

Université de Montréal

DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DES CAS DE RAGE RAPPORTÉS CHEZ LE RATON LAVEUR ET LA MOUFETTE AU VERMONT (1994-2004) ET LEURS ASSOCIATIONS AVEC DES FACTEURS ÉCOLOGIQUES ET DÉMOGRAPHIQUES

par

Jean Kesner MICHEL

Département de pathologie et microbiologie
Faculté de médecine vétérinaire

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Maître ès sciences (M.Sc.)
en sciences vétérinaires
option épidémiologie

Mars, 2006

© Jean Kesner Michel, 2006



SF

607

US4

2006

V. 016

AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DES CAS DE RAGE RAPPORTÉS CHEZ LE
RATON LAVEUR ET LA MOUFETTE AU VERMONT (1994-2004) ET LEURS
ASSOCIATIONS AVEC DES FACTEURS ÉCOLOGIQUES ET DÉMOGRAPHIQUES

présenté par :

Jean Kesner MICHEL

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Dr Roger RUPPANNER
Président-rapporteur

Dre Denise BÉLANGER
Directrice de recherche

Dr Alex THOMPSON
Codirecteur de recherche

Dr Jean Pierre VAILLANCOURT
Membre du jury

RÉSUMÉ

La rage affecte particulièrement la faune sauvage en Amérique du Nord. Aux États-Unis, une souche associée au raton laveur a été isolée en 1947 en Floride. Depuis 1977, elle s'est propagée dans des États du nord-est dont ceux limitrophes au Québec, et aussi en Ontario et au Nouveau-Brunswick. Cette étude décrit la distribution spatiale et temporelle des cas de rage rapportés au Vermont chez le raton laveur et la mouffette (1994-2004), et explore les associations entre les cas et des facteurs écologiques, démographiques et la vaccination.

Les cas ont été rapportés dans le cadre d'un programme de surveillance au Vermont. La description de la distribution spatiale des cas a été faite à l'aide du logiciel ArcView 3.2; celle de la distribution dans le temps avec NCSS-PASS. Deux périodes ont été prises en considération : 1994-1997 et 1998-2004. Les clusters (grappes) dans l'espace et dans le temps ont été détectés avec le logiciel ClusterSeer; les associations entre les cas et les facteurs écologiques, démographiques et la vaccination ont été explorées selon un modèle de Régression binomiale négative avec SAS.

Sur les 1069 cas de rage rapportés chez tous les animaux entre 1994 et 2004, 58% sont chez le raton laveur et 18 % chez la mouffette, ce qui fait de cette dernière l'espèce la plus touchée après le raton laveur.

Sur le plan spatial, la rage (souche raton laveur) affecte 42% des Zips (superficie associée aux codes postaux) du Vermont. Parmi les Zips infectés, 50% ont des cas chez les deux espèces, 42% ont eu des cas de raton laveur et 8% que des cas de mouffette. Cependant, ces Zips avec des cas uniques de mouffettes sont toujours contigus à un Zip avec raton laveur, ce qui laisse supposer qu'au niveau spatial les cas de rage de la mouffette sont tributaires de ceux des ratons laveurs.

Au niveau temporel, on a constaté que le nombre moyen de cas de raton laveur par année était statistiquement plus élevé pendant la première période que pendant la deuxième ($p=0,004$) alors que chez la moufette aucune différence significative n'a été observée entre les deux périodes ($p=0,25$). En termes de variation saisonnière, il n'y a pas eu de différence entre les deux espèces : pic de cas au printemps et faible activité en été.

Par ailleurs, la méthode de Cuzick & Edwards a révélé la présence de clusters dans l'espace soit chez le raton laveur : distance entre voisins significative à partir de deux voisins ($p<0,001$) pour la première période et dès le premier voisin ($p<0,001$) pour la deuxième période. Chez la moufette cette distance est significative à partir de deux voisins ($p<0,001$). Le test Scan Statistic de Wallenstein a montré qu'il existe des agrégats au niveau temporel chez le raton laveur ($p=0,001$ pour des fenêtres de 2 à 6 mois) et aussi chez la moufette ($p=0,03$ et $p=0,006$ respectivement pour des fenêtres de 3 et 4 mois).

Enfin, chez le raton laveur, la densité humaine ($p<0,0001$) et le pourcentage de couverture en zone urbaine avec parcs récréationnels ($p<0,0001$) étaient positivement associés au nombre de cas ; le pourcentage de couverture en eau ($p=0,07$), forêts mixtes ($p=0,065$), zone résidentielle de faible intensité ($p=0,007$), zone humide avec herbacées émergentes ($p=0,004$) et l'altitude ($p=0,013$) étaient négativement associés au nombre de cas. Chez la moufette, les facteurs positivement associés au nombre de cas étaient le nombre de cas de raton laveur/Zip ($p<0,0001$) et la densité humaine ($p<0,0001$). Le pourcentage de couverture en forêts à feuilles caduques ($p=0,01$), en zone de pâturage ($p=0,08$), en zone résidentielle d'intensité élevée ($p=0,003$) et en zone humide avec herbacées émergentes ($p=0,006$) étaient négativement associés au nombre de cas de moufette.

La variable vaccination n'a été trouvée significative dans aucun des modèles.

Mots-clés : rage, raton laveur, moufette, analyse spatio-temporelle, facteurs écologiques et démographiques, vaccination.

ABSTRACT

Rabies affects all mammals in North America and, recently, especially wildlife. In the USA, the raccoon strain of the rabies virus (rabies) was first isolated in Florida in 1947. Since 1997, this rabies strain has expanded into the North Eastern states, including those that border Quebec, Ontario and New Brunswick. The objectives of this study were to describe the space and temporal distribution of rabies, in raccoons and skunks, reported in Vermont (1994-2004) and to explore associations between rabid animals and ecological factors, demographic determinants and aerially dispersed rabies vaccine (vaccination).

Suspected rabies cadavers were forwarded to the Vermont State Diagnostic Laboratory for confirmation by a rabies epidemiological monitoring program. The spatial distribution of cases was visualized and described in ArcView GIS 3.2 and Terraseer; and temporally in Terraseer and NCSS-PASS. Time was divided into two periods: 1994 through 1997 and 1998 through 2004. Clusters of cases in space or time were detected in ClusterSeer (Terraseer). The exploration of associations between cases and ecological factors, human density and vaccination was completed by negative binomial regression model in SAS.

In total, 1069 cases of rabies were diagnosed and reported during the 11-years study period for Vermont. The highest number of cases occurred in raccoons (58%) and skunk cases were the second most frequent species (18%).

Spatially, raccoon cases occurred in 42% of the Zip code postal regions (Zips) in Vermont. Among the positive Zips, 50% had cases in both species, 42% of Zips had only raccoon cases and 8% had only skunk cases. However, these Zips with only skunk cases were contiguous with a Zip that had raccoon cases.

Temporally, we noted that the annual number of raccoon cases was significantly higher during the first time-period than during the second ($p=0,004$), whereas for the skunks, no significant difference was observed between the two time-periods ($p=0,25$).

In terms of annual seasonal variation, no difference was noted between the two species; the number of cases peaked during the spring followed by an inactive period during the summer.

In addition, the Cuzick & Edwards cluster detection method showed evidence of clustering of raccoon cases for the first time-period (the distance between *cases* were closer than the distance between *controls*) when the two nearest neighbours were used ($p < 0,001$); for the second time-period clustering was noted starting at the one nearest neighbour level ($p < 0,001$). For the skunk cases spatial clustering was evident for the complete study period when the two nearest neighbours were used ($p < 0,001$). The Wallenstein Scan Statistic showed that raccoon cases are temporally aggregated for time periods of two to six months ($p < 0,001$) and temporal clustering in skunk cases occurred when time periods of three and four months were used ($p = 0,03$ and $p = 0,006$ respectively).

Human density ($p < 0,0001$) and percent coverage by urban area with parks ($p < 0,0001$) were positively associated with the number of raccoon cases, whereas percent coverage by water ($p = 0,07$), percent coverage by mixed forest ($p = 0,065$), percent coverage by low intensity residential area ($p = 0,007$), percent coverage in wetlands with herbaceous emergent vegetation ($p = 0,004$) and altitude ($p = 0,013$) were negatively associated with the number of raccoon cases. For the skunk, the factors positively associated with the number of cases were the number of raccoon cases reported in the same Zip ($p < 0,001$) and human density ($p < 0,0001$). The percent coverage of deciduous forest ($p = 0,01$), percent coverage by pastures ($p = 0,08$), percent coverage by high intensity residential areas ($p = 0,003$) and percent coverage of wetlands with herbaceous emergent vegetation ($p = 0,006$) were negatively associated with the number of skunk cases. Vaccination was not significant.

Keywords: raccoon and skunk rabies, spatial and temporal analysis, ecological and demographic factors, vaccination

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iii
ABSTRACT	v
TABLE DES MATIÈRES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES FIGURES	xii
LISTE DES ANNEXES.....	xv
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	xvi
REMERCIEMENTS	xix
I. INTRODUCTION.....	1
1.1. Problématique	1
1.2. Objectifs	6
1.3. Hypothèses	6
II. RECENSION DE LA LITTÉRATURE.....	7
2.1. Biologie du Raton laveur et de la Moufette	7
2.1.1. <i>Classification zoologique</i>	7
2.1.2. <i>Généralités</i>	9
2.1.3. <i>Reproduction</i>	11
2.1.4. <i>Alimentation</i>	12
2.1.5. <i>Habitat et éthologie</i>	13
2.1.6. <i>Distribution géographique</i>	15
2.1.7. <i>Densité</i>	15

2.2.	La maladie de la rage	17
2.2.1.	<i>Définition / Synonymie</i>	17
2.2.2.	<i>Étiologie</i>	17
2.2.3.	<i>Épidémiologie</i>	19
2.2.4.	<i>Symptômes</i>	19
2.2.5.	<i>Diagnostic</i>	22
2.2.6.	<i>Prophylaxie</i>	23
2.3.	Situation de la rage aux États-unis	23
2.3.1	<i>La rage humaine</i>	23
2.3.2.	<i>Les réservoirs de rage terrestre aux États-Unis</i>	24
2.3.3.	<i>La rage du raton laveur et de la mouffette aux États-Unis</i>	25
2.3.4.	<i>Prévention et contrôle de la rage</i>	27
2.3.5.	<i>La vaccination antirabique dans l'État du Vermont</i>	29
2.3.6.	<i>Surveillance épidémiologique de la rage du raton laveur au Vermont</i>	30
2.4.	Situation de la rage au Québec.....	31
2.5.	Facteurs écologiques et la rage du raton laveur et de la mouffette	33
III.	MATÉRIEL ET METHODES	35
3.1.	Choix de l'aire de l'étude.....	35
3.2.	Constitution de la base de données	35
3.2.1.	<i>Données de surveillance</i>	35
3.2.2.	<i>Les Zips du Vermont</i>	36
3.2.3.	<i>Altitude</i>	37
3.2.4.	<i>Landuse</i>	37
3.2.5.	<i>Démographie</i>	39
3.2.6.	<i>Vaccination</i>	40

3.3.	Analyses descriptives	40
3.3.1.	<i>Statistiques descriptives</i>	40
3.3.2.	<i>Analyse de la distribution spatiale</i>	41
3.3.3.	<i>Analyse de la distribution temporelle</i>	41
3.3.4.	<i>Exploration de la distribution spatio-temporelle</i>	42
3.4.	Détection des clusters.....	42
3.4.1.	<i>Détection des clusters dans l'espace</i>	42
3.4.2.	<i>Détection des clusters dans le temps</i>	43
3.5.	Exploration des associations entre les facteurs écologiques et démographiques avec les cas rapportés	44
IV.	PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	46
4.1.	Analyses descriptives	46
4.1.1.	<i>Répartition des cas par espèce</i>	46
4.1.2.	<i>Description de la distribution spatiale des cas</i>	46
4.1.2.1.	Répartition des cas de rage de raton laveur et mouffette par comté ...	46
4.1.2.2.	Localisation des cas de raton laveur entre 1994 et 2004	49
4.1.2.3.	Localisation des cas de mouffette entre 1994 et 2004	50
4.1.2.3.	Cas totaux raton laveur et mouffette entre 1994 et 2004.....	51
4.1.3.	<i>Description de la distribution temporelle des cas</i>	52
4.1.3.1.	Répartition annuelle des cas par espèce	52
4.1.3.2.	Répartition mensuelle des cas par espèce	53
4.1.3.3.	Évolution du rapport du nombre de cas raton laveur/nombre de cas mouffette	55
4.1.4.	<i>Description de la distribution spatio-temporelle des cas</i>	57
4.2.	Analyse des clusters (grappes).....	57
4.2.1.	<i>Clusters au niveau spatial</i>	58
4.2.1.1	Chez le raton laveur.....	58
4.2.1.2.	Chez la mouffette.....	60
4.2.2.	<i>Clusters au niveau temporel</i>	61

4.3.	Associations des cas avec des facteurs écologiques et démographiques	63
4.3.1.	<i>Modèle cas ratons laveurs</i>	64
4.3.1.1.	Modèle cas raton laveur pendant la période T1 (1994-1997)	64
4.3.1.2.	Modèle cas ratons laveurs pendant la période T2 (1998-2004)	65
4.3.1.3.	Cas raton laveur sur toute la période (1994-2004)	66
4.3.2.	<i>Modèle cas moufettes</i>	70
4.3.3.	<i>Modèle cas totaux</i>	74
V.	DISCUSSION GÉNÉRALE	79
5.1.	Analyse du contexte de l'étude	79
5.2.	Analyse de la distribution spatiale des cas.....	81
5.3.	Analyse de la distribution temporelle des cas.....	84
5.4.	Analyse des clusters	87
5.5.	Analyse des associations entre les cas et les facteurs écologiques et démographiques	90
VI.	CONCLUSION	96
	BIBLIOGRAPHIE	99
	ANNEXES	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Classification zoologique du raton laveur et de la moufette rayée	7
Tableau II. Cas de rage animale au Québec entre 1998 et 2004	32
Tableau III. Nombre de cas de raton laveur et de moufette rapportés par comté. Vermont 1994-2004	47
Tableau IV. Clusters à l'échelle temporelle pour les cas de rage de raton laveur. Vermont 1994-2004	61
Tableau V. Clusters à l'échelle temporelle pour les cas de rage de moufette. Vermont 1994-2004	62
Tableau VI. Facteurs associés aux cas de raton laveur pendant la période T1. Vermont 1994-1997	64
Tableau VII. Facteurs associés aux cas de raton laveur pendant la période T2. Vermont 1998-2004	65
Tableau VIII. Facteurs associés aux cas totaux de raton laveur. Vermont 1994-2004.....	66
Tableau IX. Facteurs associés aux cas totaux de moufette. Vermont 1994-2004.....	71
Tableau X. Facteurs associés aux cas totaux cumulés. Vermont 1994-2004.....	75

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Évolution de la souche rabique du raton laveur aux États-Unis et au Canada	3
Figure 2. Le raton laveur (<i>Procyon lotor</i>).....	9
Figure 3. La moufette rayée (<i>Mephitis mephitis</i>)	11
Figure 4. Structure du virus rabique.....	18
Figure 5. Distribution des réservoirs de la rage terrestre aux États-Unis.....	25
Figure 6. Répartition des cas de raton laveur et de moufette par comté. Vermont 1994-2004	48
Figure 7. Distribution des fréquences de cas de rage chez le raton laveur selon le Zip. Vermont 1994 - 2004	49
Figure 8. Distribution de fréquence des cas de rage chez la moufette selon le Zip. Vermont 1994 - 2004	50
Figure 9. Localisation (par Zip) des cas de rage rapportés chez le raton laveur et la moufette. Vermont 1994 - 2004.....	51
Figure 10. Évolution du nombre de cas de rage chez le raton laveur et la moufette. Vermont 1994 - 2004	52
Figure 11. Variation moyenne mensuelle des cas de rage chez le raton laveur et la moufette. Vermont 1994 - 2004	54
Figure 12. Rapport annuel du nombre de cas raton laveur/nombre de cas moufette. Vermont 1994 - 2004	55
Figure 13. Rapport mensuel du nombre de cas raton laveur/nombre de cas moufette. Vermont 1994 - 2004	56
Figure 14. Clusters à l'échelle spatiale chez le raton laveur pendant la période T1 (1994- 1997). Vermont	58

Figure 15. Clusters à l'échelle spatiale chez le raton laveur pendant la période T2 (1998-2004). Vermont	59
Figure 16. Clusters à l'échelle spatiale chez la moufette. Vermont 1994-2004	60
Figure 17. Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport au log la densité humaine (hbts/km ²). Vermont 1994-2004	67
Figure 18. Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport à la couverture en zone urbaine avec parc récréationnel. Vermont 1994-2004	67
Figure 19. Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport à la couverture en eau. Vermont 1994-2004	68
Figure 20. Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport à la couverture en zone résidentielle de faible intensité. Vermont 1994-2004	68
Figure 21. Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport à la couverture en zone humide avec herbacées émergentes. Vermont 1994-2004	69
Figure 22. Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport à la couverture en forêt mixte. Vermont 1994-2004	69
Figure 23. Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport à l'altitude. Vermont 1994-2004	70
Figure 24. Dispersion des cas de rage de moufette par rapport au log la densité humaine (hbts/km ²). Vermont 1994-2004	72
Figure 25. Dispersion des cas de rage de moufette par rapport à la couverture en zone résidentielle à intensité élevée. Vermont 1994-2004	72
Figure 26. Dispersion des cas de rage de moufette par rapport à la couverture en zone humide avec herbacées émergentes. Vermont 1994-2004	73

Figure 27. Dispersion des cas de rage de mouffette par rapport à la couverture en forêt à feuilles caduques. Vermont 1994-2004.....	73
Figure 28. Dispersion des cas de rage de mouffette par rapport à la couverture en zone de pâturage. Vermont 1994-2004	74
Figure 29. Dispersion des cas de rage totaux par rapport au log la densité humaine (hbts/km ²). Vermont 1994-2004	76
Figure 30. Dispersion des cas de rage totaux par rapport à la couverture en zone résidentielle à intensité élevée. Vermont 1994-2004	76
Figure 31. Dispersion des cas de rage totaux par rapport à la couverture en zone humide avec herbacées émergentes. Vermont 1994-2004.....	77
Figure 32. Dispersion des cas de rage totaux par rapport à la couverture en zone urbaine avec parc récréationnel. Vermont 1994-2004	77
Figure 33. Dispersion des cas de rage totaux par rapport à la couverture en forêt mixte. Vermont 1994-2004	78
Figure 34. Dispersion des cas de rage totaux par rapport à l'altitude. Vermont 1994-2004	78

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Localisation des cas de raton laveur pour l'année 1994	II
Annexe 2. Localisation des cas de raton laveur pour l'année 1995	II
Annexe 3. Localisation des cas de raton laveur pour l'année 1996	III
Annexe 4. Localisation des cas de raton laveur pour l'année 1997	III
Annexe 5. Localisation des cas de raton laveur pour l'année 1998	IV
Annexe 6. Localisation des cas de raton laveur pour l'année 1999	IV
Annexe 7. Localisation des cas de raton laveur pour l'année 2000	V
Annexe 8. Localisation des cas de raton laveur pour l'année 2001	V
Annexe 9. Localisation des cas de raton laveur pour l'année 2002	VI
Annexe 10. Localisation des cas de raton laveur pour l'année 2003	VI
Annexe 11. Localisation des cas de raton laveur pour l'année 2004	VII
Annexe 12. Localisation des cas de moufette pour l'année 1994	VIII
Annexe 13. Localisation des cas de moufette pour l'année 1995	VIII
Annexe 14. Localisation des cas de moufette pour l'année 1996	IX
Annexe 15. Localisation des cas de moufette pour l'année 1997	IX
Annexe 16. Localisation des cas de moufette pour l'année 1998	X
Annexe 17. Localisation des cas de moufette pour l'année 1999	X
Annexe 18. Localisation des cas de moufette pour l'année 2000	XI
Annexe 19. Localisation des cas de moufette pour l'année 2001	XI
Annexe 20. Localisation des cas de moufette pour l'année 2002	XII
Annexe 21. Localisation des cas de moufette pour l'année 2003	XII
Annexe 22. Localisation des cas de moufette pour l'année 2004	XIII
Annexe 23. Évolution des cas de rage de raton laveur rapportés au Vermont par mois entre 1994 et 2004	XIV
Annexe 24. Évolution des cas de rage de moufette rapportés au Vermont par mois entre 1994 et 2004	XIV

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ABL	:	Australian Bat Lyssavirus
ACDI	:	Agence Canadienne de Développement International
ACIA	:	Agence Canadienne d'Inspection des Aliments
ADN	:	Acide Desoxyribo-Nucléique
ARN	:	Acide Ribo-Nucléique
CDC	:	Center of Diseases Control and Prevention
CMAJ	:	Canadian Medical Association Journal
CRV	:	Challenge Rabies Virus
EBL ₁	:	European Bat Lyssavirus 1
EBL ₂	:	European Bat Lyssavirus 2
ELISA	:	Enzyme-Linked Immunosorbent Assay
ENVF	:	Écoles Nationales Vétérinaires Françaises
GNB	:	Government of New Brunswick
IFD	:	Immuno-Fluorecence Directe
JAVMA	:	Journal of American Veterinary Medical Association
Mf	:	Moufettes
MMWR	:	Morbidity and Mortality Weekly Report
MRNFQ	:	Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec
MSSS	:	Ministère de la Santé et des Services Sociaux
NCSS	:	Number Cruncher Statistical System
OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé
ORV	:	Oral Rabies Vaccination
PASS	:	Power Analysis and Sample Size
PCBF	:	Programme Canadien de Bourses de la Francophonie
PPE	:	Prophylaxie Post-Exposition
RIS	:	Rabies Inhibiting Substances
RL	:	Ratons laveurs

RMTC	:	Relevés des Maladies Transmissibles au Canada
RT-PCR	:	Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction
SAD	:	Street Alabama Dufferin
SIG	:	Systèmes d'Information Géographique
TVR	:	Trap Vaccinate and Release
USA	:	United States of America
USD	:	Dollars américains
USDA	:	United States Department of Agriculture
USEPA	:	United States Environment Protection Agency
USGS	:	United States Geological Survey
UTM	:	Universal Transverse Mercator
V-GR	:	Vaccine Glycoprotein Recombinant
ZIP	:	Zone Improvement Plan
°C	:	degrés Celsius
cm	:	centimètre
g	:	gramme
ha	:	hectare
hbts/km ²	:	habitants par kilomètre carré
kg	:	kilogramme
km ²	:	kilomètre carré
m	:	mètre
nm	:	nanomètre

A ma fille Mayganne Keïla

REMERCIEMENTS

En tout premier lieu je remercie le Dieu Tout-Puissant pour m'avoir donné la force et le courage de mener à terme mon projet de maîtrise.

Je tiens à témoigner ma profonde gratitude envers les personnes et institutions dont l'aide et le soutien ont été particulièrement importants tout au long de ce projet :

- ✚ Dr Denise Bélanger, ma directrice de recherche dont l'encadrement a été excellent ;
- ✚ Dr Alex Thompson, mon co-directeur pour ses conseils et surtout pour m'avoir initié aux Systèmes d'Information Géographique ;
- ✚ Ma famille, spécialement ma sœur Marie-Smithe et mon père Jules Michel pour avoir toujours été présents même dans les moments les plus difficiles ;
- ✚ Dr Guy Beauchamp pour son aide inestimable dans les analyses statistiques ;
- ✚ Dr Roger Ruppner pour avoir accepté de faire partie de mon comité conseil ;
- ✚ Mes professeurs à la Faculté de Médecine Vétérinaire, notamment Dr Michel Bigras-Poulin pour m'avoir transmis son intérêt pour l'épidémiologie ;
- ✚ Monsieur Yves Galipeau et toute l'équipe du PCBF (et de l'ACDI) pour leur soutien et surtout pour avoir facilité mon stage à l'Institut Pasteur de Bruxelles et ma participation au 73^{ème} Congrès de l'Acfas à l'Université du Québec à Chicoutimi;
- ✚ Madame Elise Tousignant ma conseillère pédagogique pendant ma première année de maîtrise ;
- ✚ Madame Jovette Chouinard, ma conseillère pédagogique pendant ma deuxième année ;
- ✚ Dr Robert Johnson de Vermont Department of Public Health, pour l'acquisition de la base de données sur les cas de rage au Vermont ;

- ✦ Mme Martha A. Pitt de USDA-Wildlife Services pour les informations sur la surveillance épidémiologique de la rage au Vermont ;
- ✦ Madame Laura Finck de Vermont Public Health Laboratory à Burlington ;
- ✦ Stéphanie Brazeau et Caroline Guenette pour leur aide précieuse pendant l'apprentissage du logiciel ArcView GIS ;
- ✦ Mes collègues de promotion à la Faculté de Médecine Vétérinaire ;
- ✦ Madame Diane Daigneault du Pavillon Dessauls pour ses encouragements ;
- ✦ Mes coéquipiers de volley-ball de la faculté, particulièrement Guillaume Théberge et Dominic Ferron ;
- ✦ Mes amis d'Haïti qui ont toujours cru en moi et qui n'ont jamais cessé de me soutenir : Jean Evens Florient, Yves-Edouinn Joseph, Gérald Barreau.
- ✦ Dre Françoise Costy, Dre Sophie Escutenaire et Dr Nicolas Praet du Service de la Rage de l'Institut Pasteur de Bruxelles pour m'avoir accueilli pour mon stage d'été 2004 en Belgique ;

Enfin, à tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont contribué à la réussite de mon projet de maîtrise, j'adresse mes plus sincères remerciements.

I. INTRODUCTION

1.1. Problématique

La rage est une zoonose majeure d'évolution presque toujours fatale qui affecte le système nerveux de la plupart des animaux domestiques et sauvages avec des répercussions énormes tant sur le plan de la santé publique que sur le plan économique. Selon l'OMS, chaque année entre 35.000 et 50.000 personnes meurent dans le monde après avoir contracté la rage (RMTC, 2000). L'importance économique de cette maladie réside dans les coûts qu'elle peut engendrer notamment en ce qui a trait au contrôle et à la surveillance épidémiologique, la mortalité des animaux touchés, l'hospitalisation des cas humains, la prophylaxie post-exposition (PPE), la sensibilisation de la population, le diagnostic de laboratoire, la vaccination.

De répartition géographique mondiale la rage affecte particulièrement la faune sauvage en Amérique du Nord, comme dans la plupart des pays développés où la rage canine est largement contrôlée (Acha & Szyfres, 1989). Aux États-Unis, le virus de la rage circule dans divers réservoirs animaux dont le raton laveur, la mouffette rayée, le renard et aussi la chauve-souris (Krebs et al, 2000).

La souche virale associée au raton laveur a été isolée pour la première fois en Floride en 1947 (McLean, 1971). Auparavant, les cas de rage n'étaient que sporadiquement rapportés chez le raton laveur, le premier cas étant diagnostiqué en Californie en 1936 (McLean, 1975). Jusqu'au début de l'épidémie de rage en Floride à la fin des années 40, environ 20 cas seulement étaient rapportés annuellement à travers les États-Unis (Jenkins & Winkler, 1987).

A partir de 1963, l'épizootie de rage du raton laveur a touché l'état de Georgie frontalier à la Floride quand un premier cas a été rapporté (Figure 1). Et tout au long des années 60, cette épidémie fut confinée dans ces deux États qui représentaient à eux seuls, par exemple en 1969, environ 94% de tous les cas de rage rapportés chez le raton laveur aux États-Unis (Kappus et al, 1970).

Au cours des années 70, l'épidémie de la rage du raton laveur a considérablement progressé en direction nord par rapport à la Floride et la Géorgie. A partir de 1977 des cas ont été signalés dans les états du Mid-Atlantic comme la Caroline du Nord et la Virginie, (Nettles et al, 1979; Jenkins & Winkler, 1987). En fait, des clubs de chasse dans les régions montagneuses du sud-est des États-Unis avaient l'habitude d'importer des ratons laveurs de la Floride pour les relâcher par la suite dans la nature. Or en 1977, deux ratons laveurs rabiques ont été trouvés parmi un groupe de ratons laveurs importés par un club en Caroline du Nord (Nettles et al, 1979). Il est fort probable que ces animaux infectés aient transmis le virus à d'autres durant le transport; ces derniers l'auraient disséminé une fois relâchés dans la nature.

Installée dans les états du Mid-Atlantic pendant les années 80, l'épidémie du raton laveur a continué sa progression pour atteindre le nord-est des États-Unis au début des années 90 quand un premier cas a été isolé dans l'État de New York en 1990 (Krebs et al, 2001). L'épizootie a progressé assez rapidement dans cet État et en 1998, 1096 cas de rage associés à la variante du raton laveur ont été rapportés soit huit années consécutives avec plus de 1000 cas par année (Krebs et al, 2004).

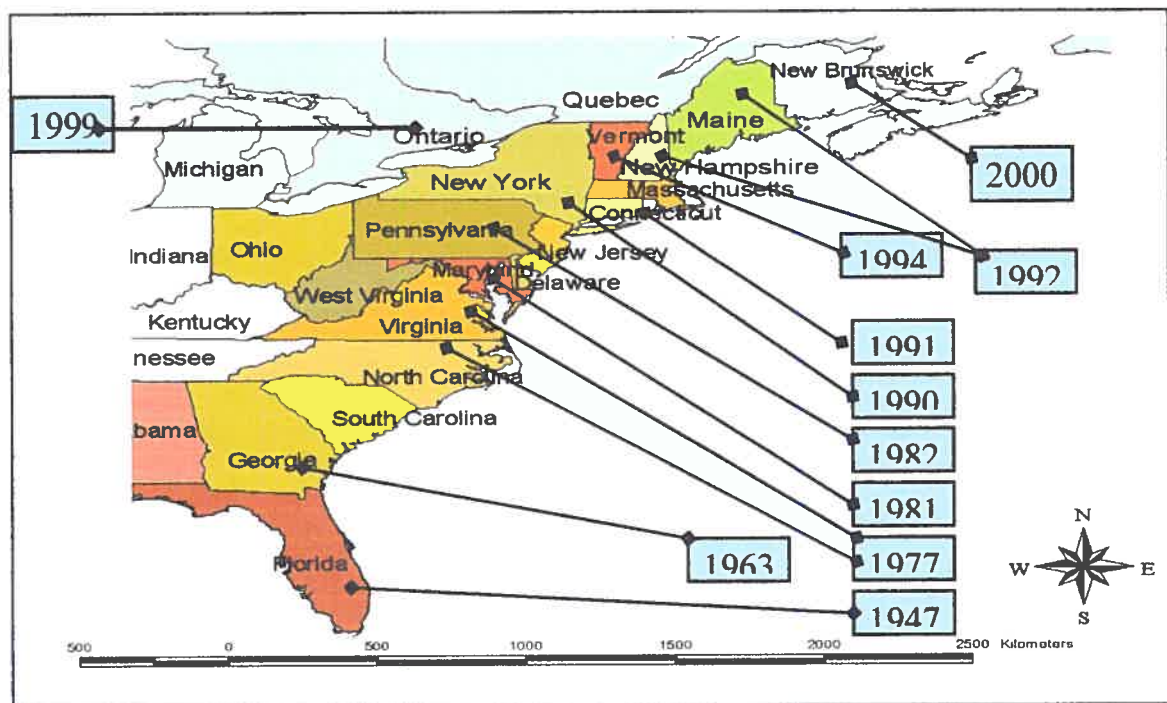
Les autres états limitrophes au Québec ont été touchés quelques années après. En 1992, le Maine enregistre son premier cas de rage associée à la souche virale du raton laveur et entre 1994 et 1999, 85% des 857 cas de rage animale rapportés dans l'État du Maine étaient imputables à la souche du raton laveur.

Le New Hampshire est atteint aussi en 1992 et en 1994 enregistre 140 cas de rage associés à la souche virale du raton laveur. En 1994 les premiers cas de rage imputables à la variante virale du raton laveur sont rapportés dans l'État du Vermont (CDC, 2000). En fait, l'épidémie de rage du raton laveur s'est dispersée en direction nord-est selon une vitesse de 30 à 50 km par année (Dobson, 2000).

En juillet 1999, la souche rabique du raton laveur a été isolée pour la première fois en Ontario dans la région de Prescott, proche de la frontière avec l'état de New York (Wright & Jansen, 2001). Depuis l'apparition de cette souche en Ontario jusqu'en 2004, 131 cas ont été rapportés : 123 ratons laveurs et deux mouffettes dans les comtés de Leeds et Grenville ; six ratons laveurs dans le comté de Frontenac (Bachmann, 2004).

Au Nouveau-Brunswick, le premier cas de rage associé à la souche raton laveur a été diagnostiqué en septembre 2000 (Sibbald, 2001). Jusqu'en 2002, 64 cas de rage imputables à cette souche sont rapportés dans cette province, soit 13 en 2000, 48 en 2001 et trois en 2002 ; depuis 2003 aucun cas n'a été rapporté (GNB, 2005).

Figure 1. Évolution de la souche rabique du raton laveur aux États-Unis et au Canada



Source : McLean (1971), Hubbard (1985), Torrence et al (1989), Anthony et al (1990), Wilson et al (1997), Riley et al (1998), Moore (1999), Krebs et al (2001), CDC (2000), Wright et Jansen (2001)

Malgré la persistance de la rage du raton laveur dans ces états américains et provinces canadiennes limitrophes au Québec, aucun cas de rage associé à cette souche n'a encore été rapporté (Messier et al, 2005). Néanmoins, la menace est présente et des mesures de vigilance sont mises en place par différentes institutions de la province dont le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (MSSS), le Ministère de l'Agriculture des Pêches et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), l'Agence Canadienne d'Inspection des Aliments (ACIA) et le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec (MRNFQ).

La souche rabique du raton laveur est transmissible et pathogène aux humains. En effet, le premier cas (documenté) de mortalité humaine associée à la souche rabique du raton laveur a été rapporté en Virginie en mars 2003 quand un jeune homme décède suite à une méningo-encéphalite d'étiologie inconnue. (Silverstein et al, 2003; Krebs et al, 2004). Le diagnostic post-mortem a révélé la présence du virus rabique, le séquençage génétique subséquent a permis d'identifier que le virus isolé était bel et bien celui de la souche du raton laveur.

Les coûts associés au contrôle et à la prévention de la rage dans les états du nord-est américain ont considérablement augmenté depuis l'apparition de l'épidémie de rage du raton laveur. Au Connecticut par exemple, le nombre de personnes auxquelles une PPE a été administrée est passé de 41 en 1990 à 887 pendant les neuf premiers mois de 1994 de propagation de l'épizootie. Le coût moyen pour une PPE est estimé à environ 1.500 USD (CDC, 1996). Dans l'État de New York, le nombre de PPE qui était de 100 par année avant 1990 a atteint 10.000 entre 1990 et 1995 (CDC, 1997).

Par ailleurs, il a été observé que pendant les épidémies de rage du raton laveur d'autres espèces animales sont également infectées. Parmi ces espèces, en termes de fréquence la mouffette rayée était la plus touchée après le raton laveur.

Quand on considère le nombre d'animaux rabiques associés à une exposition humaine aux États-Unis, le raton laveur et la moufette sont les deux espèces le plus importantes. Au niveau de l'état de New York par exemple entre 1993 et 1998, ils représentaient respectivement 65,2 % et 14,4 % des cas de rage rapportés avec exposition humaine (Chang et al, 2002).

De plus, ce sont deux espèces qui peuvent partager quelquefois le même habitat que l'homme, ce qui fait que la présence de ratons laveurs et/ou de moufettes rabiques constitue un sérieux problème de santé publique. La circulation de la rage parmi les animaux de la faune terrestre dont le raton laveur et la moufette constitue un risque pour la population humaine (Bretsky, 2001).

Plusieurs études ont montré que la rage évolue de façon différente chez ces deux espèces (Torrence et al, 1984; Pybus, 1988; Gremillion-Smith et al, 1998; Greenwood et al, 1997; Child et al, 2000). Cela pourrait être dû à des différences propres aux espèces, les variantes du virus ou par rapport à divers facteurs environnementaux (Guerra et al, 2003).

Il s'avère donc important que soient explorées les associations entre les cas de rage chez le raton laveur et la moufette et des facteurs environnementaux et démographiques. L'analyse de la distribution spatiale et temporelle des cas rapportés pourrait également permettre de générer certaines hypothèses.

1.2. Objectifs

Cette étude a pour objectifs :

- 1) de décrire la distribution temporelle et spatiale des cas de rage rapportés au Vermont chez le raton laveur et la mouffette entre 1994 et 2004 ;
- 2) d'explorer les associations entre les cas et des facteurs écologiques, démographiques et la vaccination.

1.3. Hypothèses

- 1) La distribution des cas de rage rapportés au Vermont est identique chez le raton laveur et chez la mouffette tant au niveau temporel que spatial.
- 2) Les cas de rage du raton laveur et de la mouffette au Vermont sont influencés par les mêmes facteurs écologiques et démographiques.

II. RECENSION DE LA LITTÉRATURE

2.1. Biologie du Raton laveur et de la Moufette

2.1.1. Classification zoologique

La classification zoologique du raton laveur (*Procyon lotor*) et de la moufette (*Mephitis mephitis*) est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau I. Classification zoologique du raton laveur et de la moufette rayée

	Raton laveur	Moufette rayée
Nom scientifique	<i>Procyon lotor</i>	<i>Mephitis mephitis</i>
Nom français	Raton laveur, Chat sauvage	Moufette rayée, Bête puante, Skunk d'Amérique
Nom anglais	Raccoon, Coon, Common Raccoon	Striped Skunk, Common Skunk, Skunk
Embranchement	Vertébrés	Vertébrés
Classe	Mammifères	Mammifères
Ordre	Carnivores	Carnivores
Famille	Procyonidés	Mustélidés
Sous-famille	-	Mephitinae
Genre	<i>Procyon</i>	<i>Mephitis</i>
Espèce	<i>lotor</i>	<i>mephitis</i>

Source : Dionne (1902), Hvass et Petter (1902), Cameron (1956), Sanderson (1957), Calahane (1958), Burt et Al (1976), Hamilton et Whitaker (1979), Pierard (1983), Forsyth (1999), Feldhamer et al (2003).

