host and the risk of cross-species transmission. *Epidemiology and Infection* 132: 515-524.
- Greenwood, R. J., A. B. Sargeant, J. L. Piehl, D. A. Buhl, B. A. Hanson. 1999. Foods and foraging of prairie striped skunks during the avian nesting season. *Wildlife Society Bulletin* 27: 823-832.
- Henner, C. M., M. J. Chamberlain, B. D. Leopold, L. W. Buger. 2004. A multi-resolution assessment of raccoon den selection. *Journal of Wildlife Management* 68: 179-187.
- Hosmer, D. W., S. Lemeshow. 2000. *Applied logistic regression*, 2nd ed. Wiley, New York. 373 p.
- Hwang, Y. T., S. Larivière, F. Messier. 2007. Local- and landscape-level den selection of striped skunks on the Canadian prairies. *Canadian Journal of Zoology* 85: 33-39.
- Johnson, D. H. 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61: 65-71.
- Jolicœur, H., G. Daigle, N. Vandal, V. Jomphe. 2009. Évaluation des densités de rats laveurs et de mouffettes rayées dans le cadre des interventions de lutte contre la rage du raton laveur en Montérégie en 2006 et 2007. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats. Université Laval, Service de consultation statistique, Québec. 75 p.
- Kotliar, N. B., J. A. Wiens. 1990. Multiple scales of patchiness and patch structure: a hierarchical framework for the study of heterogeneity. *Oikos* 59:253-260.
- Manel, S., H. C. Williams, S. J. Ormerod. 2001. Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology* 38: 921-931.
- McCullagh, P., J. A. Nelder. 1999. *Generalized linear models*. Chapman and Hall (eds). 511 p.
- Mladenoff, D. J., T. A. Sickley, R. G. Haight, A. P. Wydeven. 1995. A regional landscape analysis and prediction of favourable gray wolf habitat in the northern Great Lake region. *Conservation Biology* 9: 279-294.
- Morris, D. W. 1992. Scales and costs of habitat selection in heterogenous landscapes. *Evolutionary Ecology* 6: 412-432.

- Nielsen, S. E., C. J. Johnson, D. C. Heard, M. S. Boyce. 2005. Can models of presence-absence be used to scale abundance? Two cases studies considering extremes in life history. *Ecography* 28: 197-208.
- Pedlar, J. H., L. Fahrig, H. G. Merriam. 1997. Raccoon habitat use at 2 spatial scales. *Journal of Wildlife Management* 61: 102-112.
- Phillips, M. L., W. R. Clark, S. M. Nusser, M. A. Sovada, R. J. Greenwood. 2004. Analysis of predator movement in prairie landscapes with contrasting grassland composition. *Journal of Mammalogy* 85: 187-195.
- Prange, S., S. D. Gehrt, E. P. Wiggers. 2003. Demographic factors contributing to high raccoon densities in urban landscape. *Journal of Wildlife Management* 67: 324-333.
- Prange, S., S. D. Gehrt. 2004. Changes in mesopredator-community structure in response to urbanization. *Canadian Journal of Zoology* 82: 1804-1817.
- Prange, S., S. D. Gehrt, E. P. Wiggers. 2004. Influence of anthropogenic resources on raccoon (*Procyon lotor*) movements and spatial distribution. *Journal of Mammalogy* 85: 483-490.
- Ramey, P. C., B. F. Blackwell, R. J. Gates, R. D. Slemons. 2008. Oral rabies vaccination of northern Ohio raccoon population: relevance of population density and prebait serology. *Journal of Wildlife Diseases* 44: 553-568.
- Riley, S. P., J. Hadidian, D. A. Manski. 1998. Population density, survival, and rabies in raccoons in an urban national park. *Canadian Journal of Zoology* 76: 1153-1164.
- Rivest, P., J.-M. Bergeron. 1981. Density, food habits, and economic importance of raccoons (*Procyon lotor*) in Quebec agrosystems. *Canadian Journal of Zoology* 59: 1755-1762.
- Rosatte, R. C., M. J. Power, C. D. MacInnes, J. B. Campbell. 1992. Trap-vaccinate-release and oral vaccination for rabies control in urban skunks, raccoons and foxes. *Journal of Wildlife Diseases* 28: 562-571.
- Rosatte, R. C., C. D. MacInnes, R. T. Williams, O. Williams. 1997. A proactive prevention strategy for raccoon rabies in Ontario, Canada. *Wildlife Society Bulletin* 25: 110-116.
- Royle, J. A., J. D. Nichols. 2003. Estimating abundance from repeated presence-absence data or point counts. *Ecology* 84: 777-790.
- Royle, J. A., J. D. Nichols, M. Kerry. 2005. Modelling occurrence and abundance when species detection is imperfect. *Oikos* 110: 353-359.

SAS Institute. 2008. SAS/STAT user's guide, Version 9.2. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.

Thompson, F. R., F. A. La Sorte. 2008. Comparison of methods for estimating bird abundance and trends from historical count data. *Journal of Wildlife Management* 72: 1674-1682.

Weissinger, M. D., T. C. Theimer, D. L. Bergman, T. J. Deliberto. 2009. Nightly and seasonal movements, seasonal home range, and focal location photo-monitoring of urban striped skunks (*Mephitis mephitis*): implications for rabies transmission. *Journal of Wildlife Diseases* 45: 388-397.

White, P. C., L. S. Harris, G. C. Smith. 1995. Fox contact behaviour and rabies spread: a model for estimation of contact probabilities between urban foxes at different population densities and its implications for rabies control in Britain. *Journal of Applied Ecology* 32: 693-706.



Ressources naturelles
et Faune

Québec 