Les Procyonidés sont des carnivores plantigrades ayant cinq doigts aux quatre pattes et dotés d'une queue longue et touffue (Hvass & Petter, 1902). Ce sont des animaux de taille moyenne, au corps plus trapu qu'élancé et doté d'un museau plus ou moins allongé (Dionne, 1902).

Outre le raton laveur qui peuple tout l'Amérique du Nord jusqu'en Amérique Centrale mais aussi certaines parties d'Europe (Beaudin & Quintin, 1983), cette famille regroupe aussi d'autres espèces comme :

- le **coati roux** (*Nasua rufa*) et le **coati brun** (*Nasua narica*) très répandus sur le continent sud-américain ;
- le **kinkajou** (*Potos flavus*) qu'on peut trouver aussi aux États-Unis ;
- le **petit panda** (*Ailurus fulgens*) et le **panda géant** (*Ailuropoda melanoleuca*) particulièrement présents en Asie.

En ce qui a trait aux Mustélidés, il s'agit d'une famille extrêmement variée qui comprend des animaux aussi petits que la petite belette (*Mustela nivalis*) et d'autres de taille moyenne comme le glouton (*Gulo gulo*) (Pierard, 1983). Ces animaux possèdent un corps allongé avec des membres courts. Pentadactyles, ils peuvent être soit digitigrade, soit plantigrade soit à un stade intermédiaire entre les deux.

Dans cette famille, on trouve également d'autres espèces assez répandues en Amérique du Nord, notamment : l'**hermine** (*Mustela erminea*), le **vison** (*Mustela vison*), la **marte d'Amérique** (*Martes americana*), le **loutre de rivière** (*Lutra canadensis*), etc. (Hamilton & Whitaker, 1979).

2.1.2. Généralités

Le genre *Procyon* constitue la plus grande partie de la famille des Procyonidés et aussi le plus largement distribué (Nelson, 1930). Ces animaux se reconnaissent à partir de certaines caractéristiques comme :

- tête assez grosse et déprimée avec un museau effilé comme tronqué au bout ;
- oreilles de grandeur moyenne et arrondies ;
- ongles recourbés non rétractiles et de force moyenne (Dionne, 1902).

Le raton laveur, animal robuste de taille moyenne, mesure entre 0,65 et 0,96 m de longueur totale et pèse entre 6,4 et 16 kg. Ses principaux traits remarquables sont représentés par sa queue annelée de noir et de blanc ainsi que son masque noir (figure 2). Ses petites mains délicates et sensibles le rendent habile à manipuler les petits objets.

Doté de jambes courtes dont les pieds sont munis de griffes, cet excellent grimpeur est très à l'aise dans les arbres. De plus, c'est un très bon nageur. Cependant, il est assez vulnérable sur terre car ses pas de courses sont plutôt lents.

Figure 2: Le raton laveur (*Procyon lotor*)



Source : <http://www.csaffluents.qc.ca/animalier/ratonome.htm> (octobre 2004)

L'une des particularités du raton laveur réside en cette manie de laver sa nourriture avant de la consommer (Rue et Terres, 1964). Cependant cette habitude pourrait être due à une insuffisance de salivation (Whitney et Underwood, 1952).

En ce qui a trait à la mouffette, elle appartient à la sous-famille des Mephitinae dont les principales caractéristiques sont :

- des ongles non rétractiles, ceux des doigts antérieurs aptes à creuser la terre ;
- une démarche plantigrade ;
- des habitudes terrestres ;
- une certaine lenteur dans leurs mouvements (Dionne, 1902).

Il est important de souligner que, grâce à de récents travaux sur leur ADN, les mouffettes sont considérées aujourd'hui comme ayant leur propre famille, les Mephitidés. Cette famille comprend neuf espèces caractérisées par leur coloration foncée, la lenteur dans leur déplacement (Forsyth, 1999) et surtout la présence de glandes annales produisant une sécrétion fortement nauséabonde (Pierard, 1983). Ces glandes, à peu près de la taille d'un œuf de pigeon, sécrètent au moment opportun une substance huileuse, puante, volatile et colorée en jaune (Sanderson, 1957). Il s'agit plutôt d'un mécanisme de défense dont dispose la mouffette. Quand elle se sent menacée, elle projette ce liquide fétide sur une distance de quatre à cinq mètres.

A peu près de la grosseur d'un chat (figure 3), la mouffette mesure entre 54 et 77,5 cm de long; sa queue longue et touffue faisant à elle seule entre 17,5 et 28 cm. Elle est dotée d'un corps robuste avec une croupe large ; la tête, les yeux et les oreilles sont généralement petites. Dans l'ensemble, son pelage épais et lustré est noir; mais une petite rayure blanche marque le centre de sa face. Par ailleurs, une autre bande blanche part de sa tête et se divise sur la nuque avant de continuer de chaque côté du dos sur une distance variable. La queue se termine aussi par une touffe blanche.

Figure 3 : La moufette rayée (*Mephitis mephitis*)



Source : http://www.biocliv.ca/mammiferes/mephitis_mephitis.php (octobre 2004)

2.1.3. Reproduction

Le raton laveur atteint sa maturité sexuelle vers l'âge de deux ans chez le mâle, tandis que chez la femelle plus de 40% peuvent déjà se croiser dès leur première année (Forsyth, 1999). En général, la période de rut survient entre les mois de février et mars.

Dans les régions nordiques, les croisements peuvent avoir lieu dès le mois de décembre (Cahalane, 1958). Après une période de gestation de 63 jours en moyenne, la femelle du raton laveur donne naissance à des petits (un à sept) sans dent, les yeux clos et pesant entre 55 et 75 g (Beaudin & Quintin, 1983).

Chez la moufette, la puberté est atteinte à sept à neuf mois chez la femelle et dix à onze mois chez le mâle. L'accouplement a lieu vers février-mars et la gestation dure entre 59 à 77 jours (Forsyth, 1999 ; Rosatte et Larivière, 2003). La mise-bas a lieu en général vers mai-juin ; les petits (deux à dix par portée, mais souvent cinq ou six) naissent sourds et aveugles et pèsent entre 25 et 40 g chacun. Le sevrage se produit vers la sixième ou septième semaine et à la fin de l'été, les jeunes peuvent suivre leur mère lors de ses excursions nocturnes.

La durée de vie du raton laveur et de la moufette varie selon qu'ils soient en liberté ou en captivité. Beaudin & Quintin (1983) estiment que le raton laveur peut vivre en moyenne pendant dix à 12 ans dans la nature et 13 ans (jusqu'à 20 ans) en captivité ; alors que chez la moufette c'est respectivement quatre à cinq et dix ans. Selon Forsyth (1999), la longévité du raton laveur est en moyenne de quatre ans dans la nature, 13 à 16 ans en captivité et pour la moufette elle est de trois à quatre ans en liberté et six ans (jusqu'à 13 ans) en captivité.

2.1.4. Alimentation

Le raton laveur et la moufette sont tous les deux des espèces omnivores. La dextérité manuelle du raton laveur lui permet d'avoir accès à une large variété d'aliments tant au niveau animal que végétal (Forsyth, 1999). Le régime alimentaire du raton laveur peut varier aussi suivant la saison.

Au printemps, la plus grande partie de sa nourriture est constituée de : petits animaux, insectes, rats musqués, écureuils, lapins, écrevisses, œufs d'oiseaux aquatiques, huîtres, limaces, couleuvre, ... En été, le raton laveur se nourrit essentiellement de végétaux : fruits, noix, cerise sauvage, groseille, baies de sureau, raisin sauvage, maïs, pomme de terre, ... A l'automne, l'alimentation du raton laveur est très variée de telle sorte qu'elle lui permet d'accumuler une bonne réserve de graisses suffisantes pour passer l'hiver, particulièrement dans les régions nord où les hivers sont rudes et longs.

Le raton laveur peut aussi pénétrer dans des poulaillers, quand il a la possibilité, et s'attaquer aux poulets (Duchesnay et Dumais, 1976). De plus, dans les zones urbaines et péri-urbaines, le raton laveur a l'habitude de vider les poubelles à la recherche de nourriture et aussi aime patrouiller sur les gazons pour trouver des vers de terre, des hannetons et des larves.

L'alimentation de la moufette est tout aussi diversifiée : souris, rats musqués, hannetons et autres insectes (Duchesnay et Dumais, 1976) ; fruits, herbes, feuilles, maïs, miel, oisillons, petits mammifères (musaraigne, taupe), quelques amphibiens (Beaudin & Quintin, 1983). Même si elle peut consommer à peu près tout ce qui lui tombe sous la dent, les insectes constituent une bonne partie de l'alimentation de la moufette (Forsyth, 1999).

2.1.5. Habitat et éthologie

Le raton laveur habite dans les forêts de feuillus ou d'essences mixtes, surtout à la lisière des bois traversés par des ruisseaux, des rivières ou des lacs ; il fréquente aussi bien les campagnes que les villes (Beaudin & Quintin, 1983).

En fait, le raton laveur peut exploiter un habitat aussi divers que varié, cependant son association avec l'eau est presque toujours importante (Kaufmann, 1982, cité par Gehrt, 2003). Il a tendance à éviter les zones de pâturages en montagne et les prairies mais aiment les lignes de clôture, les ceintures d'abris, les routes et les voies ferrées (Fritzell, 1978a). En Ontario par exemple, le raton laveur est fréquent dans les boisés avec agriculture extensive et à plus grande échelle dans les zones cultivées en maïs (Pedlar et al, 1997). Les plus faibles densités sont observées dans les aires industrielles et les terrains vagues.

Sur le plan éthologique, le raton laveur est une espèce nocturne mais peut aussi être remarqué durant le jour. Sédentaire, solitaire, peu territorial, il vit le plus souvent dans un tronc d'arbre, ou au creux d'un rocher ou dans un terrier laissé vide par d'autres animaux comme la marmotte, ou dans un vieux bâtiment (Beaudin & Quintin, 1983).

Bien qu'il puisse être actif toute l'année, le raton laveur ne s'aventure pas trop dehors pendant les périodes de températures extrêmes en hiver. Il n'hiberne pas mais vit à un stade de profond sommeil, en utilisant ses réserves de graisses pour son métabolisme (Beaudin & Quintin, 1983 ; Peterson, 1966 ; Forsyth, 1999). Occasionnellement, plusieurs ratons laveurs tendent à se regrouper dans une même tanière.

L'habitat de la moufette est assez varié, incluant terres cultivées, prairies, forêts mixtes, ravines, affleurement rocheux, lignes de clôture, dépotoirs, zone urbaine et périurbaine (Godin, 1982 ; Rosatte, 1984, Peterson, 1966, Forsyth, 1999). La moufette a une préférence particulière pour les bordures de forêts et les zones agricoles où les réserves de nourritures et les abris abondent (Walker, 1964). Dans les villes, elle est assez fréquente en zones résidentielles, dans les terrains adjacents aux sites industriels, les bâtisses abandonnées, les terriers et les dépôts (Rosatte, 1984).

La moufette creuse rarement son terrier et gîte souvent, comme le raton laveur, dans celui abandonné par d'autres animaux comme la marmotte, le renard ou autre petit mammifère (Beaudin & Quintin, 1983).

La moufette est également un animal nocturne mais pouvant s'observer au crépuscule et en plein jour (Larivière et Messier, 1997). Pendant l'hiver elle rentre dans un état de pseudo-hibernation, un profond sommeil en fait, et perd entre 30 et 50% de son poids ; le mâle est plus souvent affecté par la perte de poids que la femelle (Beaudin & Quintin, 1983). Les femelles surtout ont tendance à se regrouper dans leur tanière pour passer l'hiver. Les petits qui naissent généralement vers mai-juin restent dans les terriers avec leur mère jusqu'au milieu de l'été (Cameron, 1972). Normalement docile et non agressive, la moufette ne défend pas son territoire et préfère fuir si approchée par l'homme (Verts, 1967). Néanmoins, si elle se sent attaquée elle se défend en projetant à plusieurs mètres un liquide nauséabond (Rosatte et Larivière, 2003).

2.1.6. Distribution géographique

Les rats laveurs sont largement distribués, depuis le Canada jusqu'en Amérique Centrale, mais aussi en Europe où des sujets introduits en captivité se sont échappés et ont proliféré à l'état sauvage (Beaudin et Quintin, 1983). Historiquement, ils étaient plutôt rares dans la partie sud-est du Canada et dans une partie des Montagnes Rocheuses et les déserts de l'est des États-Unis.

Cependant, au cours des années 40 on a observé une augmentation spectaculaire de la densité des rats laveurs entraînant ainsi une plus large distribution. De nos jours, on en trouve dans les montagnes et les déserts, là où ils étaient plutôt rares voire absents (Gehrt, 2003).

La distribution géographique de la moufette couvre tout le Canada, de la Nouvelle-Écosse à la Colombie Britannique mais aussi les États-Unis et la partie nord du Mexique (Godin, 1982 ; Rosatte, 1987). D'une façon générale en Amérique du Nord la moufette peut se rencontrer à des niveaux d'altitude allant du niveau de la mer jusqu'à 4000 mètres mais en plus forte concentration autour de 1800 mètres (Rosatte et Larivière, 2003).

2.1.7. Densité

D'une façon générale, la densité semble être fonction de la qualité de l'habitat, notamment par rapport à la distribution et l'abondance des ressources alimentaires. Toutefois, les populations de rats laveurs sont sujettes à des variations dynamiques entre les saisons ou les années, souvent relatives à des effets anthropogéniques ou suite à une épizootie (Lotze et Anderson, 1979). La dynamique des populations de rats laveurs est caractérisée par une assez forte productivité et un taux élevé d'immigration et de mortalité (Messier et al, 1996).

D'une façon générale, la densité du raton laveur serait de deux à 20 individus par km^2 et son domaine vital atteindrait trois à quatre km^2 (Lotze et Anderson, 1979 ; Kaufmann, 1982 ; Beaudin & Quintin, 1983). Moore & Kennedy (1985) ont estimé que la densité de raton laveur peut varier entre un à 27 individus par km^2 . Les plus faibles densités se rencontreraient dans les prairies soit 0,5 à un par km^2 (Fritzell, 1978b).

Par contre les plus fortes seraient en zones urbaines et suburbaines, bien que certaines parcelles de boisés ou de marais avec une couverture agricole peuvent avoir d'assez fortes concentrations de rats laveurs. Par exemple, Riley et al (1998) ont relaté des densités de rats laveurs de 67 à 333 par km^2 avec une moyenne de 125 par km^2 dans un parc urbain à Washington DC.

Au Québec, selon une étude publiée sur les populations de rats laveurs (Traversy et al, 1989), la densité de rats laveurs dans le sud-ouest de la province serait de deux à trois individus par km^2 ; et son domaine vital de 1,5 km^2 environ.

Pour la moufette, la densité est assez variable et dépend entre autre de l'habitat, la saison, la situation géographique, la mortalité, la qualité et la quantité des aliments disponibles. Généralement basse pendant le printemps à cause de l'impact des mortalités (dues à l'hiver et aussi suite à une épidémie de rage), elle est estimée la plus haute au début de l'été quand les jeunes commencent à devenir actifs (Rosatte et Larivière, 2003).

A Toronto par exemple, la densité de moufettes varie en moyenne de deux à sept individus par km^2 en été en zone urbaine (Rosatte et al 1991). En Alberta la densité est plus faible, soit 0,5 à 2,4 individus par km^2 (Bjorge et al, 1984).

2.2. La maladie de la rage

2.2.1. Définition / Synonymie

La rage se définit comme une maladie infectieuse, virulente, due à un lyssavirus, commune à l'homme et à de nombreuses espèces animales à sang chaud (ENVF, 1984). Dérivée du latin *rabere* – qui signifie *être fou* – elle est caractérisée par une encéphalopathie aiguë, souvent accompagnée d'excitation, d'agressivité ou de paralysie.

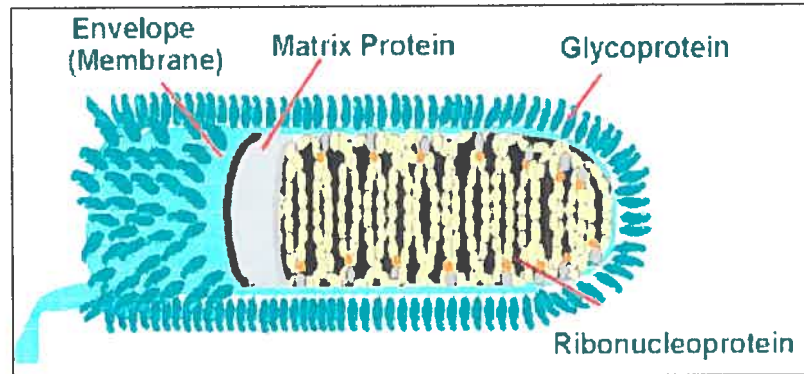
Elle est aussi connue sous le nom *d'hydrophobie*, en raison de cette peur de l'eau manifestée en général chez les humains atteints de rage (ENFV, 1984 ; Acha & Szyfres, 1989). Elle fait partie des zoonoses les plus redoutées et les plus répandues dans le monde depuis des milliers d'année (Blancou, 2000).

2.2.2. Étiologie

La maladie de la rage est causée par une Lyssavirus appartenant à la famille des Rhabdoviridae. Le virus rabique (figure 4) se présente sous la forme d'une balle de revolver, d'une longueur moyenne variant de 120 à 180 nm pour une largeur de 60 à 80 nm (Gamet, 1973). Il s'agit d'un virus à ARN possédant un génome linéaire non segmenté, de polarité négative et constitué d'une nucléocapside hélicoïdale au centre et d'une enveloppe péricapsidale de nature lipoprotéique à la périphérie (Quinn et al, 2002; Zee et al, 2004).

Le virus rabique, malgré sa forte virulence est sensible à plusieurs agents physiques (la chaleur, la dessiccation, la lumière) et aussi chimiques comme les dérivés d'ammonium quaternaire, l'éther, le formol ou l'eau de javel. Cependant, d'autres facteurs comme la basse température (-70°C), la glycérine facilitent sa conservation (Gamet, 1973).

Figure 4 : Structure du virus rabique



Source : www.cdc.org (décembre 2004)

Le genre *Lyssavirus* comprend quatre sérotypes et sept génotypes. Au sein du même sérotype il existe des variants et des biotopes adaptés à des hôtes spécifiques comme chez le chien, le renard, la chauve souris et le raton laveur (Blancou, 2000). Le sérotype I a pour prototype le virus rabique classique dit "vrai", les autres étant des virus apparentés à la rage. Suivant leur classification génétique on distingue :

- ❖ le génotype I regroupant les souches de virus rabique classique ;
- ❖ le génotype II ou Lagos Bat virus, isolé chez la chauve-souris au Nigeria et en République Centrafricaine ;
- ❖ le génotype III ou virus Mokola, isolé à partir de musaraignes et de l'homme au Nigeria et au Cameroun ;
- ❖ le génotype IV ou virus Duvenhage, isolé chez l'homme en Afrique du Sud ;
- ❖ les génotypes V et VI, respectivement connus sous le nom de European Bat Lyssavirus I (EBL 1) et European Bat Lyssavirus II (EBL 2), isolé chez la chauve-souris ;
- ❖ le génotype VII ou Australian Bat Lyssavirus, isolé en Australie.

Aux États-Unis neuf variantes de virus rabiques, identifiables par des méthodes de typage génétique et antigénique, circulent parmi les carnivores terrestres (figure 5) : trois associées à la mouffette, trois au renard, une au raton laveur, une au coyote et une à la mangouste (Krebs et al, 2000).

2.2.3. Épidémiologie

Bon nombre d'espèces animales domestiques et sauvages sont susceptibles de contracter la rage. En général, cette maladie se transmet à l'homme par morsure, griffure, léchage ou par contact avec la salive d'un animal infecté. La transmission se fait également par transplantation d'organes provenant d'individus morts de rage (Burton et al, 2005).

Sur le plan de sa répartition géographique, la rage est une maladie à caractère cosmopolite. Selon une enquête mondiale réalisée sur la rage en 1997 par l'OMS, la situation de la rage dans le monde continue d'être inquiétante (RTMC, 2000).

En Amérique du Nord où la rage canine est maîtrisée, la faune sauvage est la plus sévèrement touchée.

2.2.4. Symptômes

Après une période d'incubation relativement variable (trois semaines à trois mois), la manifestation clinique de la rage chez l'homme peut prendre trois formes :

- **une forme spastique** caractérisée essentiellement par une hyperexcitabilité motrice, des crises convulsives avec tremblement et contracture ;
- **une forme furieuse ou démentielle** marqué par des réactions très violentes et un état d'agitation continue ;
- **une forme paralytique ou tranquille** où la personne atteinte présente des tremblements ataxiques, des paresthésies suivies de la paralysie progressive.

L'évolution de la rage chez l'homme est toujours mortelle après l'apparition des signes cliniques.

Chez les animaux, on distingue également la rage furieuse et la rage paralytique. Un animal atteint de rage sous sa forme furieuse présente des signes évidents d'excitation, d'agitation et d'agressivité ; accompagnés souvent de crises caractérisées par des troubles comportementaux. La forme paralytique chez un animal atteint de rage est d'évolution plus lente. La fréquence d'une forme par rapport à une autre dépend de l'espèce animale atteinte.

Chez le raton laveur, la période d'incubation du virus rabique est de trois à cinq semaines (Tinline et al, 2002) mais peut atteindre jusqu'à 109 jours ; la période de morbidité dure environ quatre jours (McLean, 1975). Courte quand les ratons laveurs vivent ensemble dans leurs tanières (l'assaut viral est plus fort et répétitif) et plus longue quand ils sont éparpillés dans la nature en solitaire, la période d'incubation est responsable de la maintenance du virus rabique dans les populations de ratons laveurs (Seidensticker et al, 1988).

D'une façon générale, la rage du raton laveur est caractérisée par un faible titrage de virus dans la salive et une faible pathogénicité du virus. Le comportement du raton laveur rabique ne semble pas trop différent de celui des autres animaux comme le renard ou la mouffette. Néanmoins, selon Scatterday (1960) cité par McLean (1975), un comportement non agressif a été observé chez des ratons laveurs rabiques en Floride ; la transmission à l'homme et aux chiens se produisait seulement lorsque les victimes s'approchaient trop de l'animal enragé.

Kappus et al (1970) rapportent qu'au cours d'une épizootie de rage du raton laveur en Floride, sur 45 ratons laveurs rabiques observés : 15 présentaient de l'agressivité, sept ont attaqué des humains, six se sont battus avec des chiens et quatre avec d'autres ratons laveurs. De plus, 13 étaient manifestement malades avec incoordination de mouvement et 11 ont été remarqués durant le jour.

Par ailleurs, Selon McLean (1975), les premières épizooties de rage rapportées chez le raton laveur en Floride au cours des années 50 et 60 ont eu en commun la plupart des caractéristiques suivantes :

- forte association entre les cas et les populations humaines ;
- concentration autour des dépotoirs et des poubelles ;
- incidence plus élevée pendant l'hiver et le début du printemps ;
- haut niveau d'immunité pendant et après l'épidémie ;
- durée de l'épidémie relativement courte ;
- association avec perturbation et destruction de l'habitat du raton laveur.

Chez la moufette, la période d'incubation de la rage (souche moufette) varie de 30 à 60 jours ; les signes cliniques sont à peu près les mêmes observés chez les autres espèces animales rabiques (McLean, 1975). Cependant, Verts (1967) avance que la forme furieuse est beaucoup plus fréquente chez la moufette que la forme paralytique, avec un comportement agressif extrême qui peut durer entre quatre et cinq jours, suivi par la paralysie, le coma et la mort. L'anorexie demeure l'un des plus remarquables indicateurs de l'évolution clinique de la rage chez la moufette.

Dans la nature, la moufette est généralement une espèce nocturne. Ses escapades diurnes peuvent être de sérieux indicateurs d'une infection rabique (Parker, 1975). Quand elle devient agressive, la moufette rabique peut s'attaquer au bétail ainsi qu'aux êtres humains.

Aux États-Unis, la rage de la moufette est caractérisée par une longue période d'incubation (trois mois et demi à six mois), une longue période de sécrétion du virus (18 jours avant la mort et au moins huit jours avant l'apparition des signes cliniques) et une concentration élevée du virus dans la salive des animaux atteints (Parker, 1975). En fait, la salive d'une moufette rabique contient une quantité de virus beaucoup plus appréciable que chez d'autres animaux comme le renard par exemple (Parker et Wilsnack, 1966).

De plus, une mouffette rabique peut excréter du virus dans sa salive aussi longtemps que 18 jours avant la mort et au moins huit jours avant l'apparition des signes cliniques de l'infection (Parker, 1975).

Par ailleurs, il existe dans les tissus de la mouffette (ainsi que du renard) une substance inhibitrice de rage (RIS) capable de masquer la présence du virus rabique lors du test d'inoculation à la souris (Carski et al, 1962, cité par Parker, 1975). Néanmoins, cette substance est produite tard dans l'évolution clinique de la rage chez la mouffette et aussi seulement si l'animal a eu des anticorps séro-neutralisants contre l'infection (Parker et Sikes, 1966). Cela peut amener à des faux négatifs au test de détection des anticorps fluorescents.

2.2.5. Diagnostic

Vu la gravité d'une maladie comme la rage, le diagnostic joue un rôle prédominant, notamment lorsqu'il y a eu morsure – donc risque d'infection humaine.

Plusieurs techniques de laboratoire permettent de mettre en évidence une infection par le virus rabique chez l'homme et les animaux, notamment :

- ❖ la détection de l'antigène viral par immunofluorescence directe (IFD) ;
- ❖ l'inoculation aux animaux de laboratoire ;
- ❖ l'examen histopathologique sur tissu cérébral ;
- ❖ l'isolement du virus par inoculation aux cultures cellulaires de neuroblastome ;
- ❖ la détection d'anticorps par séroneutralisation ou par ELISA ;
- ❖ la détection de l'ARN viral par transcription reverse suivie d'une réaction de polymérisation en chaîne (RT-PCR).

2.2.6. Prophylaxie

Il n'existe aucune thérapie lorsque la rage est déclarée chez l'homme. Néanmoins, un vaccin antirabique est disponible et la vaccination constitue le meilleur moyen de prévention contre cette maladie. Elle concerne aussi bien les animaux dans les régions où la rage est endémique que les groupes à risque comme le personnel de laboratoire, les médecins vétérinaires, etc.

Par ailleurs, il faut signaler qu'il existe aussi une prophylaxie post-exposition pour les personnes ayant subi une morsure ou ayant eu un contact quelconque avec un animal suspect. Elle peut consister en l'administration soit du vaccin antirabique soit de l'association du vaccin avec du sérum antirabique.

2.3. Situation de la rage aux États-unis

2.3.1 La rage humaine

Les cas de rage humaine sont plutôt rares aux États-unis mais probablement ont été sous-diagnostiqués donc sous-rapportés (Noah et al, 1998). Au cours des années 50, 60 et 70 respectivement 99, 15 et 23 cas de décès humain dus à la rage ont été enregistrés aux États-Unis (Anderson et al, 1984).

Entre 1980 et 1996, seulement 32 cas humains ont été rapportés dans 20 États américains. De ces cas, 53% sont associés à la variante de la chauve souris insectivore, 38% à la souche canine à l'extérieur du pays, 6% à la souche canine indigène et 3% associés à la souche de la mouffette (Noah et al, 1998).

Depuis 1990, 37 cas humains sont rapportés aux États-Unis la plupart d'entre eux sont communément imputables à la souche de la chauve souris (Messenger et al, 2002). La contribution des chauves souris au nombre de cas de rage humaine d'origine indigène atteint 88% (Krebs et al, 2000).

En ce qui a trait à la souche virale du raton laveur, le premier (et le seul jusqu'ici) cas de rage de décès humain impliquant cette souche a été enregistré dans l'état de Virginie en 2003 (Silverstein et al, 2003). Cependant, l'historique de ce cas n'a pas permis de savoir à quelle espèce animale la victime a été exposée.

Par ailleurs, des cas de rage humaine incriminant la mouffette ont été diagnostiqués aux États-Unis depuis le XIX^{ème} siècle. En effet, Dejernet (1859) cité par Johnson (1971) fait mention du décès d'une fillette au Texas suite à une morsure de mouffette. De plus, selon Robert (1884) toujours cité par Johnson (1971), 17 cas de rage humaine imputable à la mouffette ont été enregistrés au Kansas entre 1866 et 1876.

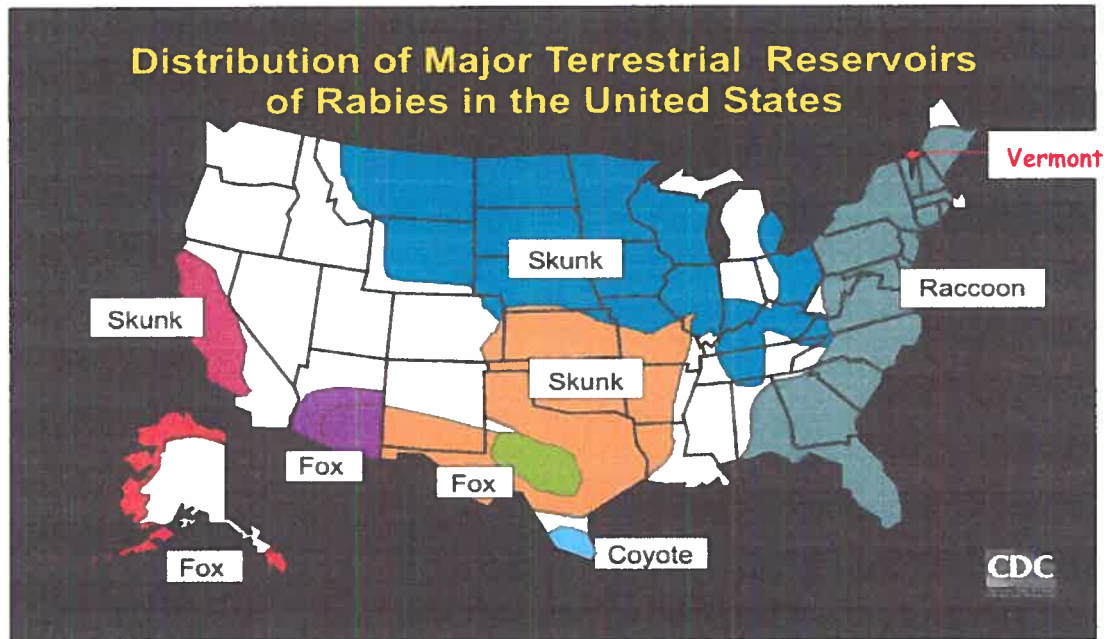
Des cas de rage humaine associés au coyote ont aussi été enregistrés aux États-Unis. Au Texas deux cas ont été rapportés en 1991 et 1994 (Noah et al, 1998).

2.3.2. Les réservoirs de rage terrestre aux États-Unis

Aux États-Unis, la rage canine étant maîtrisée, la propagation du virus rabique se fait particulièrement au niveau de la faune. Diverses souches avec des caractéristiques antigéniques et génétiques distinctes circulent dans différentes régions géographiques et fortement associées à des réservoirs spécifiques (Krebs et al, 2000). Ces réservoirs incluent le raton laveur, la mouffette, le renard, la chauve souris et à un degré moindre le coyote ; des cas sont aussi rapportés chez d'autres espèces comme chez le chat et le chien (Krebs et al, 2003; Slate et al, 2005).

La rage de la faune sauvage représente plus de 90% des cas de rage animale enregistrés à travers les États-Unis ; le raton laveur est l'espèce la plus rapportée, suivi de la mouffette, de la chauve souris et du renard (Krebs et al, 1995). Approximativement, entre 7000 et 9000 cas de rage sont diagnostiqués annuellement chez les animaux aux États-Unis (Krebs et al, 2001).

Figure 5 : Distribution des réservoirs de la rage terrestre aux États-Unis



Source : www.cdc.org (décembre 2004)

2.3.3. La rage du raton laveur et de la moufette aux États-Unis

A la fin des années 70, une explosion de cas de rage associés à la souche du raton laveur a été observée dans les états du Mid-Atlantic, probablement suite à la translocation de rats laveurs rabiques provenant des états du sud-est américain où la rage du raton laveur était endémique (Nettles et al, 1979). A partir de là, l'épidémie a progressé de façon spectaculaire en direction nord et est (Childs et al, 2001).

Depuis, le nombre cumulatif de cas de rage associés à la souche virale du raton laveur rapportés aux États-Unis dépasse 50.000 (Krebs et al, 2000). De plus, la rage du raton laveur affecte approximativement un million de kilomètres carrés dans la partie est des États-Unis où la population humaine est estimée à environ 90 millions de personnes (Wyatt et al, 1999).

Au cours des différentes épidémies de rage impliquant la souche du raton laveur, la moufette constitue l'espèce la plus touchée après le raton laveur (Hanlon et al, 2002). Par exemple, en 2001 environ 38% des cas de rage associées à la souche raton laveur ont été rapportés chez des moufettes (Krebs et al, 2002). D'une façon générale on enregistre à peu près trois fois plus de cas de raton laveur que de moufette (Guerra et al, 2003).

L'observation du nombre relativement élevé de cas de rage due à la souche virale du raton laveur chez la moufette dans les états de l'est et du nord-est américain peut conduire à spéculer que cette espèce semble être capable de maintenir cette souche rabique dans ces régions (Hanlon et al, 2002), bien que ni des données expérimentales ni des données de terrain ne permettent pour le moment de confirmer cette hypothèse.

Inversement, l'inoculation de ratons laveurs avec du virus rabique de souche moufette a révélé que les ratons laveurs peuvent survivre au moins 92 jours après être infectés à la salive de moufette rabique et que même certains d'entre eux développent des anticorps séro-neutralisants (Hill Jr. et Beran, 1992 ; Hill Jr. et al, 1993).

Une fois la rage installée dans une population de ratons laveurs, elle suit un cycle épidémiologique de trois à cinq ans, notamment dans les états du sud-est américain où la rage du raton laveur est endémique (Fischman, 1992) et aussi dans l'état de New York (Trimarchi, 1993). Dans les états du Mid-Atlantic, le cycle épidémiologique de la rage du raton laveur varie de quatre à cinq ans chez le raton laveur et la moufette ; et les pics saisonniers sont observés au printemps et au début de l'hiver (Coyne et al, 1989). Ces mêmes observations sont rapportées dans les études de Guerra et al (2003) sur les états de l'est américain.

A titre de comparaison, le cycle épidémiologique relatif à la variante de la moufette dans les États du Midwest varie de six à huit ans chez la moufette et les pics saisonniers sont aussi observés au printemps et en hiver (Gremillion-Smith et Woolf, 1988). Webster et al (1974) et Gunson et al (1978) font mention des mêmes observations en Ontario et en Saskatchewan.

2.3.4. Prévention et contrôle de la rage

La rage étant un sérieux problème de santé publique, la prévention et le contrôle de cette maladie vise en bout de ligne la protection des humains. Dans les régions où la rage canine est maîtrisée (comme en Amérique du Nord), la vaccination de la faune sauvage constitue l'un des principaux moyens de contrôle de la rage terrestre.

Diverses techniques peuvent être utilisées comme l'ORV (Oral Rabies Vaccination) ou la TVR (Trap Vaccinate and Release). L'ORV a donné de bons résultats dans les programmes de contrôle de la rage en Europe (Steck et al, 1982; Stohr et Meslin, 1996), notamment dans le programme de l'élimination de la rage vulpine en Belgique (Brochier et al, 1995).

Aux États-Unis, des programmes expérimentaux d'ORV ont débuté au cours des années 90 et ont contribué à réduire le nombre de cas de rage dans les régions impliquées (Rupprecht et al, 1990; Bigler et al, 1997; Olson et al, 2000). Au Canada, cette technique a été à la base des programmes de contrôle de la rage du renard (MacInnes et al, 2001).

L'ORV efficace pour le raton laveur, le renard et le coyote ne l'est pas pour la mouffette (Rupprecht et al, 1990; Hanlon et al, 2002). Le vaccin utilisé est la V-RG (Vaccinia - Rabies Glycoprotein). Tolson et al (1987) rapportent que l'utilisation par voie orale de la V-RG pourrait être effective chez la mouffette cependant il semblerait que les mouffettes ainsi vaccinées développent un faible taux de séroconversion.

Hanlon et al (2002) font mention d'une expérience de vaccination sur des ratons laveurs et des mouffettes, réalisée avec le SAG-2 qui est un vaccin obtenu à partir du virus rabique atténué : quatre des cinq ratons laveurs vaccinés ont développé des anticorps séroneutralisants sept jours après l'inoculation du virus rabique (Challenge Rabies Virus); dans les 18 jours suivant l'inoculation du CRV tous les ratons vaccinés ont survécu alors que les cinq contrôles ont succombé après avoir été testés rabiques. Chez les mouffettes, quatre parmi les contrôles ont succombé au cours des jours 16 (deux mouffettes), 25 et 78 après inoculation du CRV; le dernier est décédé dans sa cage au jour 83 mais a été testé

négative à la rage. Quatre des cinq moufettes vaccinées ont développé des anticorps après sept jours mais les cinq ont survécu à l'inoculation du CRV.

Vos et al (2002) rapportent une évaluation de l'effet du SAD-19 sur des moufettes rayées; le SAD-19 étant un vaccin produit à partir du virus rabique vivant modifié ; cette souche SAD (Street Alabama Dufferin) a été isolée chez un chien rabique en Alabama en 1935 (Sacramento et al, 1992). Trois des sept moufettes vaccinées ont développé des anticorps neutralisants 28 jours après la vaccination, alors qu'aucun parmi les contrôles n'ont développé d'anticorps.

La méthode TVR, qui consiste à attraper, vacciner puis relâcher les animaux une fois qu'ils ont été vaccinés, a été utilisée en Ontario dans le cadre du programme de contrôle de la souche du raton laveur introduite dans cette province canadienne en 1999 (Wandeler et Salsberg, 1999; Rosatte et al, 2001). Elle a aussi été utilisée en Arizona en 2001 pour combattre une épidémie de rage chez la moufette associée à la variante de la chauve souris (Engeman et al, 2003).

Outre la vaccination, les programmes de contrôle de la rage incluent aussi la réduction des populations dans les régions où la rage est endémique. Il a été observé que des tentatives de contrôle de la rage chez les espèces de la faune se sont révélées peu fructueuses lorsque la réduction de population représentait la seule stratégie (Debbie et Bogel, 1988).

D'une façon générale, les coûts annuels de la prévention et du contrôle de la rage aux États-Unis sont estimés à environ 300 millions de dollars US, incluant la vaccination et la prophylaxie post-exposition (Krebs et al, 1995; Noah et al, 1998).

2.3.5. La vaccination antirabique dans l'État du Vermont

La vaccination relative à la rage du raton laveur a débuté en 1995, peu après l'écllosion de l'épidémie. Depuis 1997, le Québec y contribue financièrement (Messier et al, 2004). Un programme américain de contrôle de la rage du raton laveur a été mis en place dans les états du nord-est américain dont la coordination est assurée par l'Université Cornell. Il consiste à établir des barrières immunologiques par l'épandage d'appâts vaccinaux, avec pour objectifs de contrôler l'épidémie et ainsi empêcher sa progression vers le Canada (Messier et al, 2004).

Diverses instances tant américaines que canadiennes sont impliquées dans la vaccination au Vermont. Il s'agit de : Vermont Department of Public Health, College of Veterinary Medicine of Cornell University, the Queens University GIS Lab, Agriculture Food & Markets and Fish & Wildlife, United States Department of Agriculture's Wildlife Services, Ministère de la Santé et des Services Sociaux du Québec, Ontario Ministry of Natural Resources, New York Department of Public Health (Bigler et Lein, 1997).

La stratégie de vaccination varie suivant qu'on soit en zone rurale ou résidentielle. Dans les régions rurales la vaccination est effectuée par largage aérien d'appâts vaccinaux. Pour ce faire, des petits avions survolent les aires à environ 150 mètres d'altitude et les appâts sont épandus dans les régions visées (Johnson, 2001).

Les avions et les pilotes proviennent du Ministère des Ressources Naturelles de l'Ontario. En zones résidentielles, les vaccins sont placés à la main selon une densité de 60 appâts environ par km².

En août 2001, un projet de recherche relatif à la vaccination orale par largage aérien d'appâts vaccinaux a été initié au Vermont plus précisément dans le nord de l'état. Les régions visées par cette étude sont des villes situées au niveau des comtés de Caledonia, Chittenden, Essex, Lamoile, Franklin, Grand Isle et aussi des villes du comté de Coos au New Hampshire. Avec ce projet, les chercheurs vétérinaires et les biologistes de l'Université Cornell essayent de :

- 1) voir si une population de raton laveur dans une aire géographique donnée peut être convenablement vaccinée par largage d'appâts;
- 2) trouver les moyens de vaccination les plus efficaces;
- 3) déterminer si le programme de vaccination peut empêcher la rage du raton laveur de se disperser au delà de la frontière américano-canadienne.

2.3.6. Surveillance épidémiologique de la rage du raton laveur au Vermont

En plus des campagnes de vaccination entreprises au Vermont pour combattre l'épidémie de rage associée à la souche virale du raton laveur, un programme de surveillance épidémiologique basée sur une collecte passive des cas est également en cours. La population est informée sur la vaccination et la surveillance à travers les journaux locaux, les stations de radio et de télévision et des affiches placées dans des points stratégiques notamment dans les cliniques vétérinaires, dans les centres de santé. Les médecins, les médecins vétérinaires, le personnel travaillant en santé publique en général sont très ciblés par ces campagnes afin de servir de relais pour faire circuler les informations. De plus, un numéro de téléphone gratuit est mis à la disposition du public désirant obtenir des renseignements sur la rage ou pour signaler des cas d'animaux morts ou suspects (Johnson, communication personnelle).

Les campagnes de sensibilisation sont plus intenses à l'approche de la vaccination qui elle-même se concentre principalement dans la partie nord de l'état du Vermont. La population est sensibilisée à signaler auprès des agents locaux des animaux (domestiques et sauvages) trouvés morts ou dont le comportement est suspect. Les animaux sauvages sont sous la responsabilité des agents de la faune tandis que pour les animaux domestiques ce sont les vétérinaires qui s'en occupent. Lorsque des cas de rage sont déclarés dans une région, la sensibilisation de la population s'intensifie et cette région est placée sous surveillance (Johnson, communication personnelle).

D'une façon générale, la carcasse entière des petits animaux et la tête des gros animaux sont envoyés au laboratoire de Burlington pour les analyses. Au laboratoire quand un cas positif est diagnostiqué, parfois on procède au séquençage génétique du virus isolé. Le séquençage génétique n'est pas systématique. Toutefois, selon les responsables du Département de Santé Publique du Vermont, tous les cas de rage diagnostiqués chez les mammifères terrestres au Vermont, pour lesquels le séquençage génétique a été fait, sont associés à la souche virale du raton laveur (Johnson, communication personnelle).

2.4. Situation de la rage au Québec

Depuis 1925, 12 des 23 cas de rage humaine déclarés au Canada ont été recensés au Québec (Varughese, 2000). Le dernier cas au Québec concerne un petit garçon de neuf ans de Montréal, en octobre 2000, décédé après avoir été selon toute vraisemblance infecté par le virus rabique suite à une morsure de chauves souris (Turgeon et al, 2000). Au niveau du Canada, le dernier cas de rage humaine a été rapporté en Colombie Britannique en 2003 : il s'agit d'un homme de 52 ans qui a aussi été infecté, semble-t-il, par le virus rabique suite à une morsure de chauves souris (ACIA, 2004). En fait, plus de 80% des cas de rage humaine déclarés au Canada depuis 1970 ont été attribuables à une exposition à des chauves-souris (Varughese, 2000).

En ce qui a trait à la rage animale 122 cas ont été rapportés au Québec entre 1998 et 2004 dont 48% de chauves souris et 39% de renards (tableau 2). Les analyses sont effectuées au laboratoire de l'Agence Canadienne d'Inspection des Aliments en Ontario, à l'Institut de Recherches Vétérinaires à Nepean.

Aucun cas de rage associée à la souche virale du raton laveur n'a été rapporté au Québec (Messier et al, 2004). Cependant en janvier 2002 un raton laveur rabique a été rapporté à l'Ile Perrot mais le séquençage génétique avait révélé que le virus rabique était une souche de chauve souris (Goyer, 2002).

Tableau II. Cas de rage animale au Québec entre 1998 et 2004

Années Espèces	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Total
Bovins	1	0	0	0	0	1	0	2
Chauves souris	1	1	7	8	19	13	7	56
Chiens	0	2	3	2	0	3	0	10
Loups	0	1	0	0	1	0	1	3
Moufettes	1	1	0	0	0	0	0	2
Renards	12	5	11	9	3	5	3	48
Ratons laveurs	0	0	0	0	1	0	0	1
Total	15	10	21	19	24	22	11	122

Source : <http://www.inspection.gc.ca/francais/anima/heasan/disemala/rabrag/statsf.shtml#2005>

Vu la présence de la souche rabique du raton laveur dans les états du nord-est des États-Unis limitrophes au Québec mais aussi en Ontario et au Nouveau-Brunswick, un comité scientifique a été mis en place en 1995 par les instances de santé publique du Québec en vue de prévenir l'entrée de cette souche (Messier et al, 1996).

Un programme de surveillance de la rage animale reliée à la souche du raton laveur est également en cours. La population est sensibilisée de façon à signaler la présence de ratons laveurs, de moufettes, de renards trouvés morts et aussi la présence de chats, de chiens et d'autres animaux de la faune désorientés ou anormalement agressifs ou qui semblent paralysés. Ce programme se fait également avec le concours des médecins vétérinaires pratiquants.

2.5. Facteurs écologiques et la rage du raton laveur et de la moufette

Peu d'études sur l'effet des facteurs écologiques sur la rage du raton laveur et de la moufette ont été effectuées. Jones et al (2003) ont évalué l'effet des facteurs environnementaux et démographiques sur la magnitude des épidémies de rage de raton laveur au Maryland en Pennsylvanie et en Virginie.

Dans leur analyse non ajustée ils ont trouvé que les facteurs associés aux larges épidémies ($n \geq 24$ cas de rage) étaient : la densité de population humaine, les zones avec large couverture agricole, la couverture en eau, les zones résidentielles, les zones de pâturages et les zones humides avec herbacées émergentes tandis que les forêts mixtes et les forêts à feuilles caduques constituent les facteurs associés aux faibles épidémies.

Selon leur analyse stratifiée, la magnitude des épidémies est positivement associée aux zones d'agriculture, à la densité humaine et à une interaction entre la densité humaine et la couverture en eau : une densité de population élevée et une faible couverture en eau augmentaient le risque d'avoir une large épidémie alors qu'une faible densité de population accompagnée d'une forte couverture en eau se traduisaient par un plus faible risque d'avoir une large épidémie. La couverture en forêt mixte était négativement associée à la magnitude des épidémies de rage de raton laveur. Ils ont expliqué l'effet de la couverture agricole et de l'eau par la qualité de l'habitat des ratons laveurs et l'effet protecteur de la couverture forestière par le fait qu'il y a moins de gens qui habitent en forêt donc moins de chance de rapporter les cas.

Smith et al (2002) ont étudié la dynamique spatiale des épidémies de rage de raton laveurs au Connecticut en rapport avec l'environnement. En considérant deux municipalités adjacentes, ils ont trouvé une association entre la densité de population humaine et la vitesse de dispersion de la rage du raton laveur ; cette dernière était linéairement corrélée avec le log de la densité de population humaine ($p=0,0003$) : plus faible quand les deux municipalités étaient séparées par une rivière, la vitesse de dispersion était plus élevée lorsqu'il n'y avait pas de rivière.

En ce qui concerne la rage chez la mouffette causée par une souche mouffette, les travaux de Lewis en Oklahoma (1972) n'ont pas fait état de corrélation entre l'incidence de la rage de la mouffette et des variables comme la densité humaine ($R^2=0,077$) et la diversité de l'habitat ($R^2=0,046$). Toutefois la distance par rapport aux laboratoires de diagnostic semble influencer le taux de soumissions de mouffettes pour analyse ($R^2=0,609$). Et possiblement, plus il y a d'échantillons soumis plus il y a de chance de diagnostiquer des mouffettes rabiques.

Heidt et al (1982) ont analysé le profil des cas de rages rapportés chez la mouffette en Arkansas entre 1977 et 1979. Ils n'ont pas trouvé de corrélation entre les cas et la densité de population humaine ($p=0,168$) ni avec la couverture forestière ($p=0,104$). Carey (1978) a relaté des résultats similaires dans ses travaux sur l'épidémiologie de la rage en Virginie.

III. MATÉRIEL ET METHODES

3.1. Choix de l'aire de l'étude

Cette étude porte sur le Vermont, état du nord-est américain. Cet état a été choisi pour diverses raisons :

- 1°) le Québec est concerné par la problématique de la rage du raton laveur au Vermont parce que la vague de rage du raton laveur dans l'est américain se déplace vers le nord ;
- 2°) la persistance de la souche rabique du raton laveur constitue une menace pour le Québec vu qu'il partage une frontière géographique avec le Vermont ;
- 3°) le programme de surveillance mis en place par les services de santé publique au Vermont a permis d'avoir des données épidémiologiques sur une période de temps assez considérable, soit tous les cas de rages rapportés chez les animaux domestiques et sauvages depuis 1994 jusqu'à 2004.

3.2. Constitution de la base de données

Pour réaliser cette étude, divers groupes de données ont été utilisés. Ils concernent la surveillance épidémiologique de la rage au Vermont, les Zips du Vermont, l'altitude, l'occupation du territoire (landuse), la démographie et le statut vaccinal.

3.2.1. Données de surveillance

Les données de surveillance proviennent des services de santé publique du Vermont (Vermont Department of Public Health). Il s'agit d'une surveillance incluant les tests d'animaux ayant eu contact avec des humains ou des animaux domestiques, des cadavres d'animaux collectés sur les routes, dans les parcs et terrains de jeux, ainsi que des animaux vivants ayant un comportement suspect et n'ayant eu aucun contact avec des être humains ou d'autres animaux (Pitt, communication personnelle).

On dit donc qu'on a un **cas de rage** lorsque le diagnostic de laboratoire confirme qu'un échantillon a été testé positif à la rage ; la technique utilisée au laboratoire de Burlington – qui effectue les analyses – est la détection des anticorps par immunofluorescence (Johnson, communication personnelle, 2005).

Tous les cas de rage diagnostiqués sont enregistrés et font l'objet de rapports périodiques où sont indiqués : le numéro de laboratoire, la date où le cas a été diagnostiqué ; le lieu (ville et comté) où l'animal a été trouvé et l'espèce atteinte. En général, il est mentionné le nom de la ville la plus proche ou l'adresse postale de la personne ayant envoyé l'animal au laboratoire.

A partir de ces rapports, nous avons constitué une base de données, sur MS Excel (Office XP), en ajoutant d'autres informations, notamment : le Zip et le Master_Id qui est en fait le numéro du polygone associé au Zip correspondant à chaque cas. Ces deux derniers éléments sont utilisés pour localiser les cas, à partir d'un système d'information géographique (SIG).

La période couverte par l'étude s'étend de 1994, année où la souche rabique du raton laveur a été isolée pour la première fois au Vermont, à décembre 2004. Seules les données sur les ratons laveurs et les mouffettes ont été gardées pour les analyses.

3.2.2. Les Zips du Vermont

La base de données concernant les Zips du Vermont proviennent de ArcView (carte digitale ESRI Data) et ont été mis à jour à partir du site Internet www.zipcentral.com (2004). Cette base comprenait donc les Zips correspondant aux villes de tous les comtés du Vermont ainsi que les coordonnées géographiques associées (longitudes et latitudes).

La projection de la carte des Zips, "*geographic projection of the world*" a été transformée en "*Universal Transverse Mercator (UTM) 1983 Zone 18*" en vue de l'ajustement avec les autres cartes dans ArcView (altitude, landuse et densité de population humaine). La projection UTM est en fait un système qui tente d'établir une base universelle pour élaborer des cartes à travers le monde. En quelque sorte elle crée 60 zones à travers le monde et les positions sont mesurées en utilisant l'est et le nord (exprimés en mètres) au lieu de la latitude et de la longitude. La projection UTM est utilisée pour définir des positions horizontales à travers le monde (www.vterrain.org/Projections/UTM.html).

3.2.3. Altitude

Les données concernant l'altitude ont été présentées sous la forme d'une grille et sont tirées du site : www.vcgi.org/dataware/default.cfm?layer=ElevationDME_DEM250 (date : 1998). La projection de cette carte "State Plane Coordinate System" a aussi été transformée en "UTM 1983 Zone 18" pour s'ajuster à celle de la carte des Zips dans ArcView. Ensuite, cette grille a été superposée sur la carte des Zips du Vermont ; ainsi le logiciel ArcView a pu faire les calculs pour assigner les altitudes (moyenne, médiane, minimale, maximale) correspondant à chacun des Zips, après avoir d'abord agrégé les nouveaux polygones obtenus après la superposition de la grille d'altitude et la carte des Zips. L'altitude a été exprimée en mètres (m).

3.2.4. Landuse

Les variables reliées à l'occupation du territoire ont été obtenues à partir d'un rapport produit dans le cadre d'un projet commun entre l'USGS (United States Geological Survey) et l'USEPA (United States Environmental Protection Agency). Les données pour l'État du Vermont sont extraites d'une plus grande base régionale qui regroupe aussi les États du Maine, du Massachusetts, du New Hampshire et de Rhode Island (USGS & USEPA, 2002).

Ces variables ont été classifiées suivant un système de clés, portant chacun un numéro d'identification. Elles comprennent : *la couverture en eau de surface, zone résidentielle de faible intensité, zone résidentielle d'intensité élevée, zone industrielle commerciale ou de transport, zone de transition, forêt à feuilles caduques, forêt à feuilles persistantes, forêt mixtes, zone de pâturage, zone de culture en lignes, zone urbaine avec parc récréationnel, zone humide avec boisés, zone humide avec herbacées émergentes.*

Pour chaque unité géographique, ici le Zip (qui en fait correspond à la superficie associée à un code postal), il a été pris en compte le pourcentage de superficie occupée par chacune des variables (Source : http://www.mrlc.gov/nlcd_definitions.asp) :

a) Eau de surface : toute aire couverte en eau : marre, lac, étang, rivière, ...

b) Zone résidentielle de faible intensité (zrfi) : aire avec un mélange de construction et de végétation ; les constructions comptent pour 30 à 80% contre 20 à 70% de végétation ; cette zone comprend en fait les unités de logement unifamiliales.

c) Zone résidentielle d'intensité élevée (zrie) : aire hautement développée, où les gens vivent en grand nombre ; la végétation compte pour moins de 20% contre plus de 80% pour les constructions. Dans cette zone, on rencontre surtout des complexes d'appartements et des grandes maisons.

d) Zone industrielle commerciale ou de transport (zict) : aire incluant les infrastructures (magasins, usines, routes, chemin de fer, ...) et toute aire développée non classifiée comme zone résidentielle d'intensité élevée.

e) Zone de transition (zt) : aire avec couverture végétale éparse, c'est-à-dire moins de 25%, et qui change d'une forme à une autre, souvent à cause des pratiques d'utilisation du sol : phase transitoire entre forêt et terre agricole, défrichement temporaire de la végétation ; ces changements peuvent aussi avoir des causes tout simplement naturelles comme les incendies de forêts ou les inondations.

i) **Zone de pâturage (zp)** : aires couverte par des herbes, des légumineuses ou un mélange de légumineuses fourragères destinées au bétail ou à la production de semences ou de foin.

j) **Zone de culture (zcl)** : aire couverte par les productions agricoles comme le maïs, le soja, le blé, l'orge, le coton, les légumes, le tabac.

k) **Zone urbaine avec parc récréationnel (zupr)** : aire couverte par une végétation dans un cadre développé pour la récréation, le contrôle de l'érosion ou tout simplement dans une optique esthétique.

l) **Zone humide avec boisés (zhhb)** : Aire où la végétation de forêt ou d'arbustes compte pour 25-100% de la couverture et le sol est périodiquement saturé en eau.

m) **Zone humide avec herbacées émergentes (zhhe)** : Aire où la végétation d'herbacées pérennes compte pour 75-100% de la couverture sur un sol périodiquement couvert d'eau.

L'assignation de chacune de ces variables aux Zips a été effectuée de la même façon que pour l'altitude, c'est-à-dire : la transformation de la projection "State Plane Coordinate System" en "UTM 1983 Zone 18", la superposition de la carte avec les variables Landuse et la carte des Zips et l'assignation des variables aux Zips. En somme, pour chacun des Zips, on a le pourcentage (%) de la superficie occupée par chacune des variables.

3.2.5. Démographie

En ce qui concerne les données de population humaine, elles proviennent d'US Census Bureau (2000). Il s'agit en fait de données du recensement réalisé au Vermont en 1997.

La procédure d'assignation de la population humaine aux Zips a été la même que pour l'altitude et les variables d'occupation du territoire. Pour chaque Zip, on a exprimé les données en termes de densité (habitants/km²), vu que la population ainsi que la superficie sont connues.

3.2.6. Vaccination

Les données sur le statut vaccinal de l'État du Vermont utilisées dans cette étude ont été obtenues à partir des rapports du Comité Scientifique sur la Rage au Québec (Messier et al, 2004). En effet des cartes géographiques présentant les zones vaccinées ont permis de localiser les polygones de zip touchés par la vaccination. Ces cartes ont été produites par une équipe de Cornell University qui travaille sur le contrôle de la rage du raton laveur dans les états du nord-est des États-Unis.

3.3. Analyses descriptives

3.3.1. Statistiques descriptives

Les analyses statistiques ont été effectuées avec MS Excel et NCSS-PASS version 2.0 (NCSS, 2001). Dans un premier temps, on a exploré la base de données au complet, c'est-à-dire avec tous les cas de rage rapportés chez les animaux au Vermont de 1994 à 2004. On a relevé les éléments suivants : les espèces atteintes, le nombre et le pourcentage de cas par espèce, la moyenne annuelle des cas par espèce.

Après cette exploration, on s'est intéressé uniquement aux cas de rage rapportés chez le raton laveur et la mouffette entre 1994 et 2004. Les analyses statistiques dans l'ensemble ont donc été faites à partir de cette base de données remaniée.

3.3.2. Analyse de la distribution spatiale

L'analyse de la distribution spatiale des cas a été effectuée avec le logiciel ArcView GIS 3.2. L'unité géographique prise en compte est le Zip. Il s'agit en fait d'une division géographique correspondant à la superficie associée à un code postal. En général il fait référence à une ville ; cependant, certaines villes de grande superficie peuvent avoir plusieurs Zips.

Pour les besoins de l'étude, on considère que les Zips ne subissent pas de trop grande variation – en termes de superficie – à travers le temps.

Des cartes de distribution des cas ont été élaborées et ont permis de localiser dans un premier temps tous les cas de rage rapportés au Vermont pendant la période prise en compte par l'étude. A partir de là, on a été capable de localiser respectivement les cas de raton laveur et de mouffette pris séparément et enfin d'identifier les Zips où il a été rapporté à la fois des cas de raton laveur et des cas de mouffette.

3.3.3. Analyse de la distribution temporelle

L'analyse de la distribution temporelle des cas a été faite avec MS Excel et a permis de décrire :

- la variation intra-annuelle du nombre de cas de raton laveur et mouffette rapportés ;
- la variation moyenne mensuelle du nombre de cas de raton laveur et de mouffette rapportés (variation saisonnière) ;
- l'évolution du rapport (annuel et mensuel) du nombre de cas raton laveur et nombre de cas mouffette

De plus, l'exploration de la base de données nous a amené à considérer deux périodes :

- de 1994, année où la souche virale du raton laveur a été isolée pour la première fois au Vermont, à 1997 ;
- de 1998, où le nombre de cas a commencé à chuter, à 2004.

Le test de t de Student a permis de comparer les moyennes des cas pour chacune des deux espèces pour les deux périodes ($\alpha = 0,05$). Le test de Wilcoxon a été utilisé à titre indicatif par rapport au test de t ($\alpha = 0,05$).

3.3.4. Exploration de la distribution spatio-temporelle

L'exploration spatio-temporelle a également été effectuée avec ArcView GIS 3.0. La base de données a été réorganisée de telle sorte que pour chaque année on trouve exactement le nombre de cas rapportés dans chaque Zip et par conséquent la localisation des cas rapportés par année et par espèce. Ainsi, des cartes ont été élaborées séparément pour les cas de raton laveur et les cas de mouffette pour toutes les années couvertes par l'étude (1994-2004). Elles ont permis de suivre la distribution spatiale des cas pour chacune des espèces à travers les années.

3.4. Détection des clusters

3.4.1. Détection des clusters dans l'espace

Un cluster se définit comme une agrégation de cas d'une maladie dans l'espace, dans le temps ou à la fois dans le temps et dans l'espace (TerraSeer, 2001). La détection d'éventuels clusters lors de l'apparition d'une maladie dans une région donnée peut produire des informations importantes sur les causes possibles de cette maladie ainsi que les méthodes pouvant être utilisées dans le cadre du contrôle et de la prévention (Ward & Carpenter, 2000).

Dans notre étude, l'analyse des clusters au niveau spatial a été effectuée avec le logiciel ClusterSeer, par la Méthode de Cuzick & Edward (1990). Le principe de cette méthode, utilisée dans les études cas-contrôles, consiste à quantifier la relation de voisins les plus proches chez les cas par rapport aux contrôles. Ici, les "cas" faisaient référence aux Zips avec au moins un cas de rage rapporté pendant la période considérée et les "contrôles" sont les Zips sans aucun cas associé à l'espèce en question.

L'hypothèse nulle statistique (H_0) relative à cette méthode est que "les cas et les contrôles sont échantillonnés à partir d'une distribution spatiale commune"; alors que l'alternative (H_a) stipule que "les cas sont spatialement regroupés par rapport aux contrôles", ($\alpha=0,05$).

Dans le cas des rats laveurs, les analyses ont été faites séparément pour les deux périodes T1 (1994-1997) et T2 (1998-2004); alors que pour les cas de mouffettes on a pris en compte toute la période (1994-2004).

3.4.2. Détection des clusters dans le temps

L'analyse des clusters dans le temps a été effectuée, avec le logiciel TerraSeer, par la méthode Scan Statistic (Wallenstein, 1980), développée par Naus (1965). Cette méthode a été choisie parce qu'elle prend en considération le nombre de cas et non les fréquences relatives.

Le principe de cette méthode consiste à déplacer les cas suivant une fenêtre prédéfinie selon un pas de temps donné. Dans cette étude, le pas de temps pris en compte est le mois. L'hypothèse nulle statistique (H_0) est que les cas se produisent de façon aléatoire dans le temps, alors que selon l'alternative (H_a) les cas sont regroupés suivant une certaine période de temps, ($\alpha=0,05$). Ici le "cas" fait référence à un cas de rage proprement dit (de raton laveur ou de mouffette).

3.5. Exploration des associations entre les facteurs écologiques et démographiques avec les cas rapportés

Cette exploration a été effectuée avec la régression binomiale négative en utilisant le logiciel statistique SAS version 9.1 (Cary, N.C.). La grande variance dans la distribution des cas rendait la régression binomiale négative un meilleur choix que la régression de Poisson.

La variable dépendante à modéliser était le **nombre de cas de rage rapportés au Vermont chez le raton laveur et/ou la moufette entre 1994 et 2004 par unité de surface (en km²)**. Il s'agissait de tester quels sont les facteurs écologiques et démographiques qui influencent ce nombre chez chaque espèce (raton laveur et moufette) et le nombre total de cas pendant la période couverte par l'étude.

Néanmoins, des analyses séparées ont été faites : pour le nombre de cas de raton laveur pendant les périodes T1 (1994-1997) et T2 (1998-2004), pour le nombre total de cas de raton laveur, le nombre de cas de moufette (1994-2004) et pour le nombre total de cas cumulés (raton laveur et moufette : 1994-2004). L'aire (en km²) transformée en logarithme népérien a été utilisée comme co-facteur. Chacun des modèles a donc été élaboré en contrôlant pour la superficie des polygones de Zip ; la variable dépendante étant donc le nombre de cas par unité de surface.

Les éléments suivants ont été utilisés comme variables indépendantes : la vaccination (oui/non), la densité humaine, l'altitude et les paramètres d'occupation du territoire en l'occurrence : *eau de surface*, *zone résidentielle de faible intensité (zrfi)*, *zone résidentielle d'intensité élevée (zrie)*, *zone industrielle commerciale ou de transport (zict)*, *zone de transition (zt)*, *forêt à feuilles caduques (ffc)*, *forêt à feuilles persistantes (ffp)*, *forêt mixte (fm)*, *zone de pâturage (zp)*, *zone de culture (zcl)*, *zone urbaine avec parc récréationnel (zupr)*, *zone humide avec boisés (zhb)* et *zone humide avec herbacées émergentes (zhhe)*.

En ce qui concerne la *vaccination*, il s'agit d'une variable dichotomique, en considérant que le polygone de Zip se localise à l'intérieur des bandes vaccinales ou non. La variable *densité* utilisée dans le modèle est en fait le logarithme (base 10) de la densité humaine pour chaque Zip ; la variable *altitude* représente l'altitude moyenne du Zip. Les variables testées en interaction ont été centrées avec la moyenne.

Dans un premier temps, chacune des variables indépendantes ont été testées une à une, selon un modèle de régression univariée. Certaines interactions préalablement jugées intéressantes ont été également testées. Les variables et interactions significatives à un seuil de $p \leq 0.30$ ont été par la suite intégrées dans un modèle de régression multiple avec sélection des variables suivant la méthode de la sélection rétrograde. Le seuil de signification statistique finale a été fixé à $p \leq 0,10$ un seuil libéral servant bien le but exploratoire de cette étude. Les variables et interactions significatives à ce seuil de 0,10 sont gardées dans le modèle final. Le fit du modèle a été testé avec le chi-deux (χ^2) de Pearson.

Enfin, il est à signaler que dans le modèle moufette l'effet du nombre de cas de raton laveur a également été testé.

IV. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

4.1. Analyses descriptives

4.1.1. Répartition des cas par espèce

Au total, 1069 cas de rage animale ont été rapportés au Vermont entre 1994 et 2004, soit une moyenne de 98 cas par année. Le raton laveur représente l'espèce la plus touchée, soit 58% des cas ; suit la mouffette avec 18%.

Il est à signaler que des cas ont également été rapportés chez le renard (17%), la chauve-souris (2%) et d'autres espèces (5%) dont : le chat, le chien, le cheval, la vache, l'écureuil, le mouton, le porc et le castor.

Aucun cas de rage humaine n'a été rapporté au Vermont pendant la période couverte par notre étude.

4.1.2. Description de la distribution spatiale des cas

4.1.2.1. Répartition des cas de rage de raton laveur et mouffette par comté

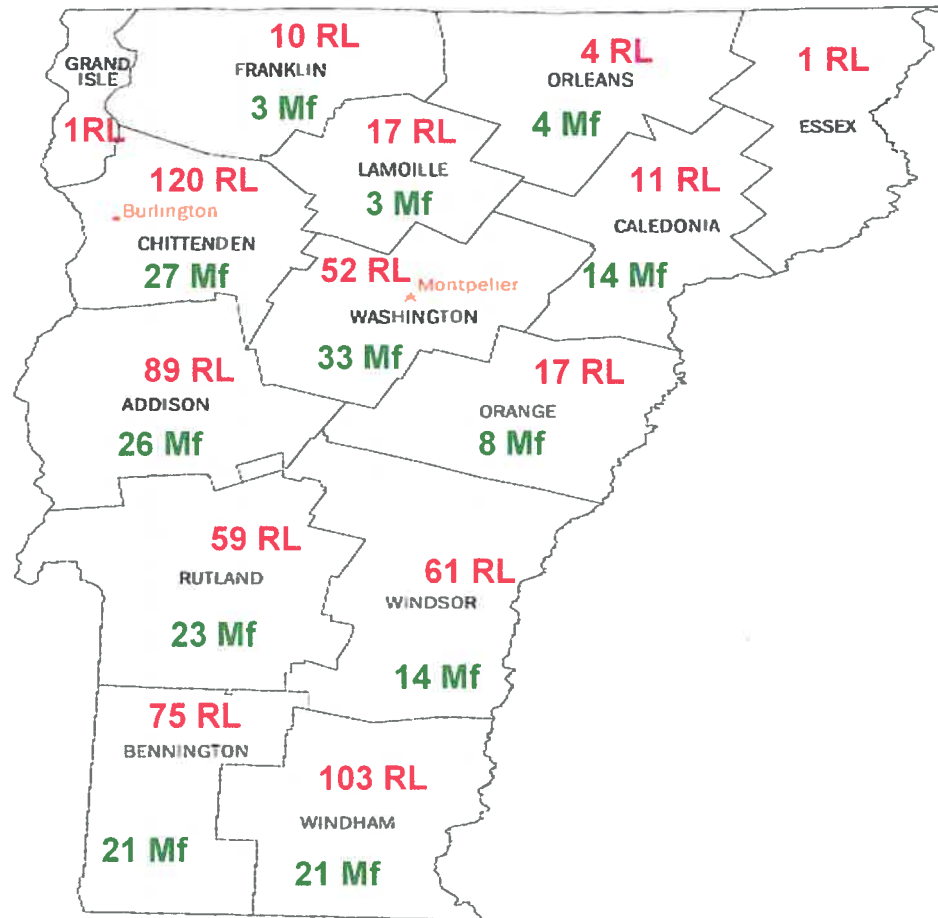
La répartition des cas par comté montre que tous les comtés de l'État du Vermont ont eu au moins un cas de rage entre 1994 et 2004 (tableau III et figure 6).

Dans les comtés de Chittenden, Windham et Addison, on a rapporté le plus de rage chez le raton laveur avec respectivement 19,4%, 16,6% et 14,4%. En ce qui a trait à la mouffette les comtés où on a rapporté le plus de cas sont : Washington (16,8%) des cas, Chittenden (13,7%) et Addison (13,2%). Les comtés de Essex et Grand Isle, situés tout au Nord du Vermont et frontaliers au Québec, ont enregistré les plus faibles nombre de cas : zéro chez la mouffette et seulement un chez le raton laveur. Il en est de même pour le comté d'Orléans avec seulement quatre cas pour chacune des espèces (raton laveur et mouffette) sur les onze années couvertes par notre étude (1994-2004).

Tableau III. Nombre de cas de raton laveur et de moufette rapportés par comté. Vermont 1994-2004

Comtés	Raton laveur		Moufette	
	Nombre	Pourcentage	Nombre	Pourcentage
Addison	89	14,4%	26	13,2%
Bennington	75	12,1%	21	10,7%
Caledonia	11	1,8%	14	7,1%
Chittenden	120	19,4%	27	13,7%
Essex	1	0,2%	0	0
Franklin	10	1,6%	3	1,5%
Grand Isle	1	0,2%	0	0
Lamoille	17	2,7%	3	1,5%
Orange	17	2,7%	8	4,1%
Orléans	4	0,6%	4	2,0%
Rutland	59	9,5%	23	11,7%
Washington	52	8,4%	33	16,8%
Windham	103	16,6%	21	10,7%
Windsor	61	9,8%	14	7,1%
TOTAL	620	100%	197	100%

Figure 6. Répartition des cas de raton laveur et de moufette par comté.
Vermont 1994-2004



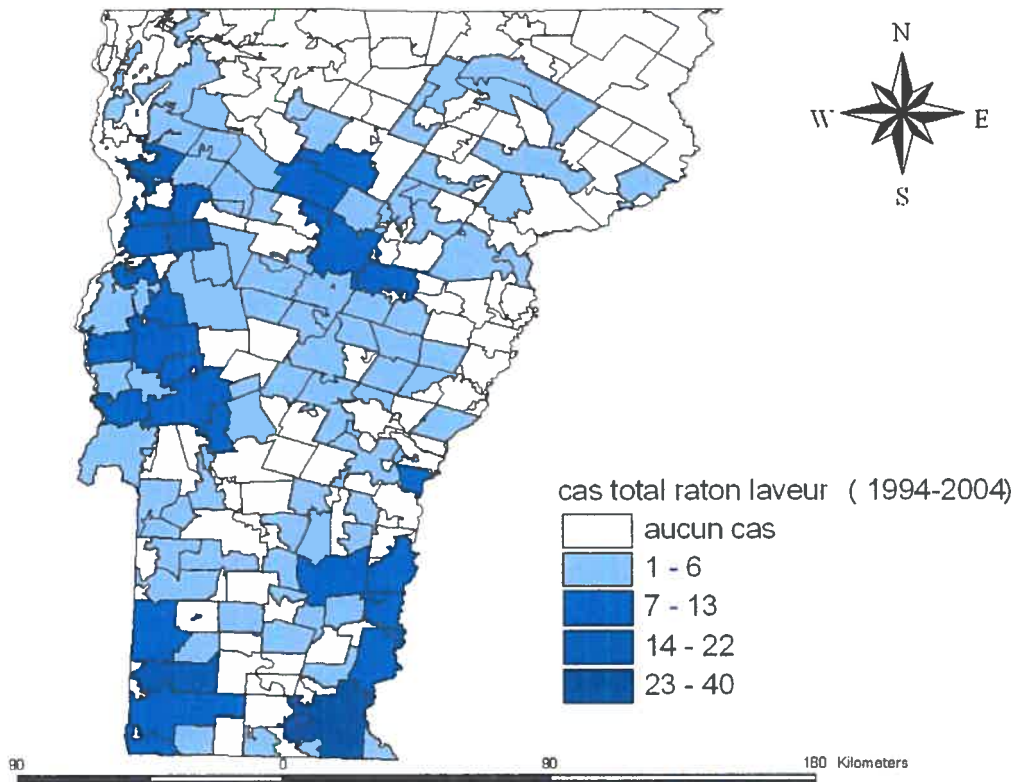
Par ailleurs, lorsqu'on regarde la distribution au niveau des comtés des cas de raton laveur par rapport aux cas de moufette, on constate que quasiment tous les comtés ont enregistré un nombre plus considérable de cas de raton laveur que de moufette (au moins trois fois plus). Les exceptions proviennent des comtés de Caledonia où il est rapporté plus de cas de moufette que de raton laveur (14 contre 11) et Orléans où il y a eu autant de cas (quatre) rapportés chez les deux espèces. Ces deux comtés sont limitrophes.

4.1.2.2. Localisation des cas de raton laveur entre 1994 et 2004

En ce qui concerne les cas de raton laveur pris séparément, on remarque que pour une bonne partie du Vermont, le nombre de cas rapporté se situe entre un et six dans les Zips (figure 7). Les groupes de cas sont bien visibles dans les parties sud et centrale de l'État.

Les villes de Brattleboro (au sud-est) et Burlington (au nord-ouest de la partie centrale) respectivement situées dans les comtés de Windham et de Chittenden représentent celles où les cas de rage de raton laveur sont rapportés en plus grand nombre, 29 cas pour la première et 26 pour la deuxième. En plus de ces comtés, les autres groupes de cas sont localisées dans les comtés de Bennington (au sud-ouest), Addison (à l'ouest) et Washington (au centre).

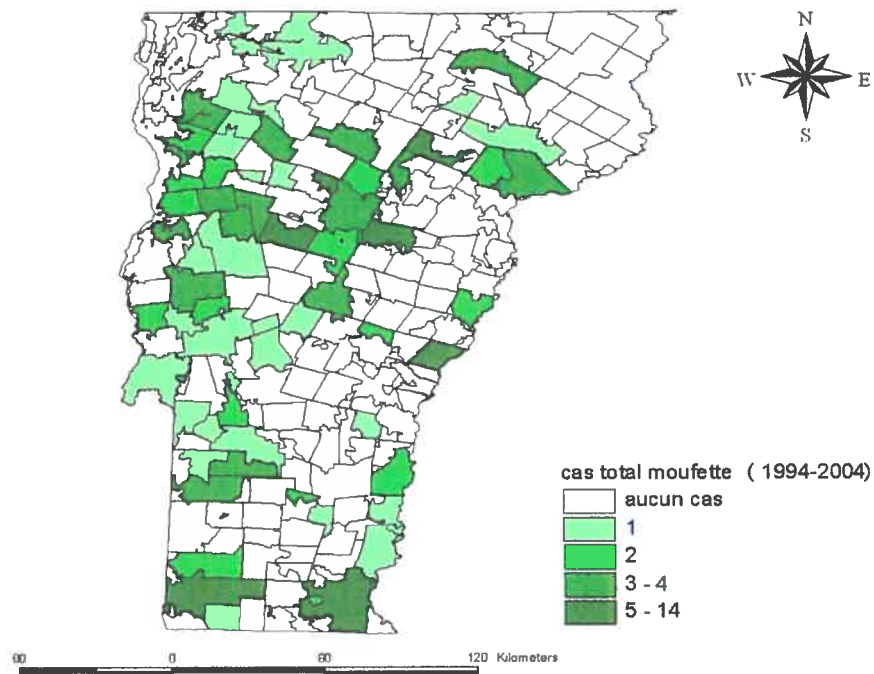
Figure 7. Distribution des fréquences de cas de rage chez le raton laveur selon le Zip. Vermont 1994 - 2004



4.1.2.3. Localisation des cas de moufette entre 1994 et 2004

Les cas de moufette semblent se répartir de façon plus irrégulière que ceux du raton laveur (figure 8). On peut remarquer que les Zips sans aucun cas de moufette rapporté sont nombreux. De même, il y a aussi beaucoup de Zips avec seulement un ou deux cas de rage rapportés chez la moufette sur les onze années couvertes par l'étude (1994-2004).

Figure 8. Distribution de fréquence des cas de rage chez la moufette selon le Zip. Vermont 1994 - 2004



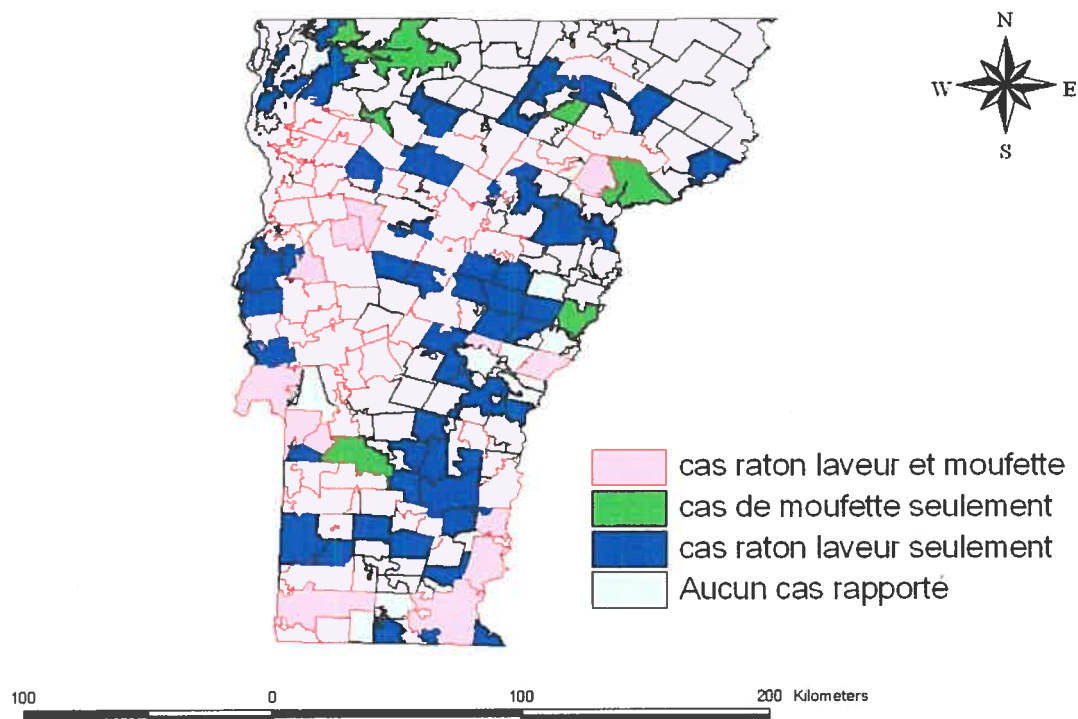
Les comtés de Windham, Bennington et Washington sont encore parmi ceux où les Zips ont le plus de cas enregistrés et ces Zips demeurent les mêmes que pour les cas de raton laveur. Les comtés de Caledonia et Windsor complètent la liste. Il faut signaler que pour le comté de Washington 12 des 21 cas de moufettes ont été rapportés au cours de l'année 2004, la seule année où on a enregistré un plus grand nombre de cas de moufette que de raton laveur. La plupart de ces cas (10 sur 12) proviennent de deux villes Barre (cinq cas) et Belin (cinq cas) correspondant à deux polygones de Zips contigus.

4.1.2.3. Cas totaux raton laveur et moufette entre 1994 et 2004

Lorsqu'on considère simultanément la localisation des cas rapportés pour les deux espèces, on constate que plus de 46% des Zips du Vermont ont eu au moins un cas de rage de raton laveur et/ou de moufette. Parmi ces Zips dits "infectés" la moitié représente des Zips avec à la fois des cas de raton laveur et des cas de moufette. Dans 42% il n'y a eu que des cas de raton laveur contre 8% avec uniquement des cas de moufette (figure 9).

Néanmoins, il faut souligner que les Zips qui n'ont que des cas de moufette sont tous contigus à au moins un Zip avec des cas de raton laveur.

Figure 9. Localisation (par Zip) des cas de rage rapportés chez le raton laveur et la moufette. Vermont 1994 - 2004

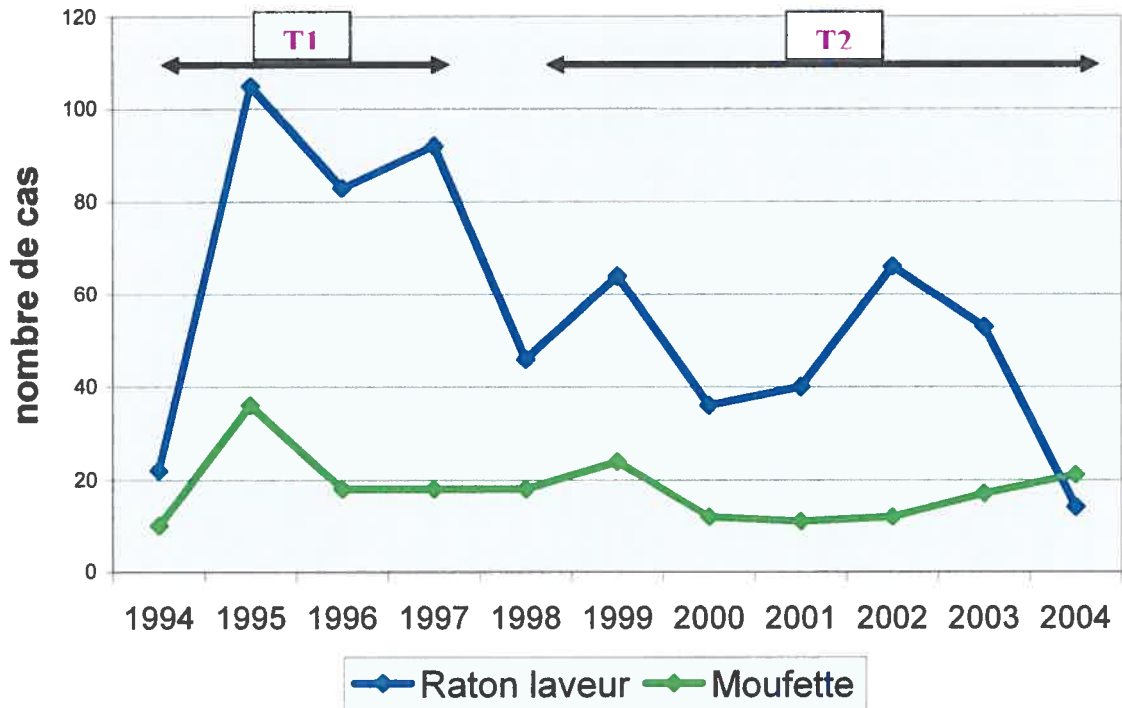


4.1.3. Description de la distribution temporelle des cas

4.1.3.1. Répartition annuelle des cas par espèce

La figure 10 présente la répartition annuelle des cas pour le raton laveur et la moufette. Elle permet de suivre l'évolution du nombre de cas pour chacune de ces espèces depuis l'apparition de l'épidémie en 1994 jusqu'en 2004.

Figure 10. Évolution du nombre de cas de rage chez le raton laveur et la moufette. Vermont 1994 - 2004



Le test de t a révélé que le nombre de cas rapportés chez le raton laveur en moyenne par année était statistiquement plus élevé pendant la période T1 (1994-1997) que pendant la période T2 (1998-2004) ($p=0,004$). Le test de Wilcoxon abonde dans le même sens ($p=0,02$). Cependant, aucune différence significative n'a été observée pour les cas de moufette pendant les deux périodes ($p=0,25$) que ce soit avec le test de t ou avec le test de Wilcoxon.

Par ailleurs, on peut remarquer que les cas de rage du raton laveur suivent une évolution en dents de scies à travers les années. Cependant, chez la moufette cette évolution varie peu.

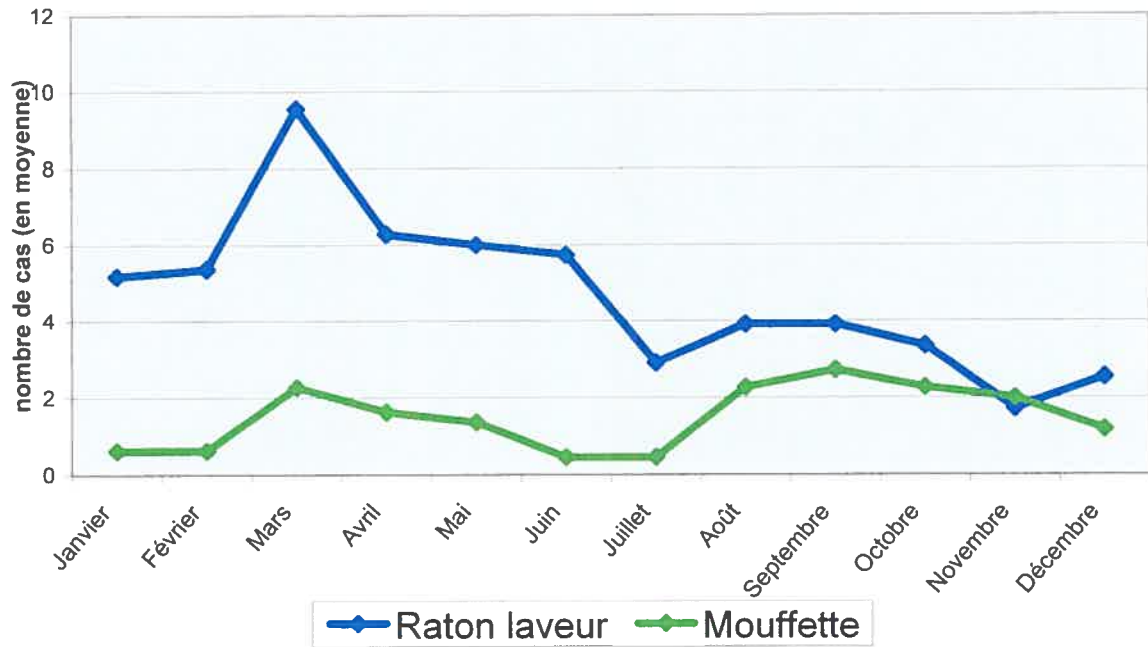
En considérant les trois dernières années couvertes par l'étude (c'est-à-dire 2002 - 2004), on constate encore une fois que l'évolution du nombre de cas de raton laveur et de moufette n'est pas tout à fait pareille. Alors que chez le raton laveur le nombre de cas est à la baisse – pour atteindre en 2004 son niveau le plus bas depuis l'apparition de l'épizootie en 1994 – on observe une très légère augmentation du nombre de cas chez la moufette au point qu'on enregistre pour la première fois plus de cas de moufette que de raton laveur.

4.1.3.2. Répartition mensuelle des cas par espèce

La répartition mensuelle des cas permet d'explorer d'éventuelles variations saisonnières (figure 11). Sur l'année, on observe peu de différence dans le schéma de variation saisonnière chez le raton laveur et la moufette. Pour les ratons laveurs, les plus grands nombres (en moyenne) de cas sont rapportés en mars, période correspondant aux activités sexuelles des ratons laveurs. C'est également le début du printemps ; les animaux commencent à sortir de leurs tanières donc il y a une plus grande probabilité de contact entre les animaux ; aussi il y a plus de chance que les gens les voient.

Pour les moufettes, le nombre moyen de cas rapportés est plus élevé en mars, août, septembre et octobre que durant les autres mois.

Figure 11. Variation moyenne mensuelle des cas de rage chez le raton laveur et la mouffette. Vermont 1994 - 2004



D'une façon générale, chez le raton laveur les mois de janvier à juin représentent la période de l'année où l'on enregistre le plus de cas en moyenne par mois. De plus petits nombres de cas sont rapportés de juillet à décembre.

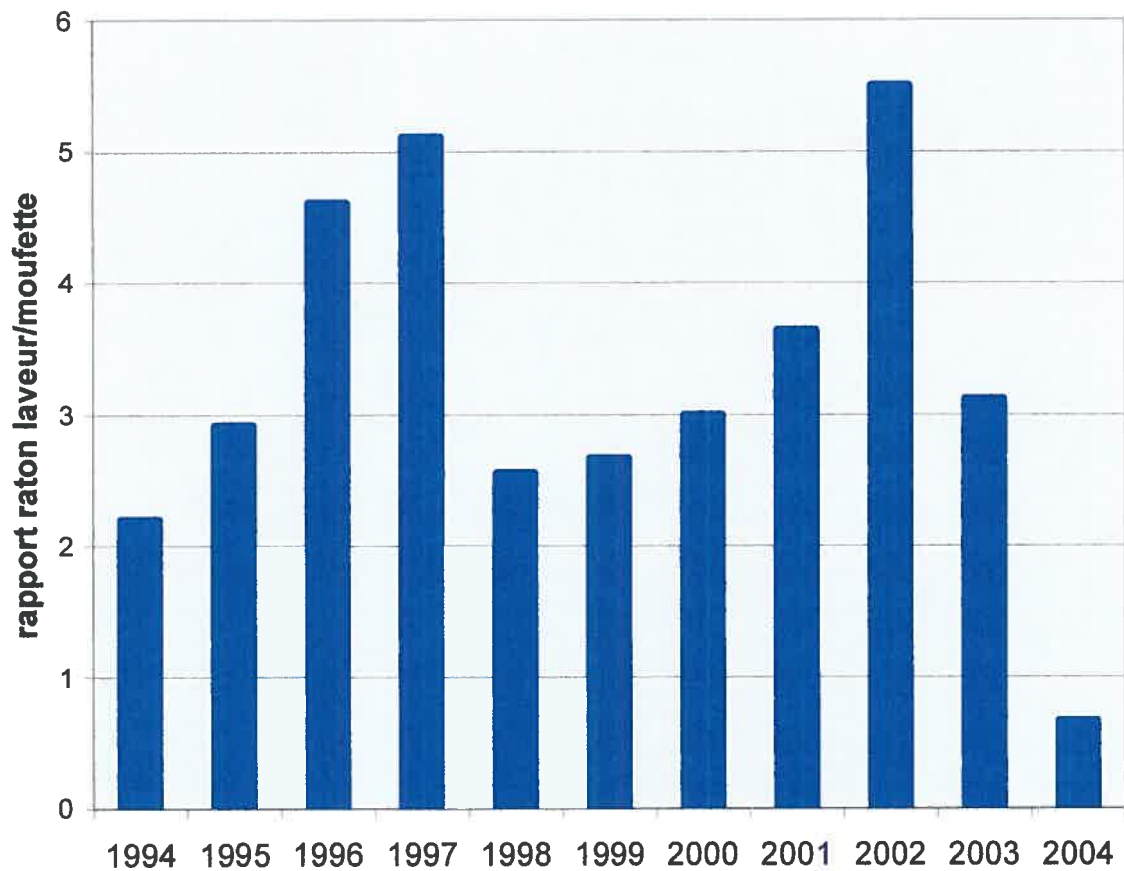
Chez la mouffette le nombre de cas de rage rapporté mensuellement est faible ; il est donc difficile de faire une analyse de la variation saisonnière. Toutefois, en considérant la courbe de l'évolution du nombre moyen de cas par mois, on remarque une distribution bimodale des cas : une première période "d'activité" (nombre de cas plus élevé) allant de mars à mai, suivie d'une période de deux mois (juin et juillet) avec peu de cas ; une deuxième période "d'activité" allant d'août à novembre précédant une autre période avec peu de cas.

Il est à signaler que le mois de novembre est le seul de l'année où on enregistre en moyenne pratiquement le même nombre de cas de mouffette que de raton laveur.

4.1.3.3. Évolution du rapport du nombre de cas raton laveur/nombre de cas moufette

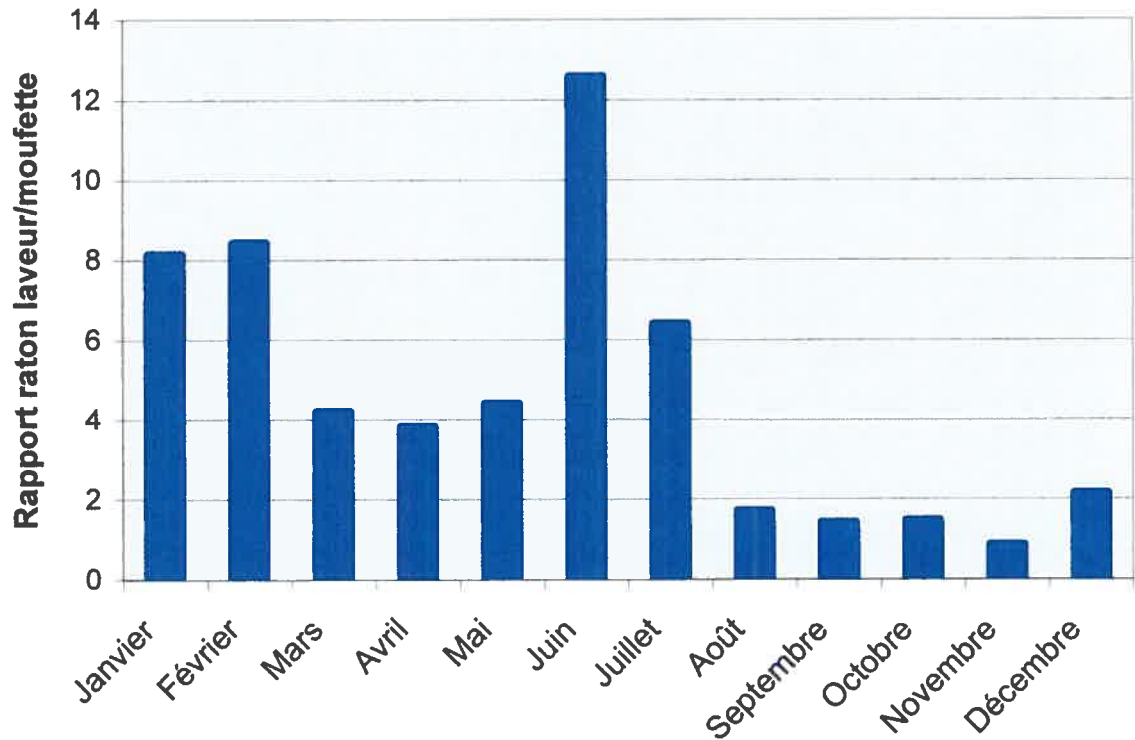
Sur la période 1994-2004, au Vermont le rapport du nombre de cas de raton laveur et du nombre de cas de moufette est de trois. Cependant ce rapport varie suivant les années (figure 12) mais aussi selon les périodes de l'année (figure 13).

Figure 12 : Rapport annuel du nombre de cas raton laveur/nombre de cas moufette. Vermont 1994 - 2004



Les années 1997 et 2002 demeurent celles où le rapport fut le plus élevé : entre cinq et six ; alors que l'année 2004 est la seule où ce rapport est inférieur à un, c'est-à-dire où il a été rapporté plus de cas de moufette que de raton laveur.

Figure 13 : Rapport mensuel du nombre de cas raton laveur/nombre de cas moufette. Vermont 1994 - 2004



Sur le plan saisonnier, les plus fortes variations sont observées pendant les sept premiers mois de l'année, avec un rapport d'environ huit en janvier - février et un pic en juin (13 fois plus de cas de raton laveur que de moufette). A partir du moins d'août, la variation est faible. Le rapport du nombre de cas de raton laveur et du nombre de cas de moufette tourne autour de deux sauf pour le mois de novembre où ce rapport est légèrement inférieur à un.

4.1.4. Description de la distribution spatio-temporelle des cas

En analysant la distribution des cas à travers les années (annexes 1 à 22), on constate que l'épidémie qui a pris naissance dans le sud du Vermont a progressé graduellement vers le nord. En 1994 les cas de rage de raton laveur sont localisés particulièrement dans la partie sud de l'État (annexe 1), ils progressent légèrement en direction nord-est en 1995 (annexe 2) et un peu plus au nord-est en 1996. Une grappe de cas est aussi observée à l'est de la partie sud de l'État (annexe 3).

En 1997 les cas sont concentrés dans le comté de Chittenden localisé légèrement au nord-est de la partie centrale de l'État (annexe 4). A partir de 1998, le nombre de cas par Zip diminue. Les cas sont plus localisés légèrement au nord de la partie centrale de l'État et un peu à l'est de la partie sud (annexe 5). L'année suivante, aucun cas n'est rapporté dans le sud et les concentrations sont observées dans la partie centrale (annexe 6). En 2000 la dispersion est plus grande bien que le nombre de cas par Zip soit faible (annexe 7). A partir de 2001, les parties nord et est du Vermont enregistrent très peu ou pratiquement pas de cas de rage de raton laveur (annexe 8-11) mais le sud a recommencé à être touché.

En ce qui concerne les cas de mouffette, on remarque que le nombre de cas par Zip est très faible au cours des années (annexe 12-22) et la dispersion ne semble pas suivre une tendance temporelle précise.

4.2. Analyse des clusters (grappes)

La détection des clusters concerne la distribution de tous les cas de rage rapportés chez le raton laveur et la mouffette au Vermont sur toute la période couverte par notre étude, c'est-à-dire de 1994 à 2004. Les tests ont été effectués tant au niveau temporel que spatial.

4.2.1. Clusters au niveau spatial

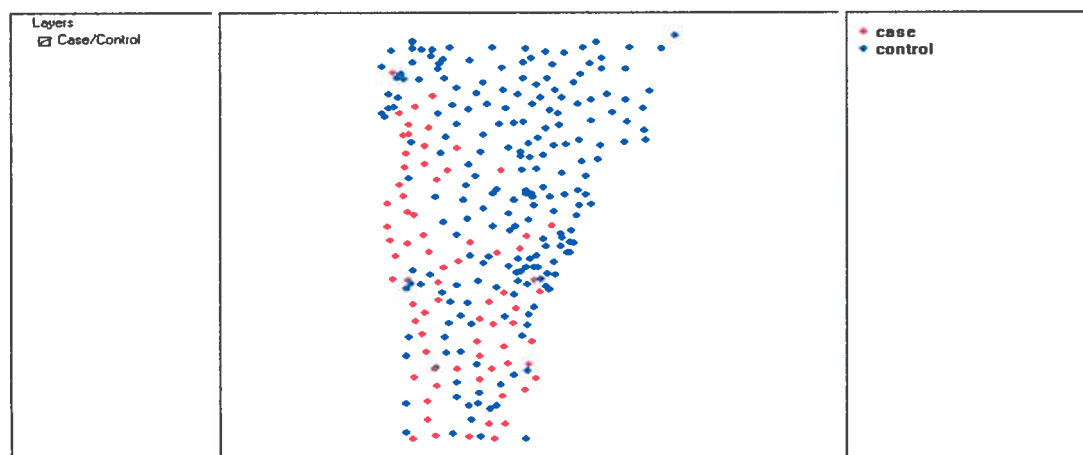
La méthode de Cuzick & Edwards utilisée pour la détection des clusters dans l'espace prend en compte les *centroïdes* (coordonnées X, Y) pour représenter les polygones de Zip. Il importe de rappeler que les *Zips-cas* (en rouge) sont ceux dits "infectés", c'est-à-dire avec au moins un cas de rage rapporté pour l'espèce en question ; les *Zips-contrôles* étant ceux sans cas pour la même espèce.

4.2.1.1 Chez le raton laveur

Chez le raton laveur, nous avons fait les tests de détection des clusters séparément pour chacune des périodes T1 et T2. Pour la période T1 (1994-1997), le test de Cuzick & Edwards a révélé que les cas de rage du raton laveur ne sont pas distribués de façon aléatoire au niveau de l'État du Vermont mais présentent des agrégats au niveau spatial (figure 14). La distance entre voisins était statistiquement significative à partir de deux voisins ($p < 0,001$).

On peut observer que durant cette période les cas sont concentrés dans les parties sud et ouest de l'État. En fait, les premiers cas de rage rapportés chez le raton laveur au Vermont en 1994 ont été localisés dans la partie sud. Les cas cumulés sur toute cette première période couvrent 26,5% des Zips.

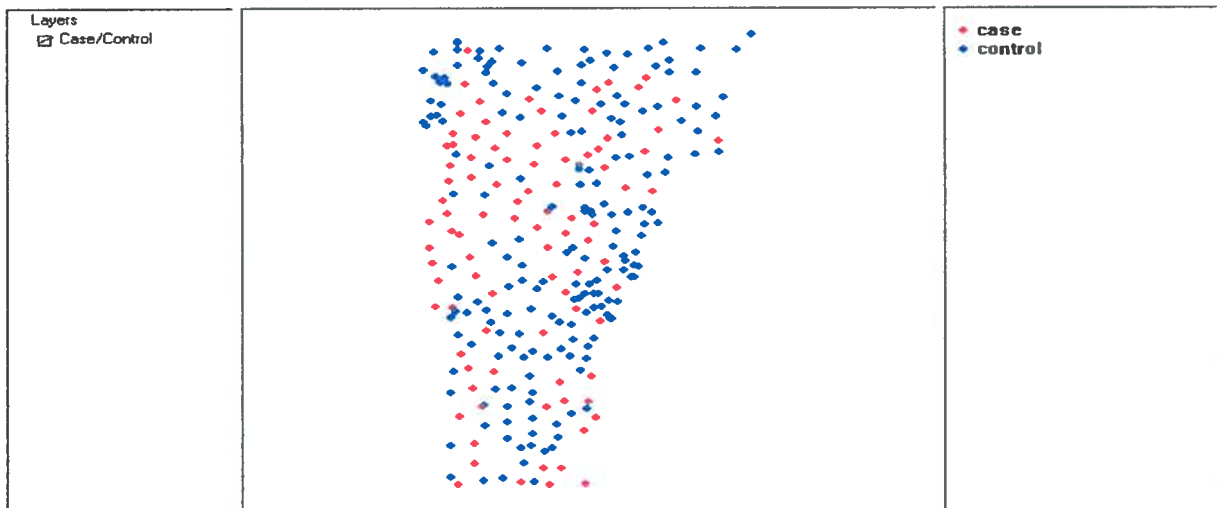
Figure 14 : Clusters à l'échelle spatiale chez le raton laveur pendant la période T1 (1994-1997). Vermont



Le test de Cuzick & Edwards a révélé la présence de clusters au niveau spatial également au cours de la période T2 (figure 15). La distance entre voisins était statistiquement significative dès le premier voisin ($p < 0,001$).

Les cas de rage de raton laveur sont plus dispersés. Cumulés, ils touchent environ 34% des Zips ; même si le nombre de cas par année fut statistiquement moins élevé que pendant la période T1.

Figure 15 : Clusters à l'échelle spatiale chez le raton laveur pendant la période T2 (1998-2004). Vermont

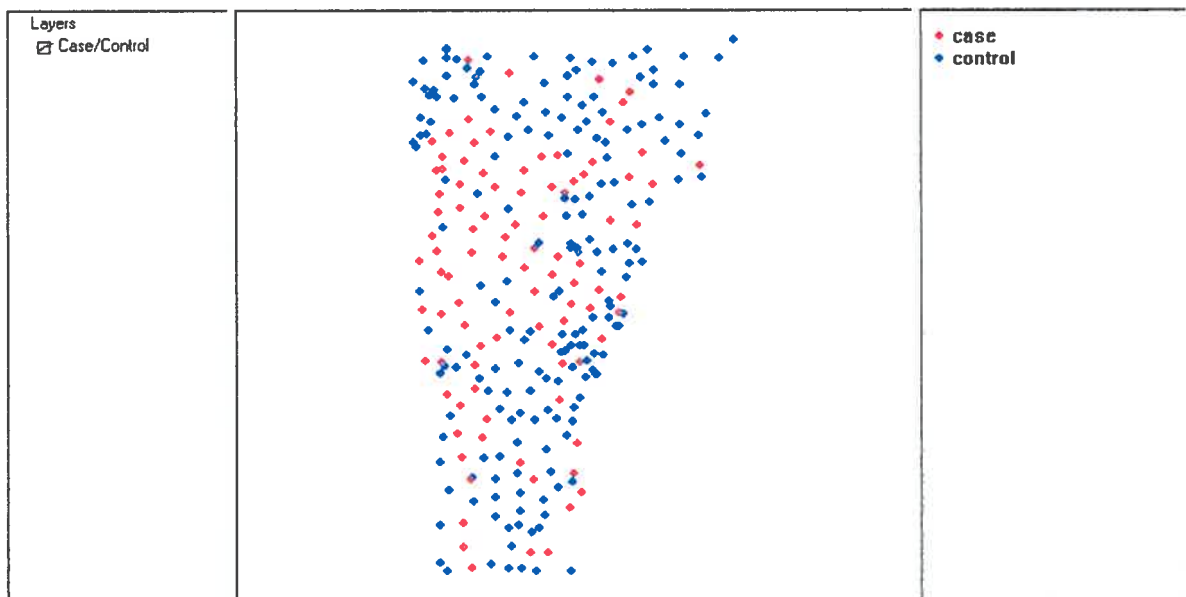


4.2.1.2. Chez la moufette

Vu qu'il n'a pas été observé de différence statistiquement significative pour le nombre de cas de rage de moufette entre les deux périodes, le test a été effectué avec tous les cas rapportés entre 1994 et 2004.

Une fois de plus, le test de détection de clusters au niveau spatial a été statistiquement significatif ($p < 0,001$) à partir de deux voisins (figure 16). Les cas cumulés de rage de moufette couvrent 26% des Zips, quasiment autant que les cas de raton laveur pendant la première période, mais plus dispersés.

Figure 16 : Clusters à l'échelle spatiale chez la moufette. Vermont 1994-2004



4.2.2. Clusters au niveau temporel

La méthode Scan Statistic de Wallestein utilisée pour la détection des clusters au niveau temporel consistait à faire déplacer par séquences des fenêtres de cas dont la taille a été préalablement définie. Des fenêtres de deux à six mois ont été prises en compte pour le raton laveur et pour la moufette.

Tableau IV. Clusters à l'échelle temporelle pour les cas de rage de raton laveur. Vermont 1994-2004

Taille fenêtre	Variance	Valeur de p
2 mois	9,11	< 0,001
3 mois	13,56	< 0,001
4 mois	17,94	< 0,001
5 mois	22,24	< 0,001
6 mois	26,48	< 0,001

Chez le raton laveur, le test a révélé qu'il existe des agrégats au niveau temporel quelque soit la taille de la fenêtre considérée ($p < 0,001$) comme le montre le tableau IV. L'évolution mensuelle (de 1994 à 2004) du nombre de cas de rage rapportés chez le raton laveur au Vermont est présentée à l'annexe 23.

Tableau V. Clusters à l'échelle temporelle pour les cas de rage de moufette.
Vermont 1994-2004

Taille fenêtre	Variance	Valeur de p
2 mois	2,72	0,06
3 mois	4,04	0,03
4 mois	5,35	0,006
5 mois	6,63	0,055
6 mois	7,89	0,12

Chez la moufette, il existe également des clusters au niveau temporel (tableau V) mais pour des fenêtres de trois et quatre mois (respectivement $p=0,03$ et $p=0,006$). L'évolution mensuelle (de 1994 à 2004) du nombre de cas de rage rapportés chez la moufette au Vermont est présentée à l'annexe 24.

4.3. Associations des cas avec des facteurs écologiques et démographiques

Il convient de rappeler que dans le cadre de l'exploration des associations, diverses variables ont été prises en considération pour expliquer le nombre de cas de rage chez chacune des espèces. Ces variables sont déterminées pour chaque Zip, il s'agit de :

- densité de population humaine (1997) du Vermont : *densité*
- statut vaccinal (oui/non)
- altitude moyenne : *altitude*
- couverture en eau : *eau*
- zone résidentielle de faible intensité : *zrfi*
- zone résidentielle d'intensité élevée : *zrie*
- zone de transition : *zt*
- zone commerciale industrielles et de transport : *zcit*
- zone urbaine avec parcs récréationnels : *zupr*
- zone de pâturages : *zp*
- zone de cultures : *zcl*
- zone humide avec herbacées émergentes : *zhhe*
- zone humide avec boisés : *zhb*
- forêt à feuilles caduques : *ffc*
- forêt à feuilles persistantes : *ffp*
- forêt mixte : *fm*

4.3.1. Modèle cas ratons laveurs

4.3.1.1. Modèle cas raton laveur pendant la période T1 (1994-1997)

A partir de la régression univariée, les variables suivantes ont été retenues au seuil de 0,30 : *densité*, *zhhe*, *eau*, *zrfi*, *zt*, *zrie*, *zcit*, *ffc*, *fm*, *zupr*, *altitude* ainsi que les interactions *densité x altitude*, et *densité x eau*. Les variables statistiquement significatives pour le modèle des cas de raton laveur pendant la première période sont présentées dans le tableau VI. Le nombre de cas augmentait par un facteur de 1,004 ($e^{0,0042}$) par unité de *densité* ($p < 0,0001$) mais diminuait lorsque les variables : *eau* ($p = 0,09$), *fm* ($p = 0,0005$) *zhhe* ($p = 0,011$), *zrie* ($p = 0,0006$), *zt* ($p = 0,06$) et *l'altitude* ($p = 0,01$) augmentaient.

Tableau VI. Facteurs associés aux cas de raton laveur pendant la période T1. Vermont 1994-1997

Variables	Estimé (β)	Valeur de p
densité (hbts/km ²)	0,0042	<0,0001
eau (%)	-9,82	0,09
zone résidentielle d'intensité élevée (%)	-48,70	0,0006
zone humide avec herbacées émergentes (%)	-15,66	0,011
zone de transition (%)	-72,88	0,06
forêt mixte (%)	-6,58	0,0005
altitude (m)	-0,0008	0,011

Le résultat du test χ^2 de Pearson indique que le modèle est approprié à l'exploitation des données : non significatif avec une valeur de 266 et 274 degrés de liberté ($p > 0,25$).

4.3.1.2. Modèle cas ratons laveurs pendant la période T2 (1998-2004)

Pendant la période T2, les variables retenues en régression univariée au seuil de 0,30 étaient : *densité*, *eau*, *vaccination*, *zrfi*, *zt*, *zrie*, *zcit*, *ffc*, *fm*, *zupr*, *zhhe*, *zhb*, *altitude* ainsi que les interactions *densité x altitude*, et *densité x fm*. Les variables et l'interaction significative dans le modèle multiple sont présentés dans le tableau VII.

Pour cette période, le nombre de cas augmentait par un facteur de 1,003 ($e^{0,0034}$) par unité de *densité* ($p < 0,0001$). Ce nombre augmentait également lorsque *zupr* prenait des valeurs plus élevées ($p = 0,004$). Les variables : *eau* ($p = 0,09$), *zhhe* ($p = 0,01$), *zrfi* ($p = 0,05$) et *l'altitude* ($p = 0,15$) étaient négativement associées au nombre de cas de rage de raton laveur pendant la deuxième période. L'effet positif de la *densité* augmentait avec *l'altitude* ($p = 0,0001$).

Tableau VII. Facteurs associés aux cas de raton laveur pendant la période T2. Vermont 1998-2004

Variabiles	Estimé (β)	Valeur de p
densité (hbts/km ²)	0,0037	<0,0001
zone urbaine avec parc récréationnel (%)	19,99	0,004
eau (%)	-7,88	0,09
zone humide avec herbacées émergentes (%)	-23,19	0,01
zone résidentielle de faible intensité (%)	-14,82	0,05
altitude (m)	-0,0004	0,15
densité X altitude	0,00001	<0,0001

Le résultat du test χ^2 de Pearson indique que le modèle est approprié à l'exploitation des données : non significatif avec une valeur de 284 et 275 degrés de liberté ($p > 0,25$).

4.3.1.3. Cas raton laveur sur toute la période (1994-2004)

Lorsqu'on a considéré les cas cumulés de raton laveur, les variables suivantes ont été retenues à partir de la régression univariée au seuil de 0,30 : *densité*, *eau*, *vaccination*, *zrfi*, *zt*, *zrie*, *zcit*, *ffc*, *fm*, *zupr*, *zhhe*, *zhb*, *altitude* ainsi que les interactions *densité x zrfi*, *densité x fm*, *densité x eau*. Les variables et l'interaction significative dans le modèle multiple sont présentés dans le tableau VIII. Dans ce cas, le nombre de cas cumulés de rage du raton laveur augmentait par un facteur de 1,004 ($e^{0,0037}$) par unité de *densité* ($p < 0,0001$). Il y avait aussi une augmentation du nombre de cas lorsque *zupr* prenait de plus grandes valeurs (figures 19 et 20).

Cependant, le nombre de cas diminuait lorsque les valeurs de : *eau* ($p=0,07$), *zhhe* ($p=0,004$), *zrfi* ($p=0,007$), *fm* ($p=0,07$) et *l'altitude* ($p=0,01$) augmentaient (figures 17-23). L'effet positif de la *densité* était moins prononcé lorsque *zrfi* prenait des valeurs plus élevées.

Tableau VIII. Facteurs associés aux cas totaux de raton laveur.
Vermont 1994-2004

Variabes	Estimé (β)	Valeur de p
densité (hbts/km ²)	0,0037	<0,0001
eau (%)	-7,80	0,07
zone résidentielle de faibles intensités (%)	-22,00	0,007
zone urbaine avec parc récréationnel (%)	33,71	<0,0001
zone humide avec herbacées émergentes (%)	-16,78	0,004
forêt mixte (%)	-2,17	0,065
altitude (m)	-0,0007	0,013
densité X zone résidentielle de faibles intensités	-0,03	<0,0001

Le résultat du test χ^2 de Pearson indique que le modèle est approprié à l'exploitation des données : non significatif avec une valeur de 243 et 274 degrés de liberté ($p > 0,25$)

Figure 17. Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport au log de la densité humaine (hbts/km²). Vermont 1994-2004

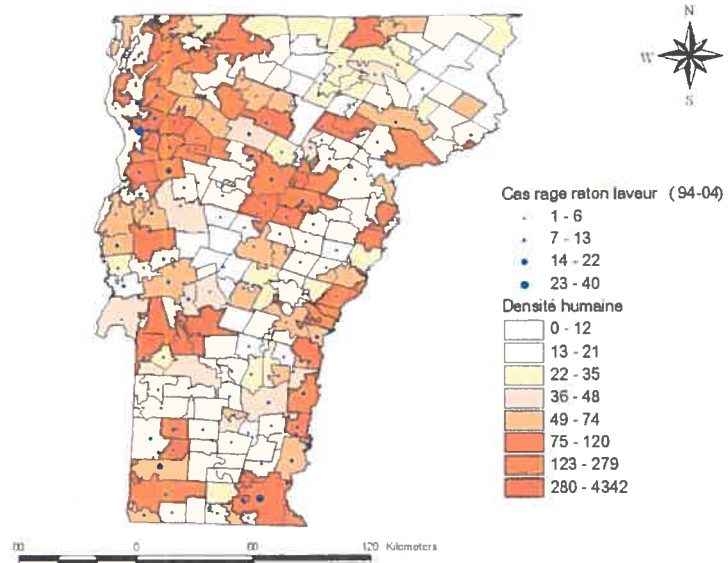


Figure 18. Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport à la couverture en zone urbaine avec parc récréationnel. Vermont 1994-2004

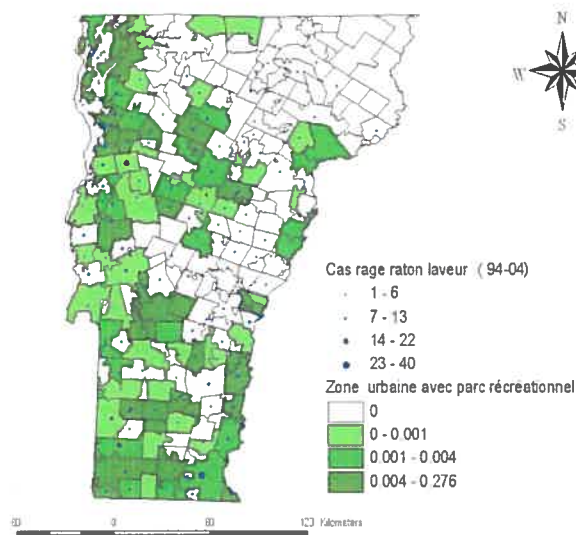


Figure 19. Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport à la couverture en eau. Vermont 1994-2004

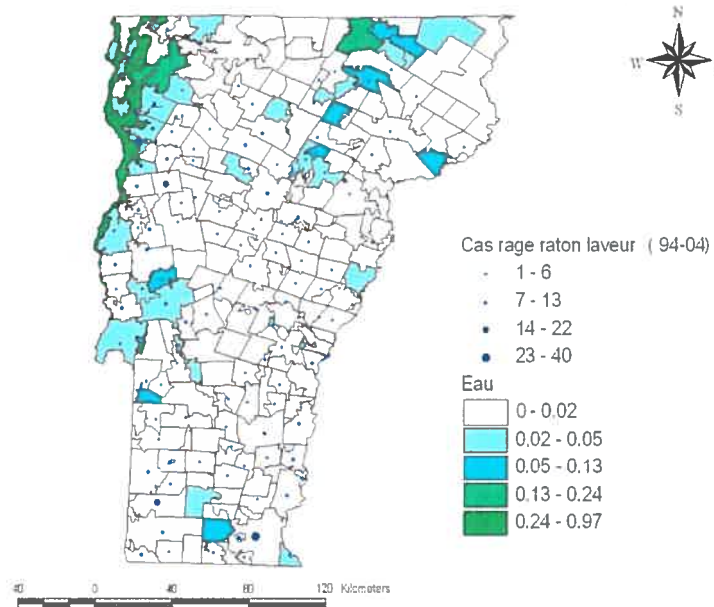


Figure 20. Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport à la couverture en zone résidentielle de faible intensité. Vermont 1994-2004

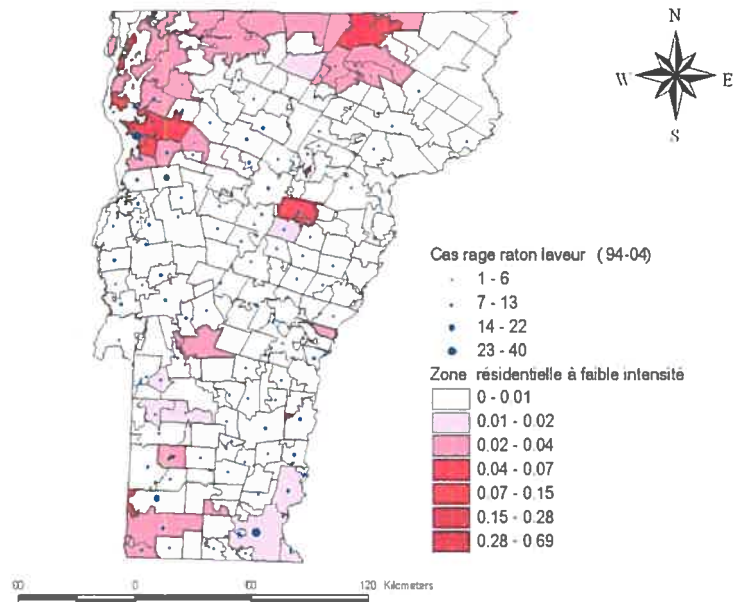


Figure 21. Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport à la couverture en zone humide avec herbacées émergentes. Vermont 1994-2004

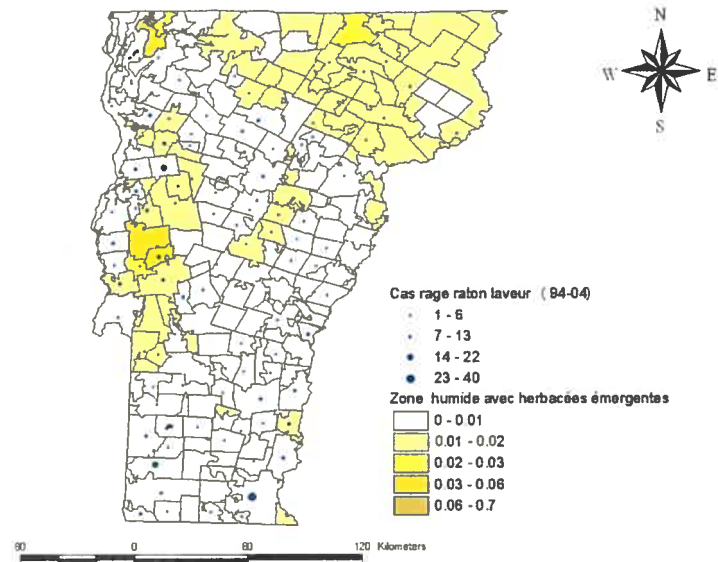


Figure 22. Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport à la couverture en forêt mixte. Vermont 1994-2004

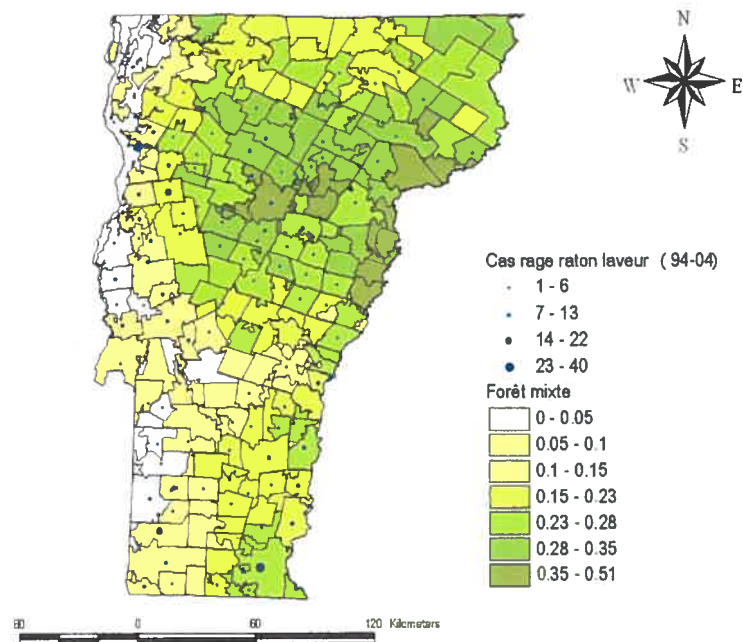
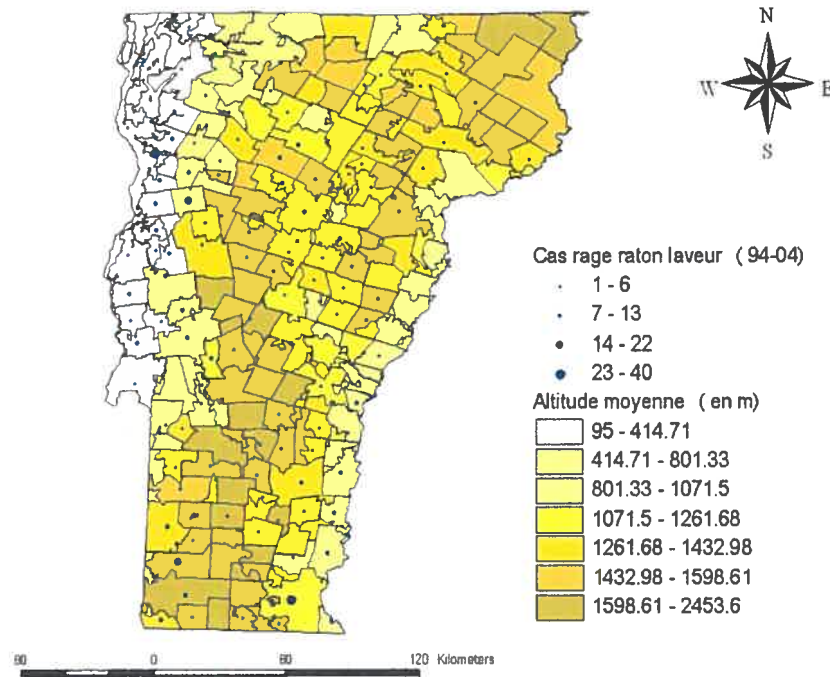


Figure 23 : Dispersion des cas de rage de raton laveur par rapport à l'altitude.
Vermont 1994-2004



4.3.2. Modèle cas mouffettes

En ce qui a trait au nombre de cas de rage de la mouffette, les variables retenues par la régression univariée au seuil de 0,30 ont été : *densité*, *nombre de cas raton laveur*, *zrfi*, *zrie*, *zcit*, *ffc*, *fm*, *zp*, *zupr*, *zhhe*, *altitude* ainsi que l'interaction *densité x altitude*. Les variables significatives dans le modèle de régression multiple sont présentées dans le tableau IX. Les cartes de dispersion des cas sont présentées pour les variables statistiquement significatives du modèle mouffette (figures 24 à 28).

Tableau IX. Facteurs associés aux cas totaux de mouffette.
Vermont 1994-2004

Variables	Estimé (β)	Valeur de p
nombre cas raton laveur	0,18	<0,0001
densité (hbts/km ²)	0,0026	<0,0001
zone résidentielle d'intensité élevée (%)	-33,28	0,003
zone humide avec herbacées émergentes (%)	-31,11	0,006
forêt à feuilles caduques (%)	-2,45	0,01
zone de pâturage (%)	-5,00	0,08

Le nombre de cas de rage de mouffette augmentait par un facteur de 1,003 ($e^{0,0026}$) par unité de *densité* ($p < 0,0001$) et de 1,2 ($e^{0,18}$) par cas de rage chez le raton laveur ($p < 0,0001$). Ce nombre diminuait lorsque les variables : *zrie* ($p = 0,003$), *zhhe* ($p = 0,006$), *ffc* ($p = 0,01$) et *zp* ($p = 0,08$) prenaient des valeurs plus grandes.

Le résultat du test χ^2 de Pearson indique que le modèle est approprié à l'exploitation des données : non significatif avec une valeur de 384 et 276 degrés de liberté et $p > 0,25$.

Figure 24. Dispersion des cas de rage de moutette par rapport au log de la densité humaine (hbts/km²). Vermont 1994-2004

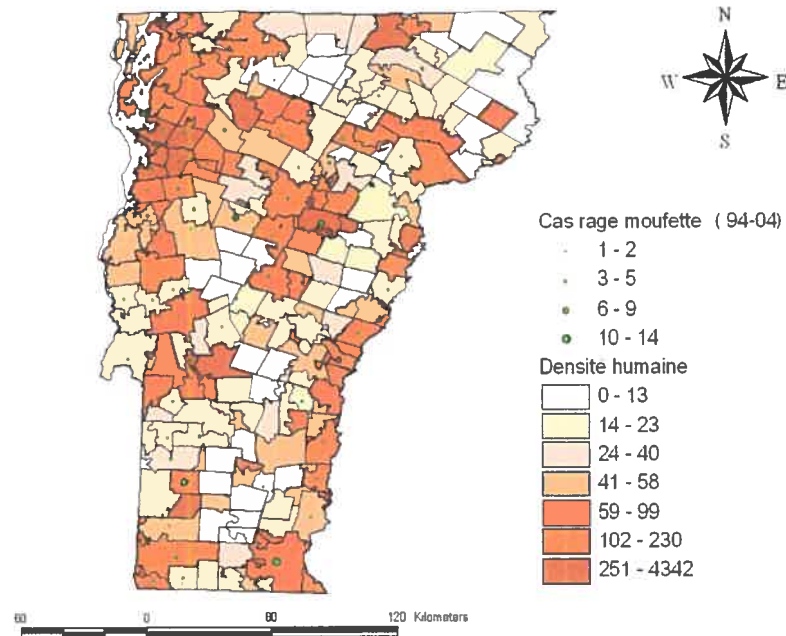


Figure 25. Dispersion des cas de rage de moutette par rapport à la couverture en zone résidentielle à intensité élevée. Vermont 1994-2004

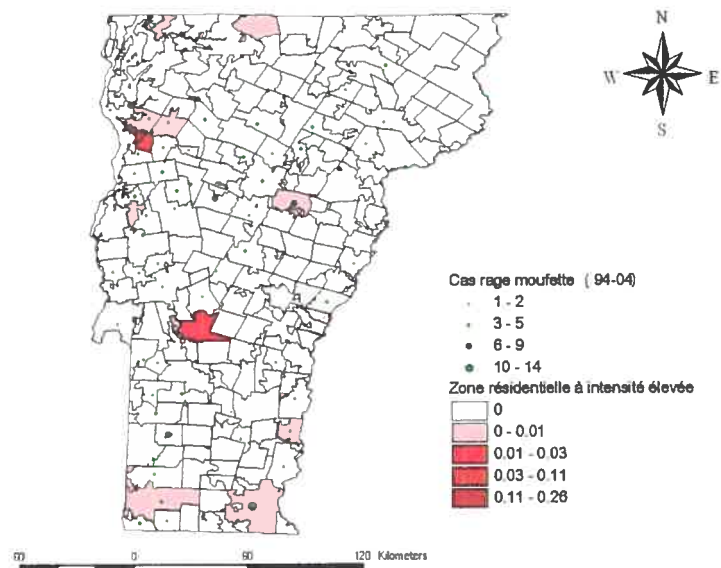


Figure 26. Dispersion des cas de rage de moufette par rapport à la couverture en zone humide avec herbacées émergentes. Vermont 1994-2004

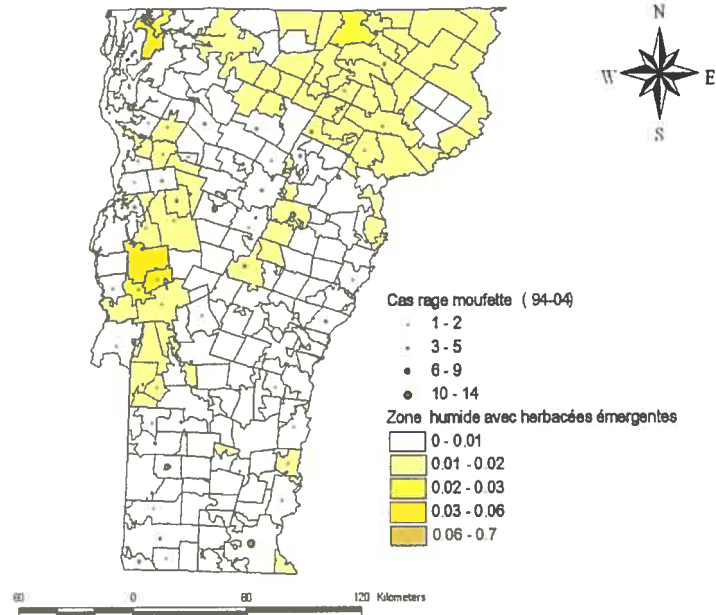


Figure 27. Dispersion des cas de rage de moufette par rapport à la couverture en forêt à feuilles caduques. Vermont 1994-2004

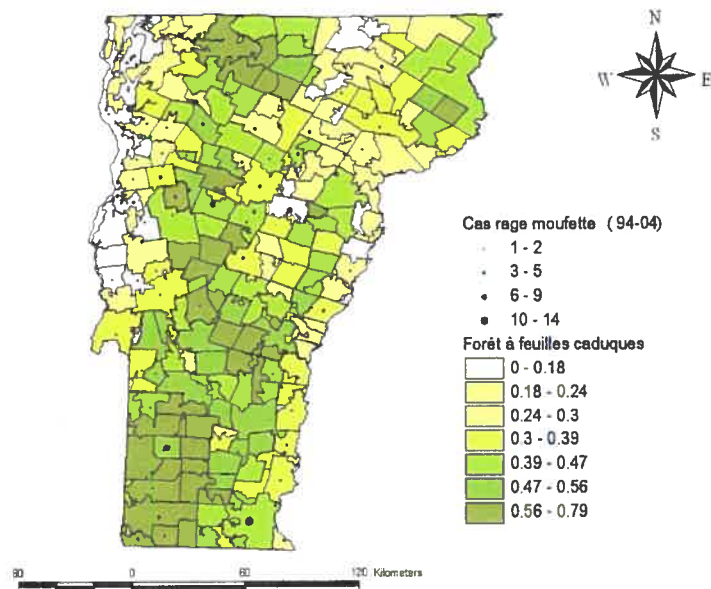
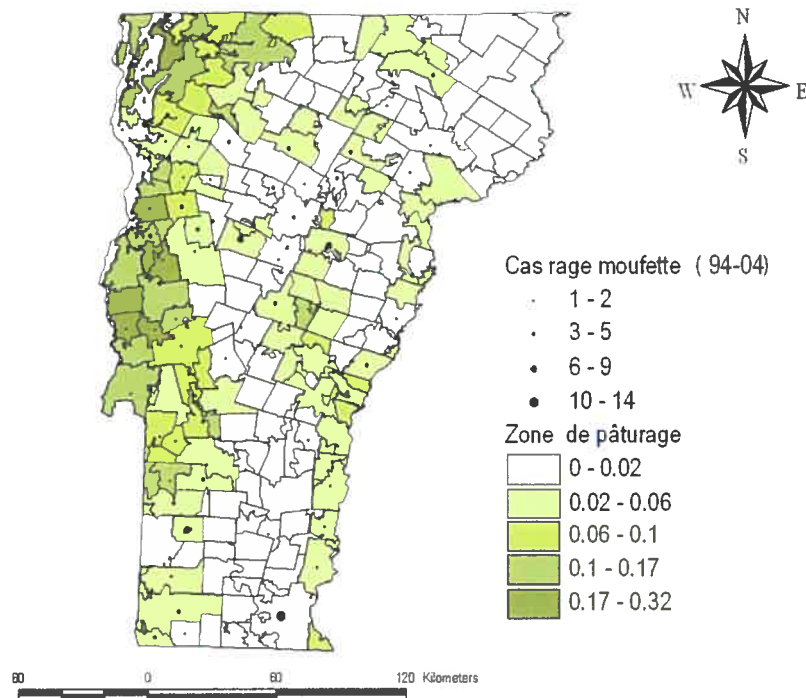


Figure 28. Dispersion des cas de rage de mouffette par rapport à la couverture en zone de pâturage. Vermont 1994-2004



4.3.3. Modèle cas totaux

Le tableau X présente le modèle avec le nombre total des cas (totaux) de rage chez le raton laveur et la mouffette cumulés sur toute la période couverte par l'étude. Les variables retenues à partir de la régression univariée ont été : *densité*, *vaccination*, *zrfi*, *zt*, *zrie*, *zcit*, *ffc*, *fm*, *zupr*, *zhhe*, *zhb*, *altitude* ainsi que les interactions *densité x zrie*, *densité x fm*,

Le nombre de cas totaux de rage augmentait significativement par un facteur de 1,003 ($e^{0,34}$) par unité de *densité* ($p < 0,0001$). Il y avait également une augmentation du nombre de cas lorsque la variable *zupr* ($p = 0,002$) augmentait. L'effet positif de la *densité* augmentait lorsque *fm* ($p = 0,0007$) et *zrie* ($p = 0,04$) prenaient des valeurs plus élevées. Les figures 29 à 34 présentent l'illustration de ces associations.

Les variables *zrie* (p=0,06), *zhhe* (p=0,001) et *l'altitude* (p=0,03) étaient négativement associées au nombre de cas cumulés de rage. Il est à noter que la variable *fm* n'a pas été trouvée significative dans le modèle multiple (p=0,48) bien qu'elle le soit en interaction avec *la densité*.

Tableau X. Facteurs associés aux cas totaux cumulés. Vermont 1994-2004

Variables	Estimé (β)	Valeur de p
densité (hbts/km ²)	0,0034	<0,0001
zone résidentielle d'intensité élevée (%)	-61,04	0,06
zone humide avec herbacées émergentes (%)	-23,79	0,001
zone urbaine avec par récréationnel (%)	21,29	0,02
forêt mixte (%)	0,87	0,48
altitude (m)	-0,0006	0,03
densité X zone résidentielle d'intensité élevée	0,018	0,04
densité X forêt mixte	0,025	0,0007

Le résultat du test χ^2 de Pearson indique que le modèle est approprié à l'exploitation des données : non significatif avec une valeur de 252 avec 274 degrés de liberté (p>0,25).

Figure 29. Dispersion des cas de rage totaux par rapport au log de la densité humaine (hbts/km²) Vermont 1994-2004

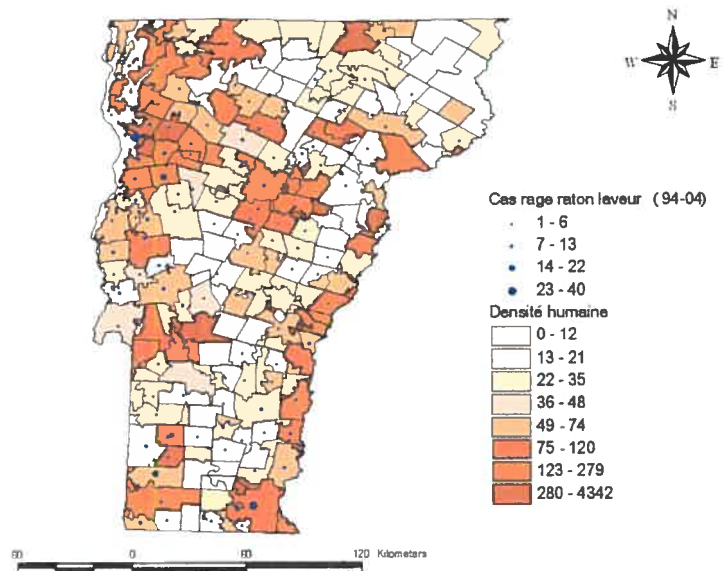


Figure 30. Dispersion des cas de rage totaux par rapport à la couverture en zone résidentielle à intensité élevée. Vermont 1994-2004

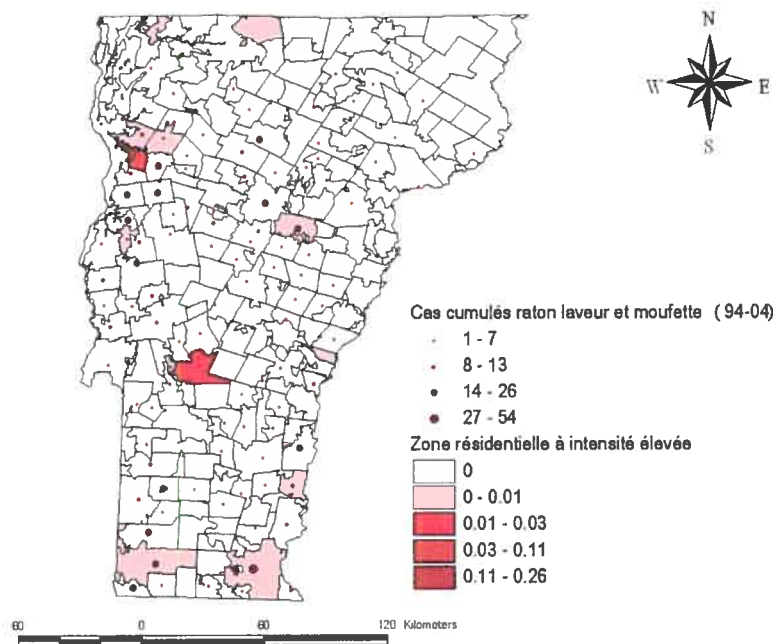


Figure 31. Dispersion des cas de rage totaux par rapport à la couverture en zone humide avec herbacées émergentes. Vermont 1994-2004

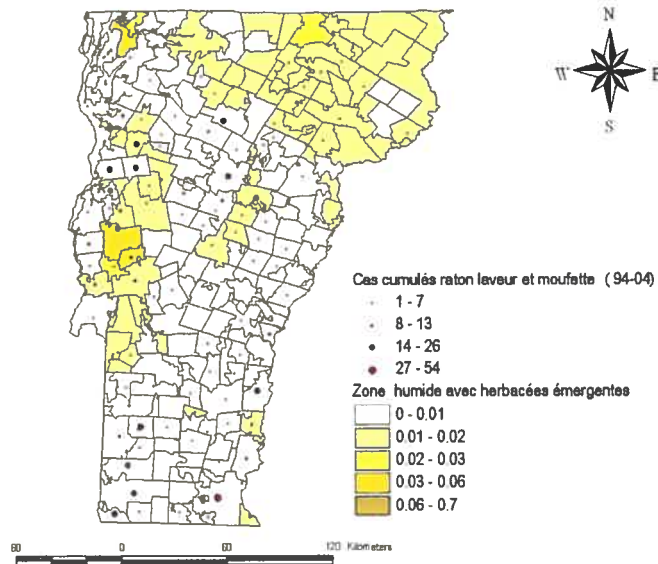


Figure 32. Dispersion des cas de rage totaux par rapport à la couverture en zone urbaine avec parc récréationnel. Vermont 1994-2004

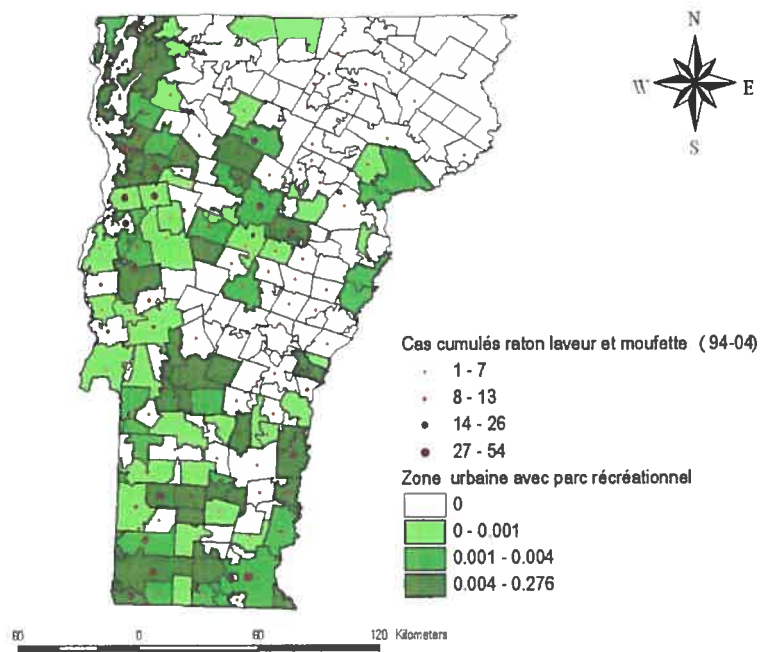


Figure 33. Dispersion des cas de rage totaux par rapport à la couverture en forêt mixte. Vermont 1994-2004

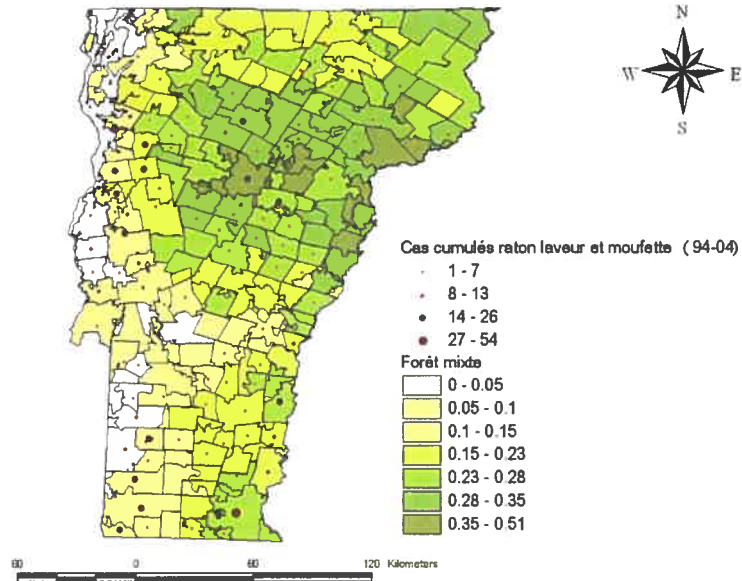
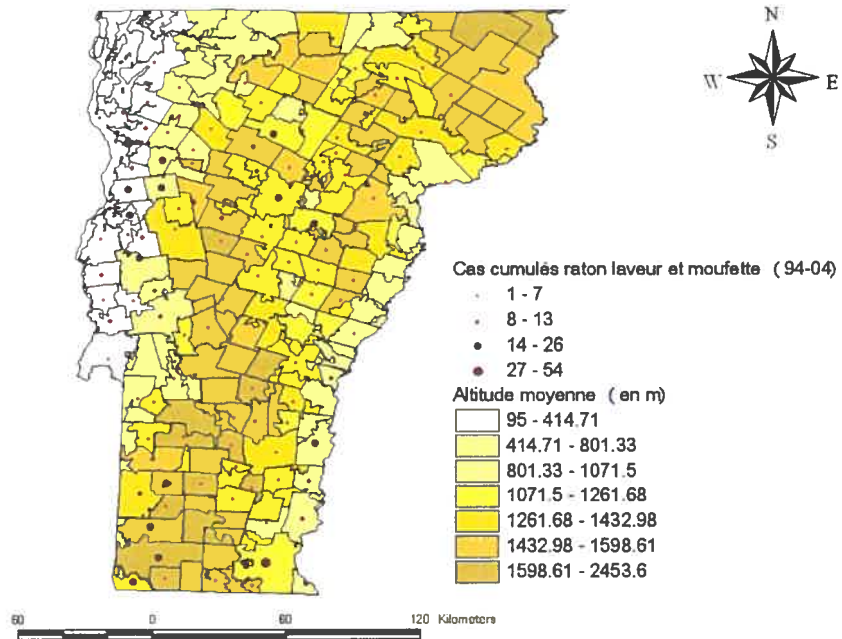


Figure 34. Dispersion des cas de rage totaux par rapport à l'altitude. Vermont 1994-2004



V. DISCUSSION GÉNÉRALE

5.1. Analyse du contexte de l'étude

Cette étude a été réalisée à partir de données issues d'un programme de surveillance épidémiologique de la rage associée à la souche rabique du raton laveur au Vermont. Les résultats présentés ainsi que les interprétations faites doivent donc être pris à titre indicatif et exploratoire. Les cas rapportés ne représentent pas un échantillon aléatoire, donc ne reflètent pas forcément la situation réelle de la rage du raton laveur et de la mouffette au Vermont. Étant donné qu'un raton laveur peut se déplacer sur de longues distances (jusqu'à 50km), le lieu où un cas est rapporté (tel qu'indiqué dans les rapports) n'est pas nécessairement le lieu où l'animal a été infecté. Ceci peut constituer une erreur de classification dans la notion de "Zips infectés" utilisée dans l'étude, avec comme impact potentiel de diminuer les chances de détecter les associations statistiques.

Par ailleurs, des campagnes de sensibilisation de la population se déroulent annuellement mais elles sont plus intenses dans les régions où la vaccination a lieu, c'est-à-dire essentiellement dans la partie nord du Vermont (Johnson, communication personnelle). Il y a également une sensibilisation de la population dans les régions où des cas sont découverts. On présume alors que la sensibilisation n'est pas uniforme sur l'étendue de l'état. Les cas rapportés dans la partie sud pourraient donc être sous représentés.

En ce qui concerne la souche rabique du raton laveur proprement dite, les responsables du laboratoire de Burlington rapportent que tous les cas de rage diagnostiqués chez les mammifères terrestres au Vermont et pour lesquels le séquençage génétique a été effectué, sont associés à cette souche (Johnson, communication personnelle). Bien que cette opération ne soit pas systématique pour tous les cas diagnostiqués, on présume qu'à partir de 1995 que c'est uniquement la souche rabique du raton laveur qui circule chez les mammifères terrestres au Vermont, comme c'est les cas dans les autres états de l'est américain.

D'un autre côté, les données relatives à la densité des ratons laveurs et des moufettes au Vermont n'étant pas disponibles, cette étude est axée sur les cas rapportés, sans avoir de dénominateur qui aurait permis d'estimer la population à risque ainsi que la prévalence de la rage associée à la souche du raton laveur au Vermont.

L'autre indice qui aurait pu servir de dénominateur est le nombre d'animaux testés annuellement. Les responsables du laboratoire de Burlington nous ont fait parvenir une base de données avec les animaux testés dont ceux positifs et seulement pour les années 2004 et 2005. L'exploration de cette base de données a montré que le pourcentage de positivité en 2004 chez les ratons laveurs a été de 18 % environ (15 cas positifs sur 85 ratons laveurs testés) contre plus de 52 % chez les moufettes (22 cas positifs sur 42 moufettes testées). En 2005, le pourcentage de positivité a atteint plus de 40% chez les ratons laveurs (36 cas positifs sur 89 ratons laveurs testés) et chez les moufettes il est à environ 41% (10 cas positifs sur 24 moufettes testées). Si cette base de données contenait le nombre d'animaux testés pour toutes les années couvertes par l'étude, cela nous aurait permis de mieux interpréter les variations observées au niveau de la répartition annuelle des cas.

En fin de compte l'indicateur utilisé dans l'étude, pour définir l'activité rabique chez le raton laveur et la moufette au Vermont, a été le nombre absolu de cas de rage rapportés et non pas le pourcentage de cas positif par rapport au nombre d'animaux soumis. D'autres études ont pris en compte le pourcentage de positivité pour mesurer l'activité rabique. Torrence et al (1992) mentionnent que les résultats (et/ou les interprétations) peuvent changer dépendamment qu'on considère le nombre absolu de cas ou le nombre de cas positifs par rapport aux animaux testés. Et selon Jenkins et Winkler (1987), plus le nombre d'échantillons soumis augmente plus la probabilité de diagnostiquer un animal rabique augmente.

5.2. Analyse de la distribution spatiale des cas

La souche raton laveur du virus rabique a été isolée pour la première fois au Vermont en 1994 (Krebs et al, 1995). Toutefois il n'a pas été fait mention si le diagnostic a été porté sur un raton laveur ou une moufette ou une autre espèce. Les premiers cas de raton laveur en 1994 ont été enregistrés au mois de juin dans une région de Bennington, comté situé au sud du Vermont; alors qu'auparavant des cas de moufettes rabiques ont été rapportés au cours des mois d'avril et de mai de la même année : un cas dans le comté d'Orléans tout au nord de l'état et quatre cas dans le comté de Caledonia situé au sud du comté d'Orléans (figure 7 et annexe 12). Il n'est pas indiqué quelles souches sont associées à ces cas ; cependant, la rage du renard sévissait encore à cette époque-là et pourrait être celle qui était incriminée.

Les cas cumulés de 1994 à 2004 indiquent que le virus rabique du raton laveur s'est largement répandu au Vermont au niveau spatial. En effet, 46% des Zips de cet état ont eu au moins un animal rabique (raton laveur ou moufette), dont 50% avec les deux espèces rapportées rabiques et aussi peu que 8% avec seulement des cas de moufettes mais contigus aux Zips infectés de ratons laveurs et /ou de moufettes. Cela pourrait suggérer que les cas de moufettes sont tributaires des cas de raton laveurs, du moins en rapport avec la distribution spatiale des cas rapportés et en tenant compte du fait que toutes les souches typées étaient des souches raton laveur.

Globalement, les cas rapportés sont en plus forte quantité dans la partie sud de l'État (au niveau des comtés de Bennington et Windham) et aussi un peu dans la partie centrale nord (comté de Washington), comme nous le montrent les figures 7 et 8, malgré des campagnes de communication sur la rage plus intenses dans la partie nordique reliées à la vaccination des ratons laveurs Cette observation concernant le plus faible nombre de cas rapportés dans le nord du Vermont peut avoir diverses interprétations possibles :

- 1) *Une densité de rats laveurs et de moufettes moins élevée dans le nord par rapport au reste de l'état* : on ne saurait corroborer cet élément de réponse vu que les données de densité manquent.
- 2) *Un habitat moins favorable aux populations de rats laveurs et de moufettes* : ce facteur pourrait éventuellement avoir des répercussions sur la densité de ces animaux. On présume que plus la densité de population des animaux est élevée plus il y a de chance que l'infection se propage par conséquent plus de chance que les animaux infectés soient remarqués.
- 3) *La densité humaine* : puisqu'il s'agit de données de surveillance, la densité humaine est sans aucun doute importante. Dans la nord du Vermont les densités de population humaine ne sont pas très élevées, à part près des centres urbains comme Burlington (dans cette région il y a effectivement beaucoup de cas rapportés). Le facteur densité de population humaine pourrait donc être considéré parmi ceux qui expliquent cette différence entre le nord et le sud de l'état en termes de cas rapportés (Johnson, communication personnelle).
- 4) *La progression de l'épidémie* : elle a pris naissance dans le sud de l'état; les cas ont commencé à se déclarer dans la partie nord véritablement vers 1997-1998 (annexes 4 et 5) et à partir de 2001 très peu de cas sont rapportés dans la partie nord (annexe 8). Ce constat pourrait en grande partie expliquer que les cas cumulés soient en plus faible nombre dans la partie nord que dans le reste du Vermont. De plus, la vaccination se concentre exclusivement dans la partie nord de l'état (généralement à la fin de l'été). On présume que ce facteur contribue aussi à ce que les cas soient moindres dans le nord (Johnson, communication personnelle).

En considérant les cas séparément pour les ratons laveurs et les moufettes (figures 7 et 8), on constate que la distribution spatiale n'est pas entièrement semblable, bien que des comtés comme Bennington, Windham et Washington ont tous de bonnes quantités de cas que ce soit pour les ratons laveurs ou pour les moufettes. D'autres comme Chittenden et Addison ont essentiellement des cas de ratons laveurs alors que Caledonia et Windsor ont eu plus de cas de moufettes rabiques par rapport aux autres comtés.

De plus, d'une façon générale, on a observé qu'il est rapporté nettement plus de cas de raton laveur que de cas de moufette. Encore une fois diverses interprétations sont possibles :

- 1) *L'épidémie est associée au raton laveur* : il semble donc normal que ce soit l'espèce la plus touchée (donc plus de cas rapportés).
- 2) *La densité des moufettes* : on ne peut pas s'aventurer à dire que la densité des moufettes est moindre que celle des ratons laveurs au Vermont.
- 3) *Moins de moufettes rapportées par le public* : même si la sensibilisation de la population concerne aussi bien les ratons laveurs que les moufettes, on présume que les gens auraient plus tendance à rapporter des ratons laveurs trouvés morts que des moufettes, quand on connaît la réputation de "bête puante" associée à la moufette.
- 4) *La circulation du virus dans les populations de moufettes* : la circulation indépendante de la souche rabique associée au raton laveur dans une population de moufettes n'est pas connue ni démontrée. La faible quantité de cas rapportés chez la moufette au Vermont, toute chose étant égale par ailleurs, pourrait être un indicateur que les moufettes ne se transmettent pas entre elles cette variante virale.

5.3. Analyse de la distribution temporelle des cas

L'interprétation de la répartition annuelle des cas de rage rapportés au Vermont entre 1994 et 2004 paraît peu évidente, en rapport à l'évolution en dents de scie notamment des cas de ratons laveurs (figure 10). La disponibilité des données concernant le nombre d'animaux testés uniquement pour les années 2004 et 2005 ne suffit pas pour nous permettre de déterminer si les variations observées au niveau du nombre de cas rapportés annuellement résultent de variations au niveau du nombre de cas soumis, conséquence d'éventuels changements dans la surveillance. Toutefois, la compilation des données pour 2004 et 2005 peut nous laisser soupçonner une distribution semblable pour les années antérieures. Le faible nombre de cas de mouffette rapportés annuellement constitue également une limite aux interprétations. Dans ce contexte-là, on ne peut décrire le cycle épidémiologique de la rage associée au raton laveur au Vermont. Les notions de pics de cas ou périodes d'activité de l'épidémie semblent mieux convenir.

Néanmoins, à bien observer la courbe de répartition annuelle des cas (notamment en ce qui concerne les ratons laveurs) et par le fait même qu'on travaille avec des données de surveillance, on peut considérer être en présence de deux vagues de cas réparties comme suit : la première de 1994 à 1998 et la deuxième entre 2001 et 2004; les plus fortes activités observées de 1995 à 1997 pour la première période et de 2002 à 2003 pour la deuxième période. Ces observations se rapprochent des résultats d'autres auteurs qui ont relaté des cycles épidémiologiques de trois à cinq ans (Fischman, 1992; Trimarchi, 1993) et des périodes inter-épidémiques allant aussi de trois à cinq ans (Jenkins et al, 1988 ; Fischman, 1992 ; Trimarchi, 1993) en ce qui à trait à la souche rabique du raton laveur dans d'autres états dans l'est américain.

On constate que le nombre de cas rapporté est plus élevée pendant la première vague (1994-1998) que pendant la deuxième (2001-2004). Cette observation est également relatée dans d'autres études sur d'autres états de l'est des États-Unis (Jenkins et al, 1988 ; Fischman, 1992 ; Trimarchi, 1993). Cela pourrait être dû à la réduction de la population de rats laveurs suite à la première vague (donc diminution des susceptibles) par conséquent une diminution de la probabilité de contact entre les animaux découlant de cette réduction. L'effet de la vaccination (réduction du nombre de cas) et une surveillance moins performante pourraient aussi expliquer cette situation. En ce qui a trait aux cas de mouffettes, on observe la présence de deux pics (1995, 1999) entre lesquels le nombre de cas varie très peu. Puisqu'on présume que les cas de mouffette sont tributaires des cas de rats, on ne peut pas s'attendre à un cycle épidémiologique proprement dit; on pourrait s'attendre à des vagues qui suivent celles du raton. Dans ce cas-ci, la période entre ces pics de cas varie de trois à quatre ans.

Si on essaye maintenant de comparer les courbes de répartition annuelle des cas de rats laveurs et des mouffettes, là encore le faible nombre de cas de mouffette rapportés vient compliquer l'exercice. Toutefois, on peut quand même remarquer que la répartition des cas mouffettes ne suit pas rigoureusement celle des cas de raton laveur. De toute façon, cette comparaison ne fournit pas d'indice fiable pour évaluer l'évolution de la rage du raton laveur chez la mouffette.

Sur le plan saisonnier, l'analyse de la courbe de la répartition mensuelle des cas de rage du raton laveur (figure 11) révèle l'existence de deux pics d'activité : au printemps et en automne, le pic d'automne étant moins prononcé. Par ailleurs, les mois de juillet, novembre et décembre sont les mois avec le plus faible nombre de cas rapportés. La forte activité observée au printemps peut être corrélée avec la saison de reproduction du raton laveur (MacClintock, 1981), ce qui augmente le contact entre les animaux, les risques d'agression et la probabilité de contact efficace (Bigler et al, 1973). Le deuxième pic fait plutôt référence à la dispersion des jeunes parmi les populations adultes (Torrence et al, 1992).

Nos observations concordent avec les résultats de plusieurs autres études qui ont révélé une distribution bimodale de la rage du raton laveur aux États-Unis en ce qui a trait aux variations saisonnières (Bigler et al, 1973; Torrence et al, 1992, Jenkins et Winkler, 1987; Wilson et al, 1997). Elle est caractérisée par deux pics d'activité rabique, respectivement fin hiver (février - mars) et début automne (août - septembre), le niveau le plus bas étant enregistré en été (juillet). Cette distribution semble donc refléter un phénomène biologique comportemental normal associé au raton laveur (Jenkins et Winkler, 1987).

Chez la mouffette, la variation saisonnière présente également une distribution bimodale (figure 11) : un pic en mars et un autre entre août et octobre, juin et juillet étant les mois avec le plus faible nombre de cas enregistrés. Toutefois, ces résultats doivent être pris avec réserve vu le nombre relativement faible de cas de mouffette rapportés.

Plusieurs études réalisées sur la rage de la mouffette aux États-Unis et au Canada (Gunson et al, 1978; Hayles et Dryden, 1970; Rakowski et Andrews, 1978; Sanderson et al, 1967; Tabel et al, 1974; Webster et al, 1974; Schnurrenberger et al, 1970; Gremillion-Smith et Woolf, 1988) ont rapporté un pic d'activité rabique au printemps, en l'occurrence mars, avril et mai. L'explication qui en sort est encore liée à l'interaction entre les animaux. En fait, les animaux devenus rabiques pendant le printemps ont probablement été infectés pendant l'hiver alors qu'ils vivaient en communauté dans leurs tanières. Au Canada, un deuxième pic d'activité est observé à la fin de l'année et serait dû à une augmentation des risques de contact suite à la dispersion des jeunes mouffettes (Hayles et Dryden, 1970; Tabel et al, 1974; Webster et al, 1974).

Les études mentionnées précédemment sur la rage de la mouffette aux États-Unis et au Canada font plutôt référence à la souche de la mouffette ou celle du renard. L'épidémiologie de la rage de la mouffette associée à la souche raton laveur n'est pas trop documentée. Guerra et al (2003) relatent que dans les états à l'est et au nord-est des États-Unis où la rage du raton laveur est endémique, les pics d'activités de rage chez la mouffette se produisent un mois après ceux du raton laveur. Cette observation n'a pas pu être faite dans notre étude (figure 11).

En termes de variations saisonnières, on a donc constaté dans cette étude très peu de différence en ce qui a trait à l'évolution de la rage du raton laveur et de la mouffette.

5.4. Analyse des clusters

Les données sur la densité des ratons laveurs et des mouffettes au Vermont n'étant pas disponibles (donc pas de dénominateur), on a utilisé les variables "*Zip-cas*" et "*Zip-contrôle*" pour définir les "*cas*" et les "*contrôles*". Les clusters trouvés dans notre étude font référence à un regroupement des Zips infectés plutôt qu'à des grappes de cas proprement dits. Les limites liées aux Zips relatées dans les paragraphes antérieurs s'appliquent aussi à l'analyse des clusters.

En ce qui a trait à la méthode utilisée pour la détection des clusters au niveau spatial, elle a été choisie pour diverses raisons :

- 1) La plupart des autres méthodes sont disponibles pour la détection de cluster spatial nécessite la population à risque (dénominateur); cet élément manque à notre étude.
- 2) L'exploration faite avec une autre méthode qui ne nécessite pas la population à risque (*Ripley's k*) avait donné des résultats non fiables : en effet, il y avait de multiples clusters de centroïdes de Zip, ce qui est peu surprenant étant donné que la taille des Zips est proportionnelle à la population.

3) Cette méthode avait aussi été utilisée par d'autres chercheurs, notamment au Royaume-Uni (Cuzick & Edward, 1990), en Nouvelle Zélande (Dockerty et al, 1999) et aux États-Unis (Doherr et al 1999).

Dans notre étude, l'analyse des clusters a révélé que les Zips-cas n'étaient pas distribués de façon aléatoire au niveau spatial mais avaient plutôt tendance à se regrouper. Chez le raton laveur, le schéma est différent d'une période à l'autre : pendant la première période les clusters étaient significatifs en considérant deux voisins alors qu'ils l'étaient dès le premier voisin pendant la deuxième période. Localisés dans le sud et dans l'est de la partie centrale pendant la première période (figure 14) les cas sont plus dispersés pendant la deuxième période (figure 15). Cette observation va dans le même sens que d'autres résultats mentionnés antérieurement, notamment en ce qui a trait à la distribution spatio-temporelle des cas : l'épidémie débute dans le sud du Vermont et progresse en direction nord ; la première vague se concentrant dans le sud et l'est, la deuxième étant plus dispersée dans l'état.

Le schéma pour les cas de rage chez les mouffettes ressemble à celui des cas de raton laveur dans la deuxième période, mais avec des clusters significatifs à partir de deux voisins, ce qui a du sens selon notre supposition que le virus rabique ne se transmet pas d'une mouffette à une autre.

Néanmoins il faut rappeler que l'analyse des clusters pour les cas de mouffette a été effectuée avec les cas cumulés sur toute la période couverte par l'étude c'est-à-dire de 1994 à 2004, car il n'y avait pas de différence statistiquement significative dans le nombre de cas entre les deux périodes.

Au niveau temporel, notre étude a aussi révélé la présence de clusters. En ce qui concerne les cas de rage de ratons laveurs les clusters temporels étaient significatifs quelque soit la taille de la fenêtre considérée (deux à six mois). Par contre, en ce qui a trait aux cas de mouffettes, les clusters temporels étaient significatifs avec des fenêtres respectivement de trois et quatre mois. La différence observée entre les deux espèces pourrait être dû à un manque de puissance relié au faible nombre de cas rapportés chez les mouffettes.

La méthode Scan Statistic utilisée dans notre étude a été utilisée par Wallenstein (1987) pour tester la présence de clusters temporels des cas d'avortements spontanés dus à la trisomie survenus dans la ville de New York au cours des années 70. Paré et al (1996) l'a reprise pour détecter la présence de cluster temporel chez des chevaux infectés par *Salmonella krefeld* pendant leur hospitalisation. Singer et al (1998) a également utilisé cette méthode pour investiguer les clusters temporels dans leur étude sur les souches de *Pasteurella* résistantes aux antimicrobiens isolées chez des vaches en Californie.

Pour comparer nos résultats en ce qui a trait à la présence de clusters (dans l'espace et dans le temps) des cas de rage chez le raton laveur et la mouffette, nous n'avons pas trouvé d'étude ayant abordé la problématique des clusters en rapport avec cette maladie. Il serait également intéressant de prendre en considération le temps et l'espace simultanément afin de vérifier la présence de clusters lors d'analyses subséquentes.

5.5. Analyse des associations entre les cas et les facteurs écologiques et démographiques

L'exploration des associations entre les cas de rage rapportés chez le raton laveur et la mouffette au Vermont et les facteurs écologiques et démographiques nous a révélé que la densité humaine (effet positif) représente le principal facteur commun à tous les modèles. L'effet positif de la densité humaine peut s'expliquer par le fait qu'on se trouve dans un contexte de données de surveillance. Plus il y a de gens plus il y a de chance que des animaux trouvés morts ou malades soient vus et aussi plus de chance que des animaux suspects soient amenés au laboratoire pour analyse donc plus de chance de diagnostiquer les cas. L'autre aspect qui pourrait expliquer cet effet positif de la densité humaine, notamment dans le cas des ratons laveurs, serait le fait même que la présence des humains implique la production et l'entreposage de déchets dans les poubelles, ce qui favorise la prolifération des ratons laveurs dans les régions habitées.

Faut-il rappeler que les données de densité humaine utilisées dans cette étude proviennent d'un recensement réalisé au Vermont en 1997 : ce qui donne une photographie de la population du Vermont pendant une période fixe (l'année 1997). Malgré cette erreur de mesure possible due au fait que les éventuelles variations de la population ne sont pas prises en compte dans notre étude, on présume que cela n'aurait rien changé dans l'importance de la densité humaine comme principal facteur associé aux cas de rage. D'ailleurs, d'autres études épidémiologiques sur la rage associée à la souche virale du raton laveur aux États-Unis rapportent aussi l'effet de la densité humaine (Smith et al, 2002 ; Jones et al, 2003 ; Guerra et al, 2003).

L'autre variable significative commune à tous les modèles est le pourcentage de couverture en zone humide avec herbacées émergentes (effet négatif). L'interprétation de cet effet négatif de la couverture en zone humide avec herbacées émergentes n'est pas évidente, d'autant plus que dans l'étude de Jones et al (2003) cette variable était associée aux fortes épidémies. Toutefois, l'explication pourrait venir du fait qu'au Vermont une bonne partie de la couverture en zone humide est plus importante dans le nord, tout en étant ajustée pour la densité humaine (figure 21, 26 et 31). Dans ces régions la distribution des

cas de rage est peu fréquente que ce soit chez le raton laveur que chez la moufette et il y a utilisation de la vaccination par voie aérienne afin de protéger les ratons.

Spécifiquement aux modèles raton laveur (T1, T2 et cas totaux), en plus de la densité humaine et du pourcentage de couverture en zone humide avec herbacées émergentes, il y a deux autres variables significatives (effet négatif) communes aux trois modèles : l'altitude et la couverture en eau. L'effet négatif de l'altitude pourrait s'expliquer par le fait que la densité des ratons laveurs diminue quand l'altitude augmente. L'effet négatif de la couverture en eau contraste avec les résultats de Jones et al (2003) qui relatent que cette variable avait un effet positif sur la magnitude des épidémies de rage du raton laveur au Maryland, en Pennsylvanie et en Virginie. Dans notre étude, cet effet négatif de la couverture en eau pourrait être dû au fait que les plus forts pourcentages de couverture en eau se situent dans le nord du Vermont, plus particulièrement au nord-ouest (figure 19). De plus, la plus forte couverture en eau du Vermont concerne le Lac Champlain, ce qui ne représente pas l'habitat privilégié des ratons laveurs. En fait, la couverture en eau dont fait mention l'étude de Jones et al (2003) réfère plutôt aux ruisseaux et autres mares qui favorisent l'habitat des ratons laveurs.

Les autres constatations mises à jour en comparant les modèles ratons laveurs révèlent les points suivants :

- 1) La variable pourcentage de couverture en forêt mixte est significative dans les modèles raton laveur T1 et raton laveur cas totaux. L'effet négatif de la couverture en forêt mixte sur les cas de rage de raton laveur va dans le même sens que les résultats de Jones et al (2003) qui ont mentionné que la couverture en forêt (mixte et à feuilles caduques) était associé aux faibles épidémies. L'interprétation qui en découle pourrait faire référence aux faibles densités de ratons laveurs en forêt.

2) Dans le modèle raton laveur T1 c'est la couverture en zone résidentielle d'intensité élevée (c'est-à-dire dans les zones avec majoritairement des complexes d'appartements) qui s'est révélée significative alors que dans les modèles raton laveur T2 et raton laveur cas totaux c'est la couverture en zone résidentielle de faible intensité, c'est-à-dire les zones avec majoritairement des logements unifamiliaux. Dans ces deux modèles, ces variables étaient négatives, i.e que plus la proportion d'un Zip avec une de ces variables augmentait, moins il y avait de cas de rage. Cette différence pourrait être liée à la distribution spatiale des cas dans chacune des deux périodes : plus répandus dans la partie sud de l'état pendant T1 les cas sont plus dispersés pendant T2. Les plus forts pourcentages de couverture en zone résidentielle de faible intensité étant dans la partie nord (figure 20), la variable résidence faible intensité est par conséquent confondue avec le milieu; quant à la couverture en zone résidentielle d'intensité élevée étant donné qu'elle est relativement limitée à travers l'état du Vermont (figure 25), cette relation est plus difficile à expliquer.

3) La variable pourcentage en zone urbaine avec parcs récréationnels est significative dans les modèles raton laveur T2 et raton laveur cas totaux. L'association positive entre le nombre de cas de rage de raton laveur (figure 18, 32) et les zones urbaines avec parcs récréationnels peut s'expliquer par le fait que dans les parcs la présence des poubelles attire beaucoup les rats laveurs. D'ailleurs, Riley et al (1998) relate que les densités de populations de rats laveurs sont en général très élevées dans les parcs urbains et les sites suburbains. De plus les parcs sont des endroits très fréquentés par les humains, notamment les officiers et responsables des parcs ont donc plus de chances de rapporter les cas. Le fait que cette variable ne soit pas statistiquement significative pour le modèle T1, pourrait s'expliquer par le fait que ces parcs sont distribués à travers tout l'état, et que la période T1 contient des cas plus au sud.

4) Deux interactions ont été trouvées significatives : densité humaine X altitude (effet positif) dans le modèle raton laveur T2 ; densité humaine X couverture en zone résidentielle de faible intensité (effet négatif) dans le modèle cas totaux raton laveur (pour les deux périodes). Ces interactions significatives montrent une fois de plus l'importance de la densité humaine. L'effet positif de la première interaction pourrait être interprété comme suit : comme l'altitude moyenne augmente, et la densité humaine augmente, le nombre de cas est plus élevé. La variable densité humaine est de loin la prépondérante et il est possible que la variable altitude ne soit qu'associée à la densité humaine, à savoir que les grandes densités humaines sont dans les lieux plus élevés du Vermont et l'activité humaine y est plus prononcée; elle entraîne souvent une abondance de déchets attirant les ratons laveurs.

En ce qui concerne le modèle moufette, le premier fait à souligner réfère à l'association positive du nombre de cas de raton laveur. Cette observation constitue un élément intéressant qui pourrait appuyer l'idée que la rage de la moufette au Vermont soit tributaire de celle du raton laveur. Cette association positive entre le nombre de cas de ratons laveurs rabiques et le nombre de moufettes rabiques va dans le même sens que les résultats obtenus par Guerra et al (2003) dans leur étude sur l'analyse spatiale et temporelle de la rage du raton laveur et de la moufette dans les états de l'est des États-Unis.

Dans le modèle moufette, en plus des variables densité humaine, pourcentage en zone résidentielle d'intensité élevée et pourcentage de couverture en zone humide avec herbacées émergentes retrouvées dans les modèles raton laveur, il y a deux autres variables non significatives dans les autres modèles (mais qui le sont dans le modèle moufette) : couverture en forêt à feuilles caduques et couverture en zone de pâturage. Dans les deux cas nous pensons aux faibles densités de moufettes dans les forêts à feuilles caduques et les zones de pâturage. La même réflexion faite précédemment par rapport aux faibles densités de ratons laveurs s'appliquent aussi dans le cas des moufettes : moins de moufettes, moins de contacts effectifs (avec des ratons laveurs), moins de chance de propagation du virus rabique et donc moins de chance d'avoir des cas.

Il n'est pas documenté si la souche raton laveur du virus rabique se transmet d'une moufette à une autre, c'est la raison pour laquelle on a parlé de contact effectif avec des rats laveurs. Puisqu'on présume que les cas moufettes sont tributaires des cas rats, on aurait pu s'attendre à n'avoir que des variables environnementales communes.

En ce qui a trait au modèle cas totaux, les variables significatives dans ce modèle l'ont aussi été dans au moins un des modèles rats laveurs, hormis les interactions densité humaine X couverture en zone résidentielle d'intensité élevée et densité humaine X couverture en forêt mixte. Encore une fois l'importance de la densité humaine est mise en évidence par ces interactions. Le contexte de surveillance épidémiologique de cette étude est la meilleure explication de cette évidence.

Enfin il est à noter que la variable couverture en eau significative dans les modèles raton laveur ne l'est pas dans le modèle cas totaux. Néanmoins, d'une façon générale le modèle cas totaux présente une bonne similitude avec le modèle raton laveur ; ce qui paraît quand même évident lorsqu'on sait que la grande majorité des cas de rage ont été rapportés chez les rats laveurs.

Le dernier point de notre discussion est consacré à la vaccination. Aucune association significative n'a été trouvée entre le nombre de cas et la vaccination alors qu'on pouvait s'attendre à ce que le nombre de cas diminue avec la vaccination. On aurait pu s'attendre à trouver une relation dans la période T2, une fois qu'on a commencé la vaccination, et qu'on l'applique à un rythme annuel. Cependant, la vague de T1 situé plus au sud, avait déjà diminué dans la période T2, et les cas étaient déjà moins concentrés dans le sud uniquement. De plus le procédé que nous avons utilisé pour déterminer si un Zip doit être considéré comme vacciné ou non pourrait aussi constituer une erreur de mesure car l'assignation des Zips dits "vaccinés" a été faite de façon approximative.

Par contre, le fait que cette variable ne soit pas significative dans le modèle moufette était prévisible car la vaccination par largage d'appâts vaccinaux n'a pas d'effet sur la moufette.

Il est difficile avec ce type de données et d'analyse de trouver une association statistiquement significative pour la variable vaccination. Une autre approche d'analyse serait probablement nécessaire afin de démontrer l'impact de cette dernière, soit la modélisation mathématique.

VI. CONCLUSION

Entre 1994 et 2004 un total de 1069 cas de rage ont été rapportés au Vermont dont 58% de ratons laveurs et 18% de moufettes soit trois fois plus de cas de ratons laveurs que de moufettes.

Sur le plan de la description spatiale, certaines différences sont observées au niveau de la distribution des cas rapportés. Ils se concentrent plus dans les régions au sud que dans le nord. Le nord de la partie centrale a aussi une bonne concentration de cas rapporté. La progression normale de l'épidémie (du sud vers le nord, comme dans les autres états de l'est américain), la vaccination exclusivement réalisée dans le nord, la proximité des centres urbains ont été relevées comme de potentiels éléments d'explication à cette situation.

En terme de distribution des cas à l'intérieur des Zips, nous avons vu qu'ils sont rapportés chez les deux espèces dans la moitié des Zips dits infectés. Le faible pourcentage de Zips avec uniquement des cas rapportés chez la moufette combiné avec le fait que ces Zips soient tous contigus à au moins un Zip avec des cas de ratons laveurs suggère que la rage de la moufette au Vermont semble être tributaire de celle du raton laveur. Cette supposition sera d'ailleurs supportée par le fait que le nombre de cas de raton laveur soit positivement associé au nombre de cas de moufette.

Sur le plan de la distribution temporelle de cas, peu de différence a été observée chez les deux espèces, surtout en termes de variations saisonnières. Le pic d'activité rabique enregistré au début du printemps chez les deux espèces va dans le même sens que dans d'autres études antérieures. Il en est de même du plus faible niveau d'activité rabique au cours de l'été.

La répartition annuelle des cas, même si elle a été très difficile à interpréter, laisse entrevoir deux vagues de cas. A défaut de parler de cycles épidémiologiques, ces vagues de cas semblent suivre la même tendance que dans les autres états américains où sévit la rage du raton laveur c'est-à-dire une période de trois à cinq ans entre les vagues qui elles-mêmes durent aussi trois à cinq ans.

La disponibilité des données sur la quantité d'animaux testés seulement pour les années 2004 et 2005 ne permet pas de savoir si les variations observées dans le nombre de cas rapportés sont dues à des variations du nombre de cas soumis ou s'il s'agit de l'évolution naturelle de l'épidémie de rage du raton laveur au Vermont.

Un autre élément que cette étude a permis de mettre en évidence concerne les clusters. Les analyses effectuées dans cette optique ont montré que les cas de rage rapportés chez le raton laveur et la moufette au Vermont entre 1994 et 2004 ne sont pas distribués de façon aléatoire mais se regroupent tant au niveau spatial que temporel, une observation somme toute logique puisqu'on travaille sur une maladie transmissible.

En ce qui a trait à l'exploration des facteurs potentiellement associés au nombre de cas, la densité humaine s'est révélée la plus importante de tous. Le contexte de l'étude, c'est-à-dire le fait qu'elle est basée sur des données de surveillance épidémiologique explique bien cette situation. A ce niveau-là nos résultats concordent avec ceux rapportés dans d'autres études sur l'épidémiologie de la rage du raton laveur aux États-Unis. La couverture en zone humide avec herbacées émergentes s'est aussi distinguée et constitue avec la densité humaine les variables significatives dans tous les modèles. En comparant plus en profondeur les différents modèles, nous avons vu que le modèle cas cumulés contient en grande partie les mêmes variables que les modèles ratons, ce qui paraît normal en considérant qu'une très grande majorité des cas ont été rapportés chez les ratons laveurs.

De plus, les ratons laveurs et les moufettes ne sont influencés totalement par les mêmes facteurs. Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'effet positif du nombre de cas de ratons laveurs sur le nombre de cas de moufette apporte un élément supplémentaire dans la supposition que la rage de la moufette au Vermont semble tributaire de celle du raton laveur. Cet effet positif du nombre de cas de ratons laveurs rabiques sur le nombre de cas de moufettes rabiques a déjà été rapporté par d'autres auteurs.

Notre étude est avant tout exploratoire donc plus accentuée sur les aspects descriptifs de la distribution des cas de rages rapportés chez le raton laveur et la moufette au Vermont entre 1994 et 2004. Néanmoins, les éléments mis à jour dans cette étude peuvent amener à réaliser d'autres études plus approfondies qui s'intéresseraient d'avantage à la circulation du virus rabique associée au raton laveur dans les populations de moufettes.

Au terme de notre travail, si nous avons à formuler des recommandations aux autorités de santé publique du Vermont, la première serait d'analyser dans son ensemble toutes les données sur les animaux testés (1994-2004), ce qui serait d'une grande utilité pour une éventuelle bonification de cette étude. D'autres points pourraient être également suggérés comme :

- 1) l'élaboration d'un protocole prospectif qui permettrait d'étudier en profondeur l'évolution de la rage associée à la souche du raton laveur chez les moufettes ;
- 2) la réalisation, dans la mesure du possible, d'une étude sur la dynamique des populations de ratons laveurs et de moufettes ;
- 3) l'amélioration du système de surveillance épidémiologique notamment en vue d'étendre dans tout l'état la participation de la population dans la chaîne de collecte des animaux morts ou suspects.

Enfin, il serait intéressant que cette étude s'étende sur les autres états américains limitrophes au Québec, en l'occurrence New York, Maine et New Hampshire.

BIBLIOGRAPHIE

1. Acha, P. N. & Szyfres, B. 1989. Zoonoses et maladies transmissibles communes à l'homme et aux animaux. 2^{ème} Éd. OIE. pp543-561.
2. Anderson, L. J., Nicholson, K. G., Tauxe, R. V. & Winkler, W. G. 1984 Human rabies in the United States, 1960 to 1979: epidemiology, diagnosis and prevention. *Annals of International Medicine*. 100(5):728-35.
3. Anthony, J. A., Childs, J. E., Glass, G. E., Korch, G. W., Ross, L. & Grigor, J. K. 1990. Land use associations and changes in population indices of urban raccoon during a rabies epizootic. *Journal of Wildlife Diseases*. 26:170-179.
4. Bachmann, P. 2004. Rabies in the fourth quarter and review of rabies in 2004. *The Rabies Reporter*. 15(4):1.
5. Beaudin, L. & Quintin, M. 1983. Guide des Mammifères du Québec, de l'Ontario et des Maritimes. Éd. du Nomade. 301 p.
6. Beck, A. B., Felser, S. R. & Glickman, L. T. 1987. An epizootic of rabies in Maryland, 1982-1984. *American Journal of Public Health*. 77:42-44.
7. Bigler, W. J. McLean, R. G. & Trevino, H. A. 1973. Epizootic aspects of raccoon rabies in Florida. *American Journal of Epidemiology*. 98:326-355.
8. Bigler, L. & Lein, D. H. 1997. Oral Rabies Vaccination of Raccoons in the St. Lawrence, Niagara, and Erie Regions of New York State and the Champlain Region of Vermont. 8th Annual Rabies in the Americas Conference Program and Abstracts, November 2-6, 1997, Kingston, Ontario, Canada.

9. Bjorge, R. R., Gunson, J. R. & Samuel, W. M. 1984. Population characteristics and movements of striped skunks (*Mephitis mephitis*) in central Alberta. Canadian Field-Naturalist. 95:149-155.
10. Blancou, J. 2000. Histoire de la surveillance et du controle des maladies transmissibles. OIE. Paris. 365 p.
11. Bretsky, P. M. & Wilson, M. L. 2001. Risk factors for human exposure to raccoon rabies during an epizootic in Connecticut. Vector Borne Zoonotic Diseases. 1(3):211-217.
12. Burt, W. H. & Grossenheider, R. P. 1976. A field guide to the mammals. Field marks of all North American species found north of Mexico. 3rd Ed. Houghton Mifflin Company. Boston. 289 p.
13. Burton, E. C., Burns, D. K., Opatowsky, M. J., El-Feky, W. H., Fischbach, B., Melton L., Sanchez, E., Randall, H. Watkins, D. L. Chang, J et Klintmalm, G. 2005. Rabies encephalomyelitis. Clinical, neurological and pathological findings in 4 transplant recipients. Archives of Neurology. 62:873-882.
14. Brochier B., Costy F., Pastoret P.-P. 1995. Elimination of fox rabies from Belgium using a recombinant vaccinia-rabies : an update. Veterinary Microbiology. 46:269-279.
15. Cahalane, V. H. 1958. Mammals of North America. Ed. The Macmillan Company. New York. 682 p.
16. Cameron, A. W. 1956. A guide to Eastern Canadian Mammals. National Museum of Canada. Department of Northern Affairs and National Resources. Ottawa. 72 p

17. Cameron, A. W. 1972. Les mammifères du Canada. 2^{ème} Éd. Musée National du Canada. Secrétariat de l'État. Ottawa. 89 p.
18. Carey, A. B., Giles, R. H. & McLean, R. G. 1978. The landscape epidemiology of rabies in Virginia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 27: 573-580.
19. CDC. 1996. Rabies postexposure prophylaxie – Connecticut, 1990-1994. *MMWR*. 45:232-234
20. CDC. 1997. Update : raccoon rabies epizootic – United States, 1996. *MMWR*. 45(51&52): 1117-1120.
21. CDC 2000. Update : raccoon rabies epizootic – United States and Canada, 1999. *MMWR*. 49(02): 31-35.
22. Chang, H-G. H., Eidson M., Noonan-Tolu, C., Trimarchi, Ch. V., Rudd, R., Wallace, B. J., Smith P. F. & Morse D. 2002. Public Health impact of re-emergence of Rabies, New York. *Emerging Infectious Diseases*. 8(9):909-913.
23. Charlton, K. M., Webster, W. A. & Casey, G. A. 1991. Skunk rabies. *In* The natural history of rabies. 2nd Ed. George M. Baer. CRC Press. pp 307-324.
24. Childs, J. E., Curns, A. T., Dey, M. E., Real, L. A., Feinstein, L., Bjørnstad, O. N. & Krebs, J. W. 2000. Predicting the local dynamics of epizootic rabies among raccoon in the United States. *Proceedings of the National Academy Sciences of the USA*. 97 (25):13666-13671.

25. Childs, J. E., Curns, A. T., Dey, M. E., Real, L. A., Rupprecht, C. E. & Krebs, J. W. 2001. Rabies epizootics among raccoons vary along a North-South gradient in the eastern United States. *Vector Borne Zoonotic Diseases*.1:253-267.
26. Coyne, M. J., Smith, G. & McAllister, F. E. 1989. Mathematic model for the population biology of rabies in raccoons in the Mid-Atlantic States. *American Journal of Veterinary Research*. 50(12):2148-54.
27. Cuzick, J. & Edwards, R. 1990. Spatial clustering for inhomogeneous populations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*. 52(1):73-104.
28. Debbie, J. G. & Bogel, K. 1988. Public health aspects of current oral rabies vaccines. *Reviews of Infectious Diseases. Volume 10 Supplement 4*:670-671.
29. Dionne, C. E. 1902. *Les mammifères de la Province du Québec*. Ed. Dussault & Proux. Québec. 285 p.
30. Dockerty, J. D., Sharples, K. J. & Borman, B. An assessment of spatial clustering of leukaemias and lymphomas among young people in New Zealand. *Journal of Epidemiology and Community Health*. 53:154-158.
31. Dobson, A. 2000. Raccoon rabies in space and time. *Proceedings of National Academy Sciences*. 97(26):14041-14043.
32. Doherr, M. G., Carpenter, T. E., Wilson, W. D. & Gardner, I. A. 1999. Evaluation of temporal and spatial clustering of horses with *Corynebacterium pseudotuberculosis* infection. *American Journal of Veterinary Research*.60:284-291.

33. Duchesnay, St-D. J. & Dumais, R. 1976. Les mammifères de mon pays. Les Editions de l'Homme. Montréal. 109 p.
34. Engeman, R. M., Christensen, K. L., Pipas, M. J. & Bergman D. L. 2003. Population monitoring in support of a rabies vaccination program for skunks in Arizona. *Journal of Wildlife Diseases*. 39(3):746-50.
35. ENVF. 1984. La rage et la brucellose *par* les enseignants des Chaires de maladies contagieuses des Écoles nationales vétérinaires françaises. Collection Fondation Marcel Mérieux. 243 p.
36. Feldhamer, G. A., Thompson, B. C. & Chapman, J. A. 2003. Wild Mammals of North America. Biology, Management and Conservation. 2nd Ed. Johns Hopkins University Press. 1216 p.
37. Fischman, H. R., Grigor, J. K., Horman, J. T., & Israel, E. 1992. Epizootic of rabies in raccoons in Maryland from 1981 to 1987. *JAVMA* 201(12):1883-1886.
38. Fishbein, D. B. 1991. Rabies. *Infectious Diseases Clinic of North America*. 5(1): 53-71.
39. Forsyth A. 1999. Mammals of North America Temperate and Arctic Regions. Ed Firefly Books. Canada. 350 p.
40. Fritzell, E. K. 1978a. Habitat use by prairie raccoons during waterfowl breeding season. *Journal of Wildlife Management*. 42:118-127.
41. Fritzell, E. K. 1978b. Aspects of raccoon (*Procyon lotor*) social organization. *Canadian Journal of Zoology*. 56:260-271.

42. Gamet, A. 1973. La rage. Presses Universitaires de France. Paris. 128 p.
43. Gerht, S. D. 2003. Raccoon *Procyon lotor* and Allies. In Feldhamer, G. A., Thompson, B. C. & Chapman, J. A. 2003. Wild Mammals of North America. Biology, Management and Conservation. 2nd Ed. Johns Hopkins University Press. pp 611-634.
44. Greenwood, R. J., Newton, W. E., Pearson, G. L. & Schamber G. J. 1987. Population and movement characteristics of radio-collared striped skunks in North Dakota during an epizootic of rabies. *Journal of Wildlife Diseases*. 33:226-241.
45. Gremillion-Smith, C. & Woolf, A. 1988. Epizootiology of skunk rabies in North American *Journal of Wildlife Diseases*. 24:620-626.
46. GNB : <http://www1.gnb.ca/0053/Stats/Rabies/RabiesStats-f.asp>
47. Godin, A. J. 1982. Striped and hooded skunks (*Mephitis mephitis* and allies). In Chapman, J. and Feldhamer, G. A. Eds. Wild mammals of North America : Biology, management and economics. John Hopkins University Press. Baltimore. pp 674-687.
48. Goyer, C. 2002. Cas de rage animale. Prévention en Pratique médicale. Direction de Santé Publique. 4p.
49. Guerra, M. A., Curns, A. T, Rupprecht, C. E, Hanlon, C. A., Krebs, J. W. & Childs, J. E. 2003. Skunk and Raccoon Rabies in the Eastern United States: Temporal and spatial analysis. *Emerging Infectious Diseases*. 9(9):1143-1149.
50. Gunson, J. R., Dorward, W. J. & Schowalter, D. B. 1978. An evaluation of rabies control in skunks in Alberta. *Canadian Veterinary Journal*. 19:214-220.

51. Hall, E. R. & Kelson, K. R. The Mammals of North America. Vol. 2. Ed. The Ronald Press Company. New York. 625 p.
52. Hamilton, W. J. Jr. & Whitaker J. O. Jr. 1979. Mammals of the Eastern of United States. 2nd Ed. Cornell University Press. USA. 346 p.
53. Hanlon, C. A., Niezgod, M., Morrill, P. & Rupprecht, C. E. 2002. Oral efficacy of an attenuated rabies virus vaccine in skunks and raccoons. *Journal of Wildlife Diseases* 38(2):420-427.
54. Hayles, L. B. & Dryden, I. M. 1970. Epizootiology of rabies in Saskatchewan. *Canadian Veterinary Journal*. 11:131-136.
55. Heidt, G. A., Ferguson, D. V. & Lammers, J. 1982. A profil of reported skunk rabies in Arkansas : 1977-1979. *Journal of Wildlife Diseases*.18 (3): 269-277.
56. Hill Jr, R. E. & Beran, G. W. 1992. Experimental inoculation of raccoon (*Procyon lotor*) with rabies virus of skunk origin. *Journal of Wildlife Diseases*. 28(1): 51-56.
57. Hill Jr, R. E., Smith, K. E., Beran, G. W. & Beard, P. D. 1993. Further studies on the susceptibility of raccoons (*Procyon lotor*) to a rabies virus of skunk origin and comparative susceptibility of striped skunks (*Mephitis mephitis*). *Journal of Wildlife Diseases*. 29(3):475-477.
58. Hubbard, D. R. 1985. A descriptive epidemiological study of raccoon rabies in a rural environment. *Journal of Wildlife Diseases*. 21:105-110.

59. Hvass, H. & Petter, F. 1902. Les mammifères du monde entier. Ed. Fernand Nathan. Paris. 212 p.
60. Jenkins, S. R & Winkler, W. G. 1987. Descriptive epidemiology from an epizootic of raccoon rabies in the middle Atlantic States, 1982-1983. *American Journal of Epidemiology*. 126: 429-437.
61. Jenkins, S. R & Winkler, W. G. 1988. Ecology and epidemiology of raccoon rabies. *Reviews of Infectious Diseases*. Volume 10 Supplement 4:620-625.
62. Johnson, H. N. 1971. General epizootiology of rabies. *In* Nagano, Y. & Davenport, F. M. Rabies. University Park Press. pp 237-251.
63. Johnson, R. 2001. Rabies bait drop to start august 6. Vermont Department of Public Health.
64. Jones, M. E., Curns, A. T., Krebs, J. W. & Childs, J. E. 2003. Environmental and human demographic features associated with epizootic raccoon rabies in Maryland, Pennsylvania, and Virginia. *Journal of Wildlife Diseases*. 39(4):869-874.
65. Kappus, K. D., Bigler, W. J., McLean, R. G. & Trevino, H. A. 1970. The raccoon an emerging rabies host. *Journal of Wildlife Diseases*. 6:507-509.
66. Kaufmann, J. H. 1982. Raccoon and allies. *In* Chapman, J. A. & Feldhamer, G. A. Wild mammals of North America : biology, management and economics. Johns Hopkins University Press. Baltimore. 1147 p.

67. Krebs, J. W., Holman, R. C., Hines, U., Strine, T. W., Mandel, E.T. & Childs, J. E. 1992. Rabies surveillance in United States during 1991. JAVMA. 201:1836-1848.
68. Krebs, J. W., Strine, T. W. & Childs, J. E. 1993. Rabies surveillance in United States during 1992. JAVMA. 203:1718-1731.
69. Krebs, J. W., Strine, T. W., Smith, J. S. Rupprecht, C. E. & Childs, J. E. 1994. Rabies surveillance in United States during 1993. JAVMA. 206:1695-1709.
70. Krebs, J. W., Strine, T. W., Smith, J. S., Rupprecht, C. E. & Childs, J. E. 1995. Rabies surveillance in United States during 1994. JAVMA. 207:1562-1575.
71. Krebs, J. W., Strine, T. W., Smith, J. S., Noah, D. L. Rupprecht, C. E. & Childs, J. E. 1996. Rabies surveillance in United States during 1995. JAVMA. 209:2031-2044.
72. Krebs, J. W., Smith, J. S., Rupprecht, C. E. & Childs, J. E. 1997. Rabies surveillance in United States during 1996. JAVMA. 211:1525-1539.
73. Krebs, J. W., Smith, J. S., Rupprecht, C. E. & Childs, J. E. 1998. Rabies surveillance in United States during 1997. JAVMA. 213:1713-1728.
74. Krebs, J. W., Smith, J. S., Rupprecht, C. E. & Childs, J. E. 1999. Rabies surveillance in United States during 1998. JAVMA. 215:1786-1798.
75. Krebs, J. W., Rupprecht, C. E. & Childs, J. E. 1999. Rabies surveillance in United States during 1998. JAVMA. 217:1799-1811.

76. Krebs, J. W., Mondul, A. M., Rupprecht, C. E. & Childs, J. E. 2001. Rabies surveillance in United States during 2000 JAVMA. 219: 1687-1699.
77. Krebs, J. W., Noll, H. R., Rupprecht, C. E. & Childs, J. E. 2002. Rabies surveillance in the United States during 2001. JAVMA 221(12):1690-1701.
78. Krebs, J. W., Williams, S. M., Smith, J. S., Rupprecht, C. E. & Childs, J. E. 2003. Rabies among infrequently reported mammalian carnivores in the United States, 1960-2000. Journal of Wildlife Diseases 39(2):253-261.
79. Krebs, J. W., Mandel, E. J., Swerdlow, D. L. & Rupprecht, C. E. 2004. Rabies surveillance in United States during 2003. JAVMA. 225(12):1837-1849.
80. Krebs, J. W., Smith, J. S., Rupprecht, C. E. & Childs, J. E. 2000. Mammalian Reservoirs and Epidemiology of Rabies Diagnosed in Human being in the United States, 1981-1998. Annals of New York Academy Sciences. 916:345-353.
81. Larivière, S. & Messier, F. 1997. Seasonal and daily activity patterns of striped skunks (*Mephitis mephitis*) in the Canadian prairies. Journal of Zoology. 423:255-262.
82. Lewis, J. C. 1972. Factors influencing reports of rabid animals in Oklahoma. Journal of Wildlife Diseases. 8:245-251.
83. Lewis, J. C. 1975. Control of rabies among territorial wildlife by population reduction. *In* The natural history of rabies. Vol. 2 George M. Baer Ed. Academy Press. New York. pp 243-269.
84. Lotze, J. & Anderson, S. 1979. *Procyon lotor*. Mammal Species. 119:1-8.

85. MacInnes, C. D., Smith, S. M., Tinline, R. R., Ayers, N. R., Bachmann, P., Ball, D. G., Calder, L. A., Crosgrey, S. J., Fielding, C., Hauschildt, P., Honig, J. M., Johnston, D. H., Lawson, K. F., Nunan, C. P., Pedde, M. A., Pond, B., Stewart, R. B. & Voigt, D. R. 2001. Elimination of rabies from red foxes in eastern Ontario. *Journal of Wildlife Diseases* 37(1):119-132.
86. Marx, M. B. & Swink Jr, F. N. 1963. The Virginia predator rabies control program, 1961-1962. *JAVMA*. 143:170-177.
87. McLean, R. G. 1970. Wildlife rabies in the United States : recent history and current concepts. *Journal of Wildlife Diseases*. 6:229-235.
88. McLean, R. G. 1971. Rabies in raccoon in the South-eastern United States. *Journal of Infectious Diseases*. 123(6):680-681.
89. McLean, R. G. 1975. Raccoon Rabies *in* Baer, G. The natural history of rabies. Vol. 2 pp 41-51.
90. McQuiston, J. H., Yager, P. A., Smith, J. S. & Rupprecht, C. E. 2001. Epidemiology characteristics of rabies virus variants in dogs and cats in the United States, 1999. *JAVMA*. 218 : 1939-1942.
91. Messenger, S. L., Smith, J. S. & Rupprecht C. E. 2002. Emerging epidemiology of bat-associated cryptic cases of rabies in humans in the United States. *Clinical Infectious Diseases*. 35(6):738-747.
92. Messier A, 1996. La problématique de l'épizootie de rage du raton laveur appréhendée au Québec. Rapport du comité scientifique au comité directeur interministériel. 133 p.

93. Messier A, 2005. La problématique de l'épizootie de la rage de la souche virale du raton laveur appréhendée au Québec. Programme de prévention de l'entrée au Québec de l'épizootie de la rage de la souche virale du raton laveur des États du nord-est américain. 6^{ème} rapport annuel. Comité Scientifique sur la Rage.
94. Moore, D. A. 1999. Spatial diffusion of raccoon rabies in Pennsylvania, USA. *Preventive Veterinary Medicine*. 40:19-32.
95. Moore, D. W & Kennedy, M. L. 1985. Weight changes and population structure of raccoon in western Tennessee. *Journal of Wildlife Management* 49:906-909.
96. Naus, J. I. 1965. The distribution of the size of the maximum cluster of points on a line. *JAVMA*. 209:626-628.
97. Nelson, E. W. 1930. Wild animals of North America. Intimate studies of big and little creatures of the Mammals kingdom. Ed. The National Geographic Society. Washington. 254 p.
98. Nettles, V. F., Shaddock, J. H., Sikes, R. K. & Reyes, C. R. 1979. Rabies in translocated raccoons. *American Journal of Public Health*. 69(6):601-602.
99. Noah, D. L., Drenzek, C. L., Smith, J. S., Krebs, J. W., Orciari, L., Shaddock, J., Sanderlin, D., Whitfield, S., Fedaku, M., Olson, J., Rupprecht, C. E. & Childs, J. E. 1998. Epidemiology of human rabies in the United States, 1980 to 1996. *Annals of Internal Medicine*. 128 (11):922-930.

100. Olson, C. A., Mitchell, K. D. & Werner, P. A. 2000. Bait ingestion by free-ranging raccoons and nontarget species in an oral rabies vaccine field trial in Florida. *Journal of Wildlife Diseases* 36(4):734-43.
101. Paré, J. Carpenter, T. E. & Thurmond. 1996. Analysis of spatial and temporal clustering of horses with *Salmonella krefeld* in an intensive care unit of a veterinary hospital. *JAVMA*. 209:626-628.
102. Parker, R. L. 1975. Rabies in skunks. *In* Baer, G. M. The Natural history of rabies, Vol. 2. Ed. Academy Press, New York. pp 41-51.
103. Parker, R. L. & Wilsnack, R. E. 1966. Pathogenesis of skunk rabies virus : rabies inhibiting substance as related to rabies diagnostic. *American Journal of Veterinary Research*. 27:39.
104. Pedlar, J. H., Fahrig, L. & Merriam, H. G. 1997. Raccoon habit use at two spatial scales. *Journal of Wildlife Management*. 61:102-112.
105. Peterson R. L. 1966. The mammals of Eastern Canada. Oxford University Press. Toronto. 465 p.
106. Piérard, J. A. 1983. Mammalogie. Mammifères du Québec. Ed. Marcel Broquet. Montréal. 255 p.
107. Pybus, M. J. 1988. Rabies and rabies control in striped skunks (*mephitis mephitis*) in three prairie regions of western North America. *Journal of Wildlife Diseases*. 24:434-449.

108. Quinn, P. J., Markey, B. K., Carter, M. E., Donnelly, W. J. & Leonard, F. C. 2002. Veterinary Microbiology and microbial diseases. Ed. Blackwell Science. 536 p.
109. Rakowski, P. W. & Andrews, M. F. 1972. The geographic distribution of skunk rabies in Nord Dakota. Proceedings of North Dakota Academy Sciences. 25: 65-71.
110. Riley, S. P. D., Hadidian, J. & Manski, A. 1998. Population density, survival, and rabies in raccoon in an urban national park. Canadian Journal of Zoology. 76:1153-1164.
111. RMTTC. 2002. Notes internationales : Enquête mondiale sur la rage, 1997. Vol 26 No2
112. Rosatte, R. C. 1984. Seasonal occurrence and habitat preference of rabid skunk in southern Alberta. Canadian Veterinary Journal 25:142-144.
113. Rosatte, R. & Larivière, S. 2003. Skunks Genera *Mephitis*, *Spilogale* and *Conepatus*. In Feldhamer, G. A., Thompson, B. C. & Chapman, J. A. 2003. Wild Mammals of North America. Biology, Management and Conservation. 2nd Ed. Johns Hopkins University Press. pp 692-707.
114. Rosatte, R. C. & Lawson, K. F. 2001. Acceptance of baits for delivery of oral rabies vaccine to raccoons. Journal of Wildlife Diseases 37(4):730-739.
115. Rosatte, R. C., Pyrus, M. J. & Gunson, J. R. 1986. Population reduction as a factor in the control of skunk rabies in Alberta. Journal of Wildlife Diseases 22:459-467.

116. Rosatte, R. C., Power, M. J., MacInnes, C. D. & Campbell J. B. 1992. Trap-vaccinate-release and oral vaccination for rabies control in urban skunks, raccoons and foxes. *Journal of Wildlife Diseases* 28:562-571.
117. Roumiantzeff, M., Ajjan, N., Fournier, P., Pouradier-Duteil, X., Vincent-Falquet, J. C. & Montagnon, B. 1985. Les vaccins rabiques préparés sur culture cellulaire. *in* Deux zoonoses majeures : la Rage et la Brucellose. Réunion franco-colombienne. Collection Fondation Marcel Mérieux. pp 21-28.
118. Rue, L. L. & Terres, J. K. 1964. The world of raccoon. 1rst Ed. J. B. Lippincott Company. NY. USA 145 p.
119. Rupprecht, C. E., Charlton, K. M., Artois, M., Casey, G. A., Webster, W. A., Campbell, J. B., Lawson, K. F. & Schneider, L. G. 1990. Ineffectiveness and comparative pathogenicity of attenuated rabies virus vaccines for the striped skunk (*Mephitis mephitis*). *Journal of Wildlife Diseases* 26(1):99-102.
120. Rupprecht, C. E., Wiktor, T. J., Johnston, D. H., Hamir, A. N., Dietzschold, B., Wunner, W. H., Glickman, L. T. & Koprowski, H. 1986. Oral immunization and protection of raccoons (*Procyon lotor*) with a vaccinia-rabies glycoprotein recombinant virus vaccine. *Proceedings of the National Academy Sciences of the USA* 83(20):7947-7950.
121. Sacramento, D., Badrane, H., Bourhy, H. & Tordo, N. 1992. Molecular epidemiology of rabies virus in France: comparison with vaccine strains. *Journal of General Virology*. 73:1149-1158.

122. Sanderson, G. C., Verts, B. J. & Storm, G. L. 1967. Recent studies of wildlife rabies in Illinois. *Bulletin of Wildlife Diseases Association*. 3:92.
123. Sanderson, I. T. 1957. *Les mammifères vivants du monde*. Hachette. Paris. 31 p.
124. Scatterday, J. E., Schneider, N. J., Jennings, W. L. & Lewis, A. L. 1960. Sporadic animal rabies in Florida. *Public Health Report*. 75:945-953
125. Schnurrenberger, P. R., Martin, R. J. & Koch, J. M. 1970. Rabies in Illinois skunks. *JAVMA*. 157: 1336-1342.
126. Seidensticker, J. Johnssingh, A. J. T., Ross, R., Sanders, G. & Webb, M. B. 1988. Raccoon rabies in Appalachian mountain hollows. *National Geographic Research* 4:359-370.
127. Sibbald B. 2001. Raccoon rabies secures 2 bridgeheads in Canada. *CMAJ*. 165(3):327.
128. Sikes, R. K. 1962. Pathogenesis of rabies in wildlife. I. Comparative effect of varying doses of rabies virus inoculated into foxes and skunks. *American Journal of Veterinary Research* 23:1041-1047.
129. Silverstein, M. A., Salgado C. D., Bassin, S., Bleck T. P., Lopes, M. B., Farr, B. M., Jenkins, S. R., Sockwell, D. C., Marr, J. S. & Miller, G. B. 2003. First Human Death Associated with Raccoon Rabies – Virginia, 2003. *CDC. MMWR*. 52(45):1102-1103.

130. Singer, R. S., Case, J. T., Carpenter, T. E., Walker, R. L. & Hirsh, D. C. 1998. Assessment of spatial and temporal clustering of ampicillin- and tetracycline-resistant strains of *Pasteurella multocida* and *Pasteurella haemolytica* isolate from cattle in California. *JAVMA*. 212:1001-1005.
131. Slate, D., Rupprecht, C. E., Rooney, J. A., Donovan, D., Lein, D. H. & Chipman, R. B. 2005. Status of oral rabies vaccination in wild carnivores in the United States. *Virus Research* 111:68-76.
132. Smith, D. L., Lucey, B., Waller, L. A., Childs, J. E. & Real, L. A. 2002. Predicting the spatial dynamics of rabies epidemics on heterogeneous landscapes. *Proceedings of the National Academy Sciences of the USA*. 99(6):3668-3672.
133. Steck, F., Wandeler, A., Bichsel, P., Capt, S., Schneider, L. 1982. Oral immunisation of foxes against rabies. A field study. *Journal of Veterinary Medicine. Series B* 29(5):372-396
134. Stohr, K. & Meslin, F. M. 1996. Progress and setbacks in the oral immunisation of foxes against rabies in Europe. *Veterinary Record*. 139(2):32-5.
135. Tabel, H., Corner, A. H., Webster, W. A. & Casey, G. A. 1974. History and epizootiology of rabies in Canada. *Canadian Veterinary Journal*. 15:271-281.
136. TerraSeer, 2001. ClusterSeer, Software for identifying disease clusters. User Guide. 75-81.
137. TerraSeer, 2002. ClusterSeer, Software for identifying event clusters. User Guide 2. 177-185.

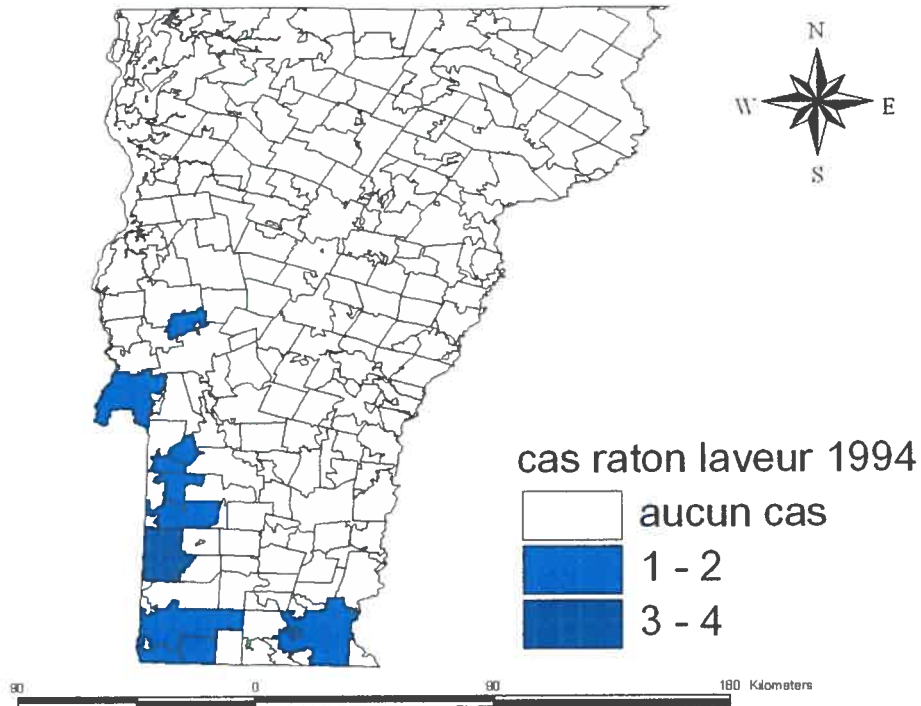
138. Tinline, R., Rosatte, R. & MacInnes, C. 2002. Estimating the incubation period of raccoon rabies: a time-space clustering approach. *Preventive Veterinary Medicine*. 56(1):89-103.
139. Tolson, N. D., Charlton, K. M., Stewart, R. B., Campbell, J. B. & Wiktor, T. R. 1987. Immune response in skunks to a vaccinia virus recombinant expressing the rabies virus glycoprotein. *Canadian journal of Veterinary Research*.
140. Torrence M. E., Jenkins S. R. & Glickman, L. T. 1989. Epidemiology of raccoon rabies in Virginia, 1984 to 1989. *Journal of Wildlife Diseases*. 28:369-376.
141. Traversy, N., McNicoll, R. & Lemieux, R. 1989. Les populations de ratons laveurs du sud-ouest du Québec.
142. Trimarchi, C. V. 1993. Summary of rabies in New York State. *The Rabies Reporter*. Maple (Ontario): Ontario Ministry of Natural Resources. 51:363-366.
143. Turgeon, N., Tucci, M., Deshaies, D., Pilon, P. A., Carsley, J., Valiquette, L., Teitelbaum, J., Jackson, A. C., Wandeler, A., Arruda, H. & Alain, L. 2000. Cas de rage humaine à Montréal (Québec) – Octobre 2000. *Relevé des Maladies Transmissibles au Canada*. 26-24:209-210.
144. Varughese, P. V. 2000. La rage humaine au Canada de 1924 à 2000. *Relevé des Maladies Transmissibles au Canada*. 26-24:210-211.
145. Verts, B. J. 1967. *The biology of striped skunk*. University of Illinois Press. Urbana. 218 p.

146. Vos, A., Pommerening, E., Neubert, L., Kachel, S. & Neubert, A. 2002. Safety studies of the oral rabies vaccine SAD B19 in striped skunk (*Mephitis mephitis*). *Journal of Wildlife Diseases* 38(2):428-431.
147. Wallenstein, S. 1980. A test for detection of clustering over time. *American Journal of Epidemiology*. 111(3):367-372.
148. Wandeler, A. & Salsberg, E. 1999. Raccoon rabies in eastern Ontario. *Canadian Veterinary Journal*. 40:705-708.
149. Ward, M. P. & Carpenter, T. E. 2000. Techniques for analysis of disease clustering in space and in time in veterinary epidemiology. *Preventive Veterinary Medicine*. 45:257-284.
150. Webster, W. A., Casey, G. A., Tabel, H. & Corner, A. H. 1974. Skunk rabies in Ontario. *Canadian Veterinary Journal*. 15:163-167.
151. Whitney L. F. & Underwood. A. B. 1952. *The raccoon*. Practical Science Publishing Company, Connecticut, USA. 177 p.
152. Wilson, M. L., Bretsky, P. M., Cooper, G. H. Jr., Egbertson, S. H., Van Kruiningen, H. J. & Cartter M. L. 1997. Emergence of raccoon rabies in Connecticut, 1991-1994 : spatial and temporal characteristics of animal infection and human contact. *American Journal of Tropical Medicine Hygiene*. 57:457-463.
153. Winkler, W. G. 1972. Rabies in Unnited States, 1950-1970. *Journal of Infectious Diseases*. 125: 674-675.

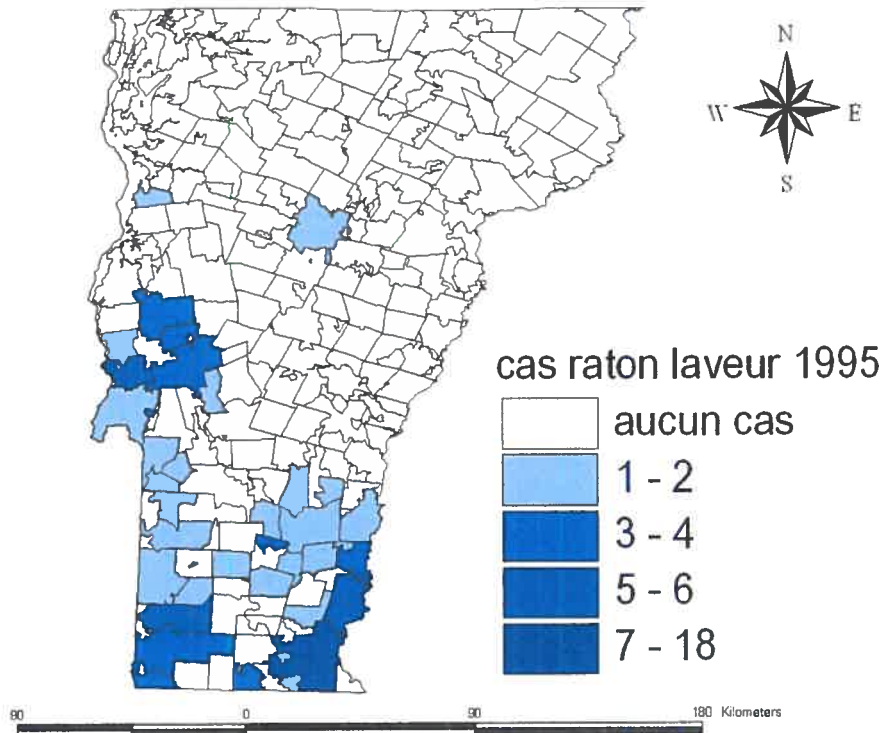
154. Winkler, W. G. & Jenkins, S. R. 1975. Raccoon Rabies *in* Baer G. The Natural History of Rabies. 2nd Ed. pp 325-340.
155. Wright, B. & Jansen, J. 2001. La rage chez les chevaux. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario. 5 p.
156. Wyatt, J. D., Barker, W. H., Bennett, N. M. & Hanlon, C. A. 1999. Human rabies postexposure prophylaxis during a raccoon rabies epizootic in New York, 1993 and 1994. *Emerging Infectious Diseases*. 5(3):416-423.
157. Zee, Y. C. & MacLachlan, N. J. 2004. Rhabdoviridae. *In* *Veterinary Microbiology* by Hirsh, D. C., MacLachlan, N. J. & Walker, R. L. 2nd Ed. Blackwell Publishing. pp 377-382

ANNEXES

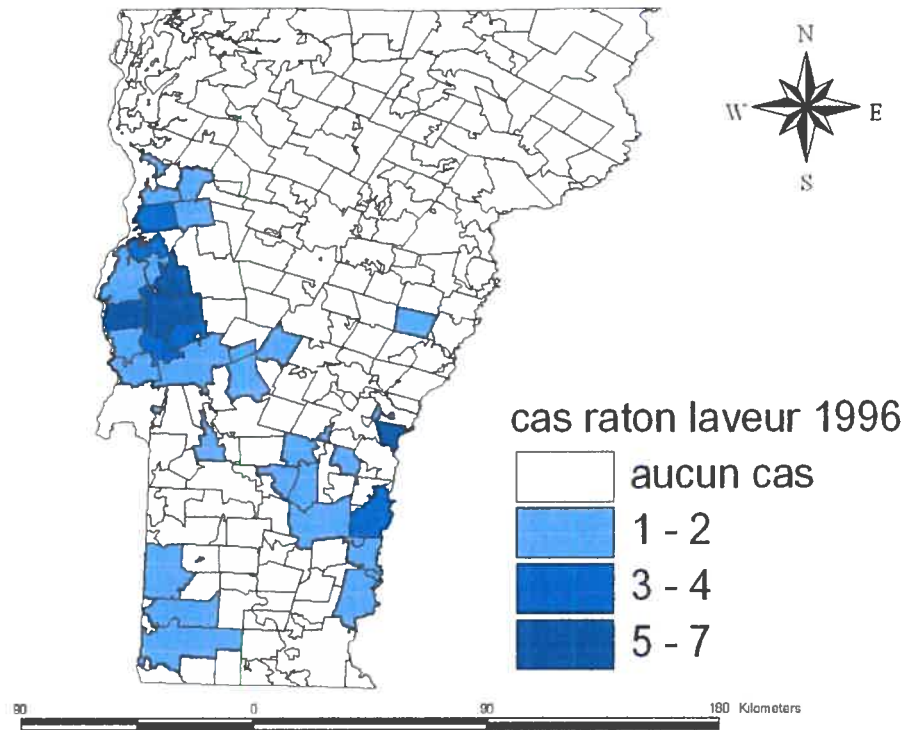
Annexe 1. Localisation des cas de rats laveurs pour l'année 1994



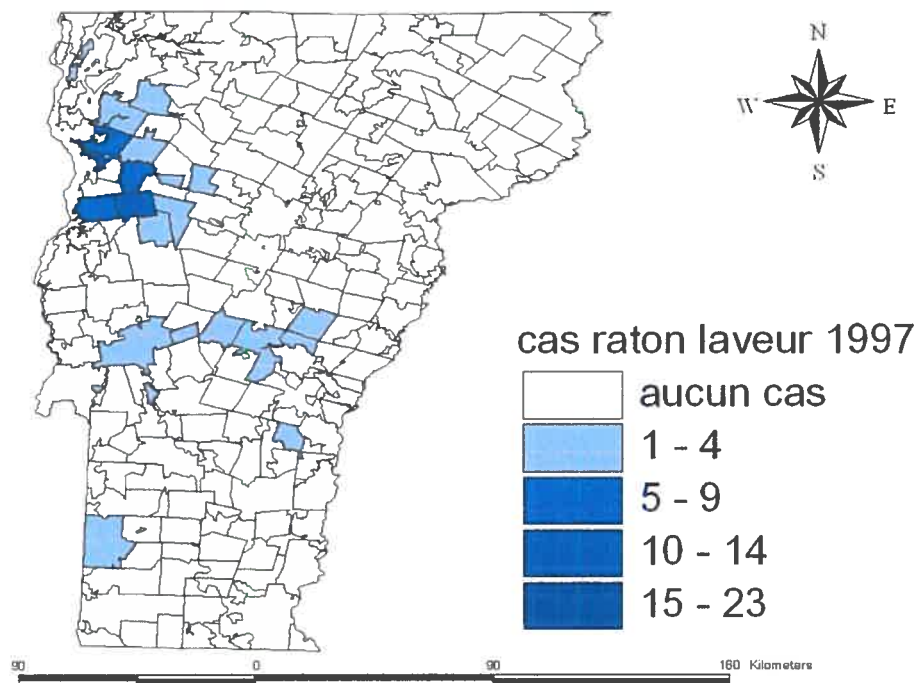
Annexe 2. Localisation des cas de rats laveurs pour l'année 1995



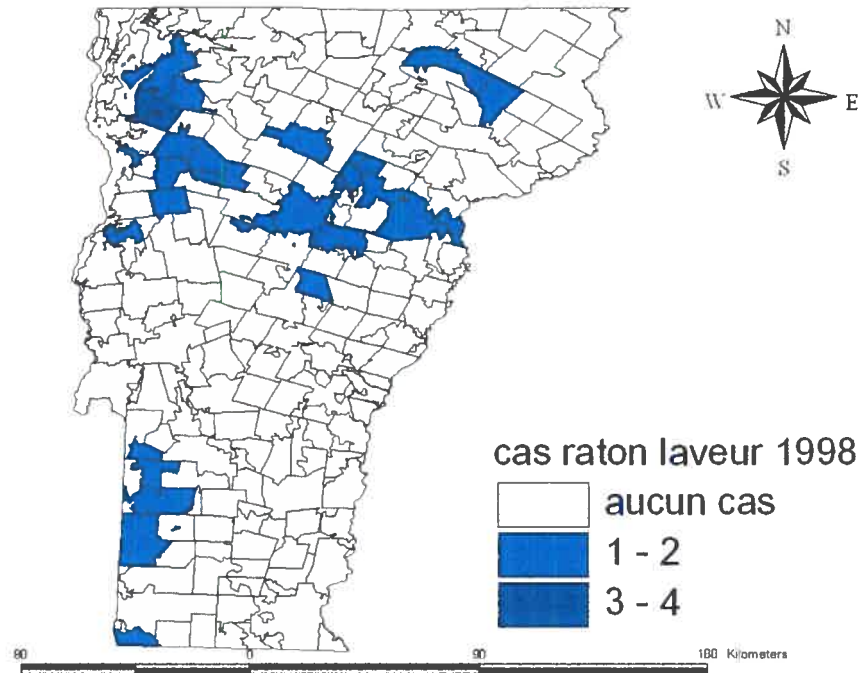
Annexe 3 Localisation des cas de rats laveurs pour l'année 1996



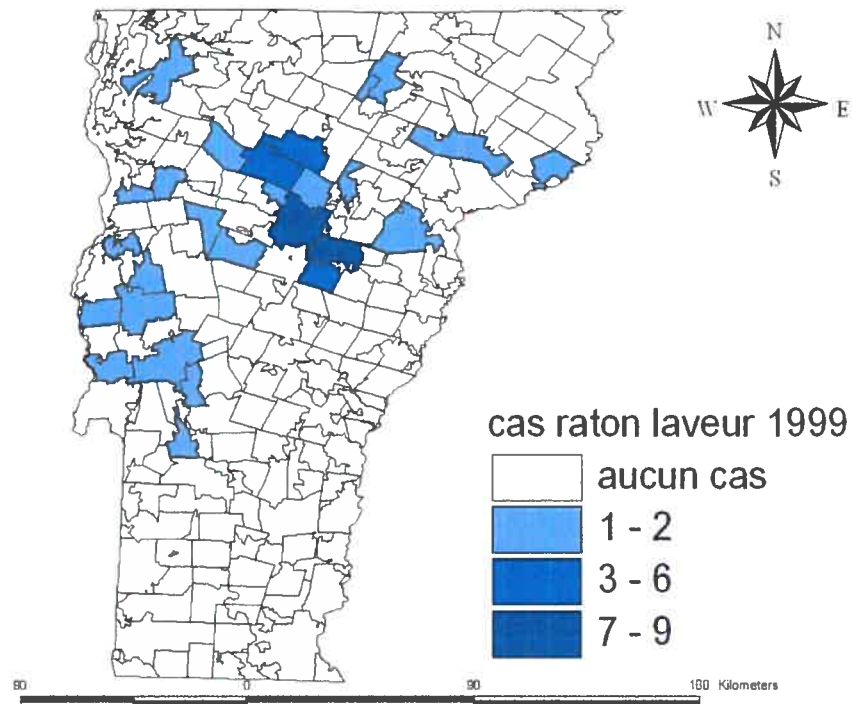
Annexe 4. Localisation des cas de rats laveurs pour l'année 1997



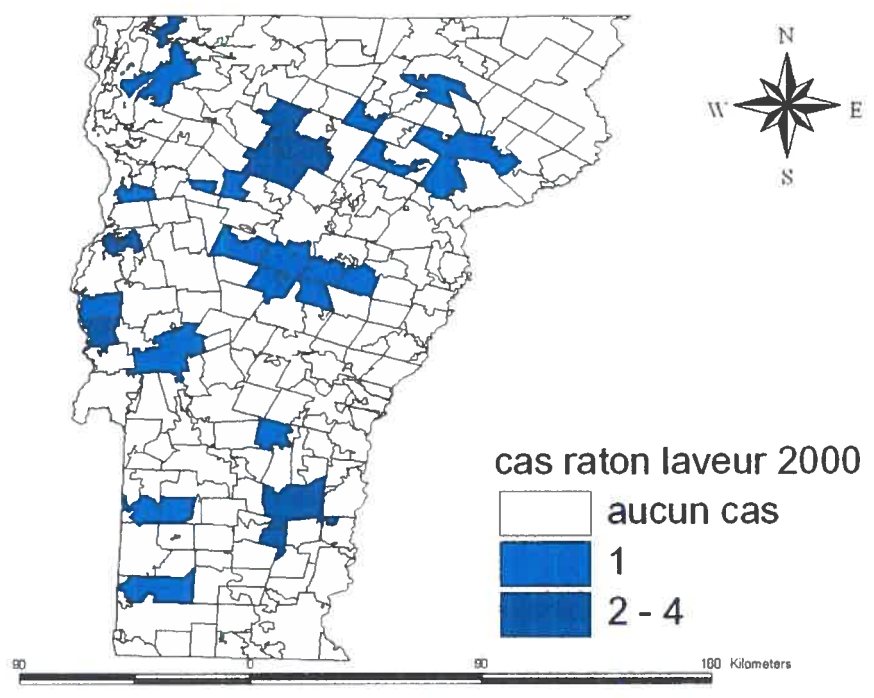
Annexe 5. Localisation des cas de rats laveurs pour l'année 1998



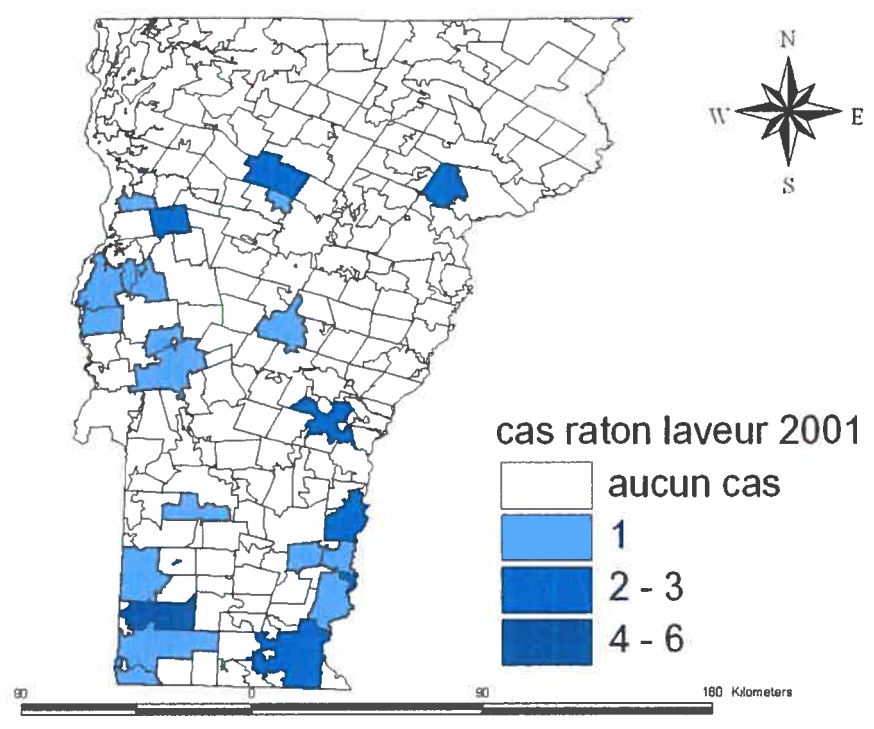
Annexe 6. Localisation des cas de rats laveurs pour l'année 1999



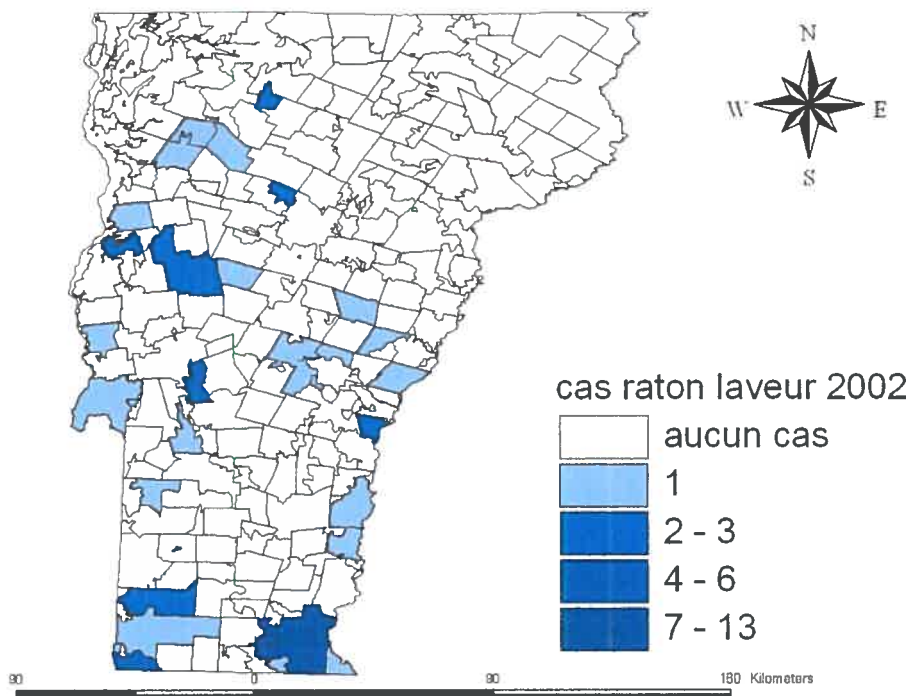
Annexe 7. Localisation des cas de rats laveurs pour l'année 2000



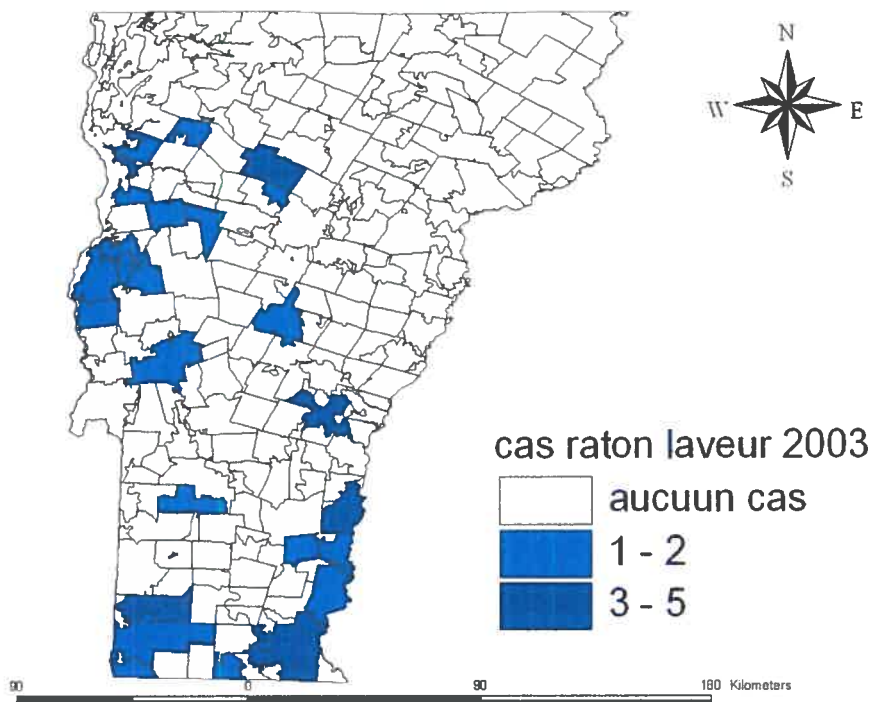
Annexe 8. Localisation des cas de rats laveurs pour l'année 2001



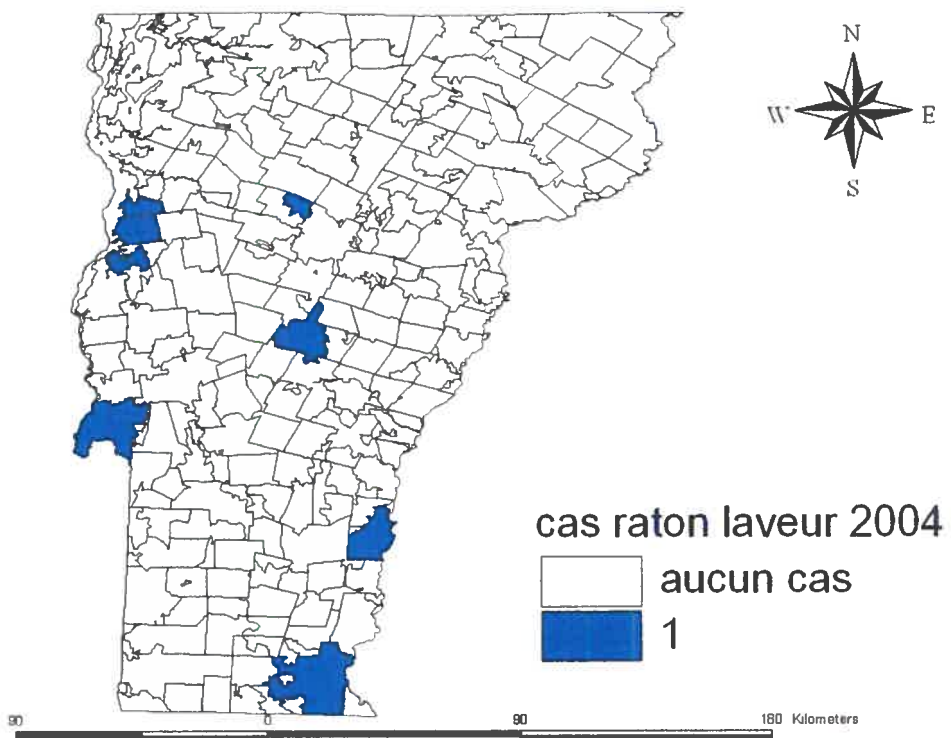
Annexe 9. Localisation des cas de rats laveurs pour l'année 2002



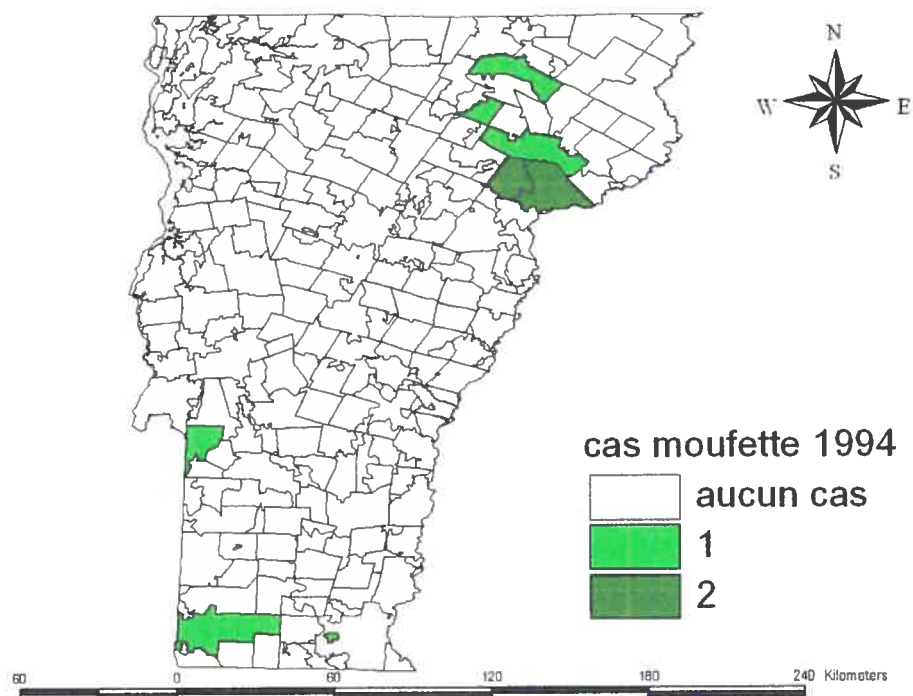
Annexe 10. Localisation des cas de rats laveurs pour l'année 2003



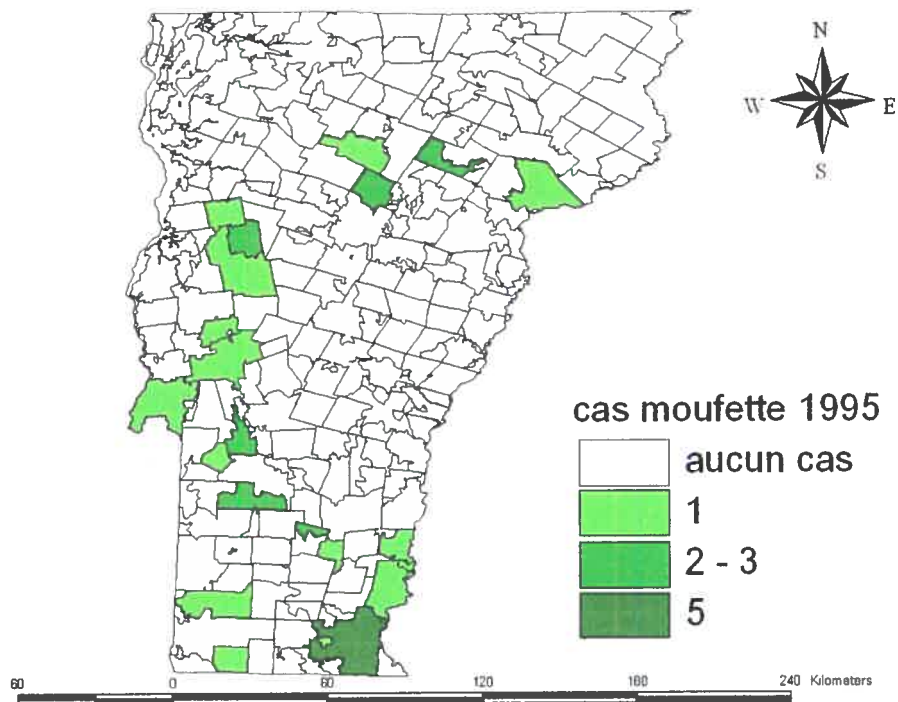
Annexe 11. Localisation des cas de rats laveurs pour l'année 2004



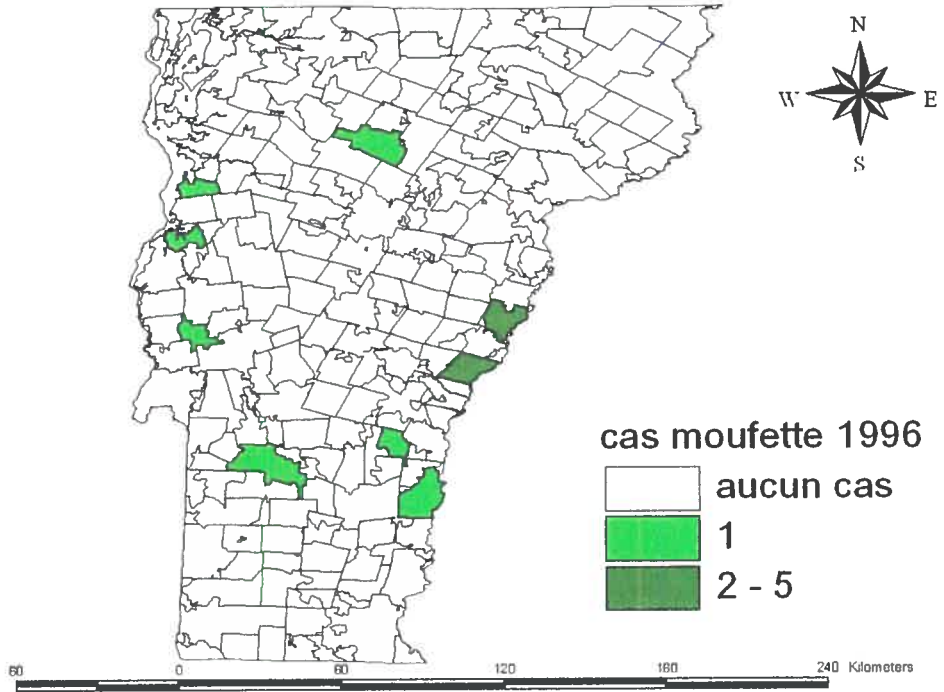
Annexe 12. Localisation des cas de moufette pour l'année 1994



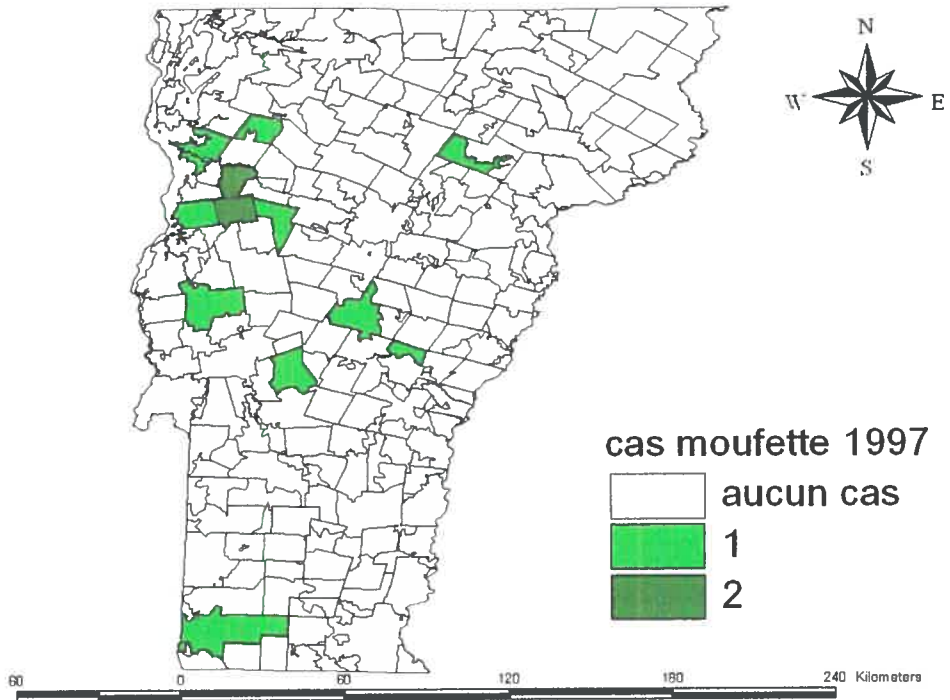
Annexe 13. Localisation des cas de moufette pour l'année 1995



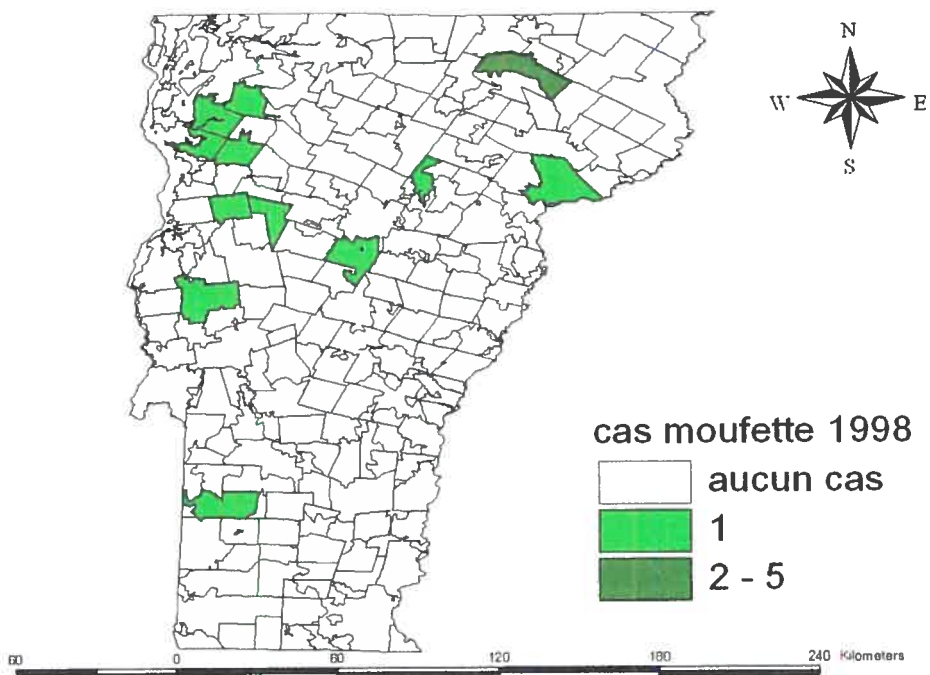
Annexe 14. Localisation des cas de moufette pour l'année 1996



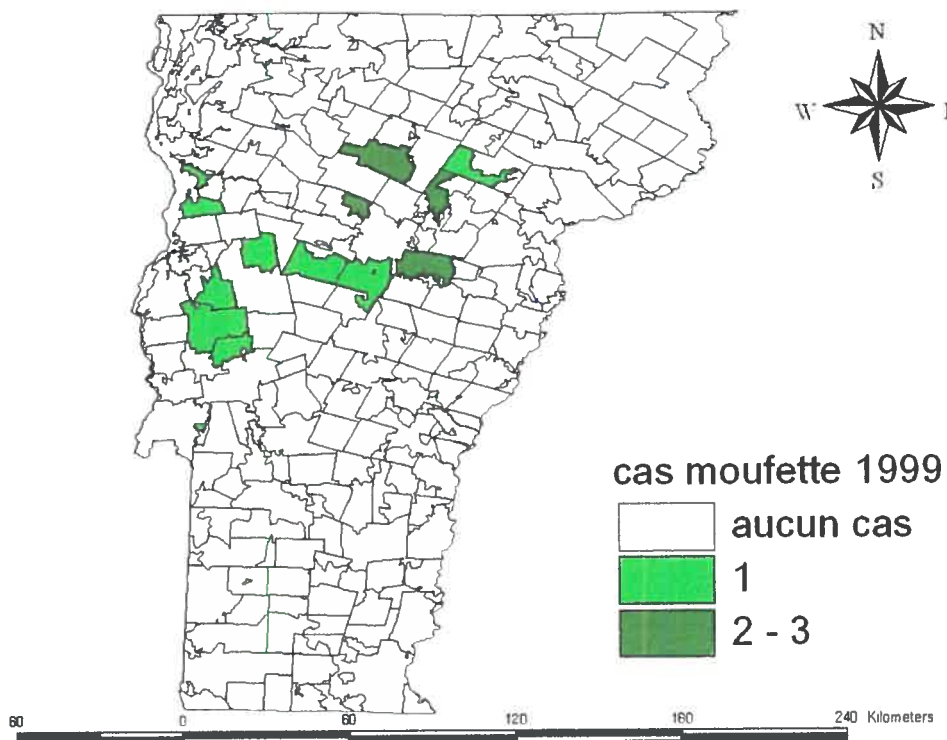
Annexe 15. Localisation des cas de moufette pour l'année 1997



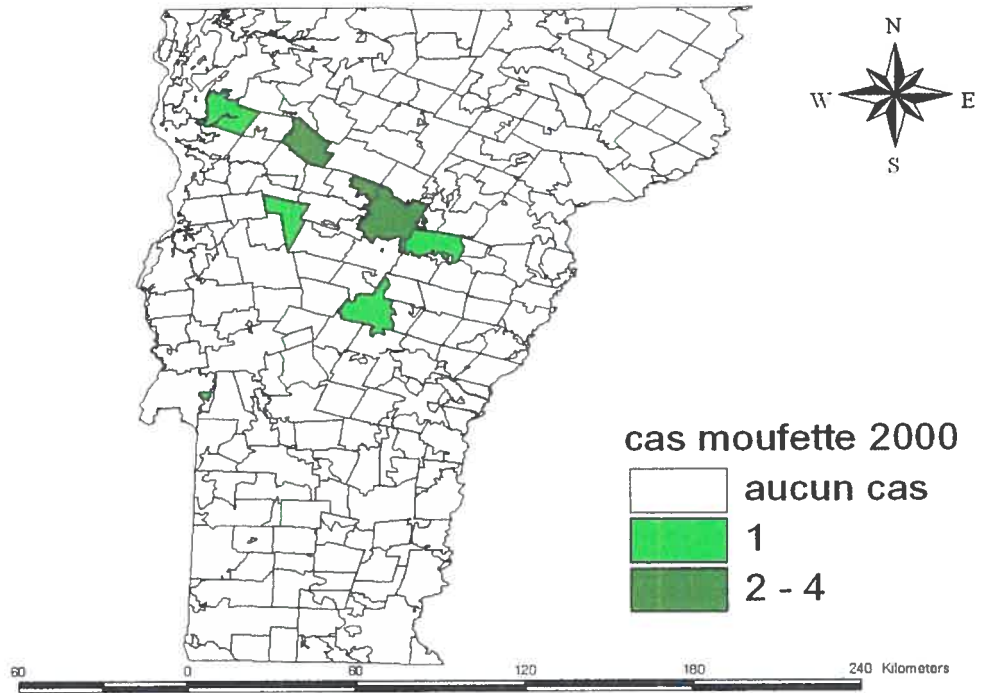
Annexe 16. Localisation des cas de mouffette pour l'année 1998



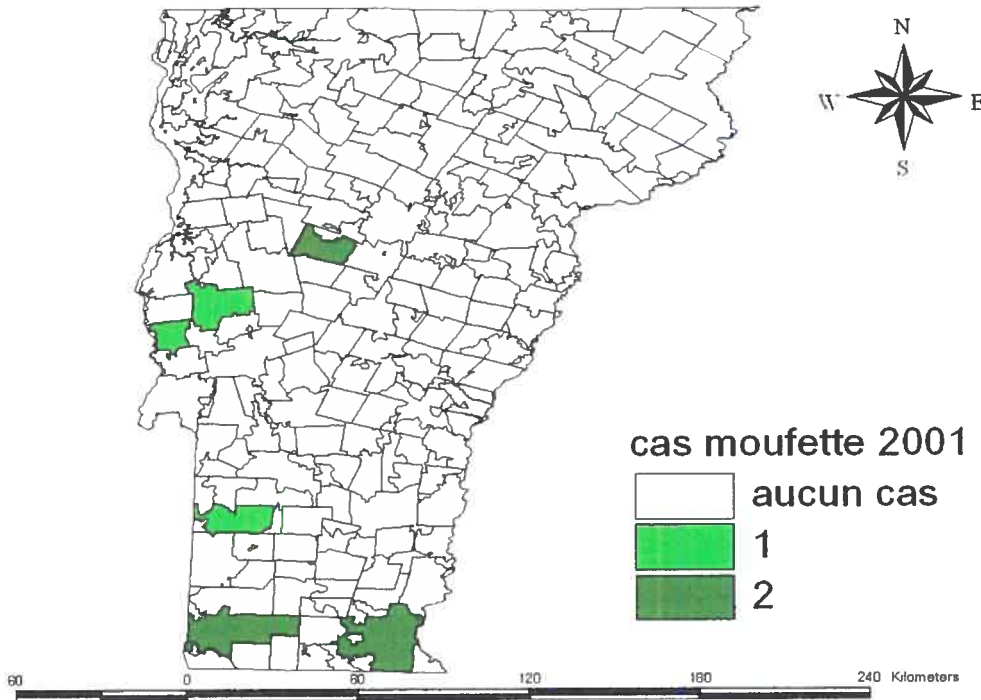
Annexe 17. Localisation des cas de mouffette pour l'année 1999



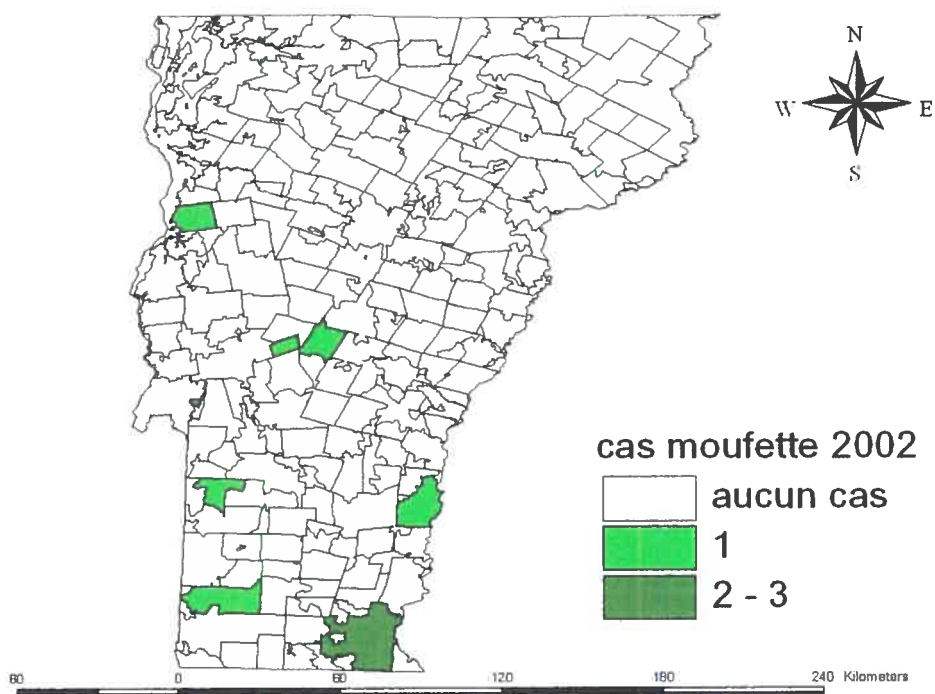
Annexe 18. Localisation des cas de mufette pour l'année 2000



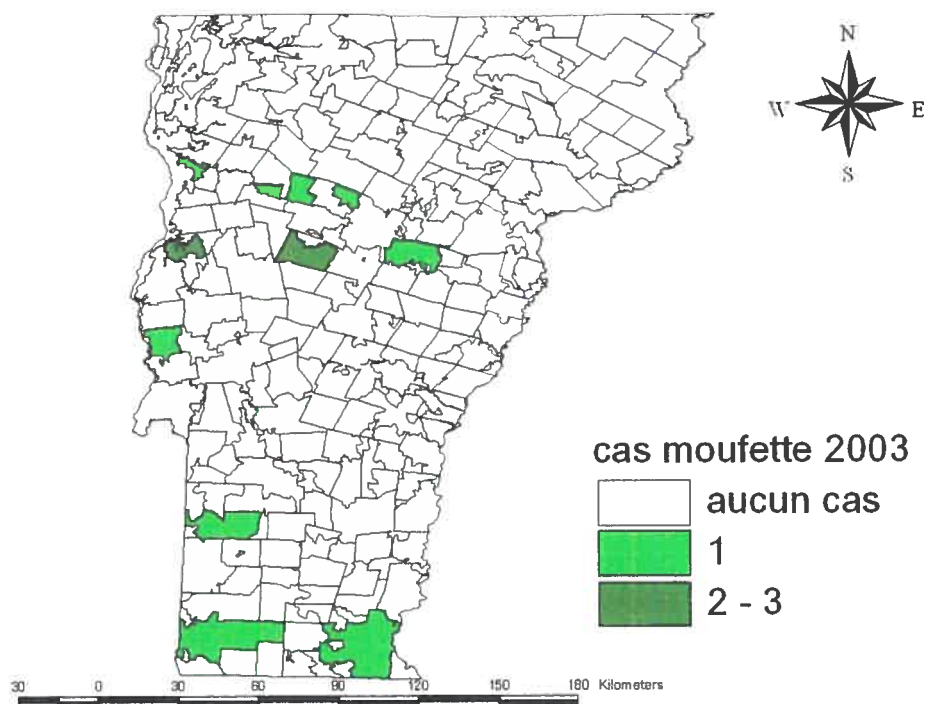
Annexe 19. Localisation des cas de mufette pour l'année 2001



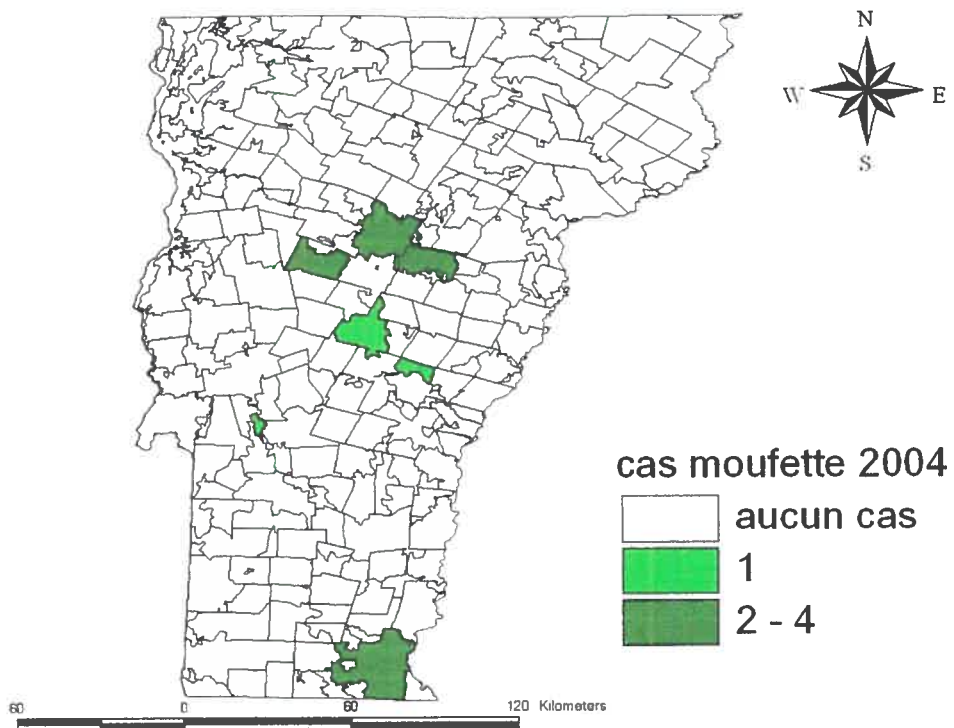
Annexe 20. Localisation des cas de moufette pour l'année 2002



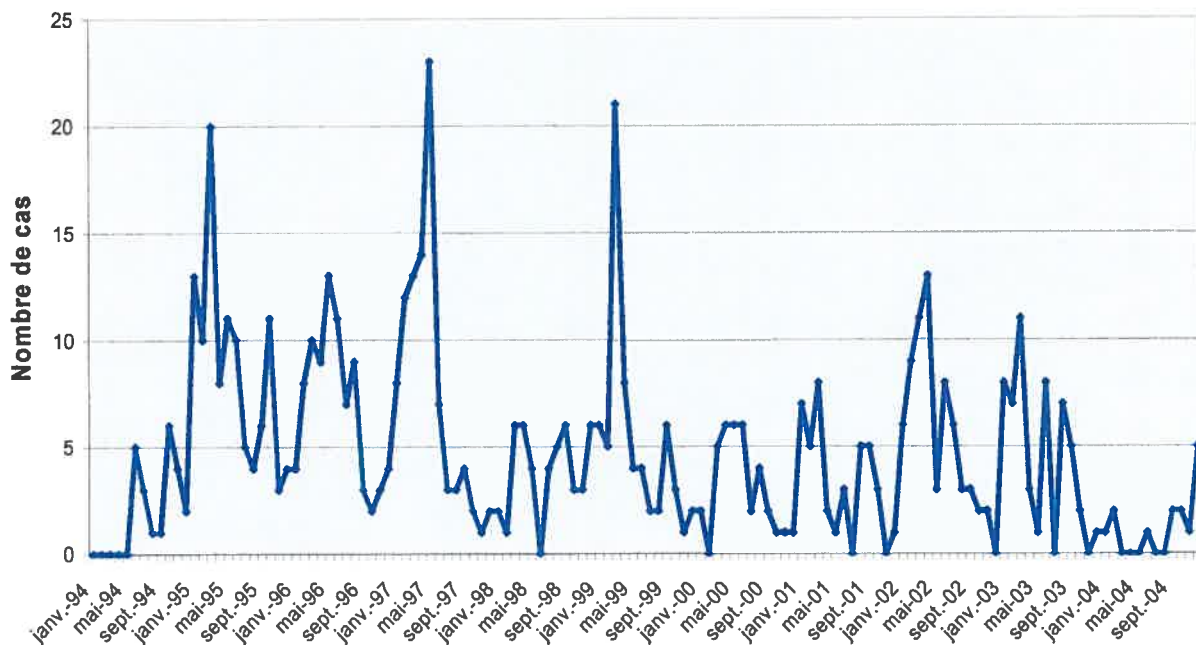
Annexe 21. Localisation des cas de moufette pour l'année 2003



Annexe 22. Localisation des cas de mouffette pour l'année 2004



Annexe 23. Évolution des cas de rage de Raton laveur rapportés au Vermont par mois entre 94 et 04



Annexe 24. Évolution des cas de rage de mufette rapportés au Vermont par mois entre 94 et 04

