

Étude du comportement de l'orignal par rapport aux axes routiers et aux clôtures électriques dans la réserve faunique des Laurentides



- Rapport final -



Juillet 2006

Ressources naturelles
et Faune

Québec



Transports
Québec



Université du Québec
à Rimouski

Liste des personnes ayant participé à la rédaction de ce rapport, en ordre alphabétique :

Laurier Breton, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF)

Réhaume Courtois, MRNF

Christian Dussault, MRNF – Université du Québec à Rimouski (UQAR)

Jacques Fortin, Ministère des Transports du Québec (MTQ)

Catherine Laurian, UQAR

Mathieu Leblond, UQAR

Jean-Pierre Ouellet, UQAR

Marius Poulin, MTQ

Résumé

L'objectif général de cette étude était d'étudier le comportement des orignaux adultes le long des axes routiers majeurs. Pour ce faire, nous avons muni des orignaux de colliers de télémétrie GPS entre l'hiver 2003 et 2006 dans le nord de la réserve faunique des Laurentides où l'on retrouve les routes provinciales 175 et 169. Ce document présente les résultats finaux de ce suivi télémétrique de 3 ans. Le document est en 5 chapitres. Dans le premier chapitre, nous étudions la fréquentation des axes routiers et de leurs abords par l'orignal, et nous analysons l'effet de divers facteurs susceptibles d'attirer les orignaux en bordure des routes. Dans le deuxième chapitre, nous avons étudié les patrons d'utilisation des principales sources de sodium par l'orignal, soit les mares salines et les lacs avec plantes aquatiques. Le troisième chapitre présente une analyse du comportement des orignaux lors de leurs déplacements impliquant une traversée de la route (habitat et déplacements). Dans le quatrième chapitre, nous avons rapporté le comportement de certains orignaux qui ont fréquenté les abords des routes dans les secteurs où une clôture électrique a été installée. Enfin, le cinquième chapitre se veut une synthèse des connaissances acquises dans l'ensemble du projet, ainsi qu'une réflexion sur leur application possible dans un contexte de gestion.

Globalement, les résultats de l'étude indiquent clairement que les axes routiers sont généralement évités par les orignaux sur une distance de 500 m. Seulement 328 traversées de routes asphaltées et 1 172 traversées de chemins forestiers ont été observées sur les 196 710 déplacements enregistrés. Aussi, les orignaux ont traversé les routes asphaltées 16 fois moins qu'on aurait pu s'y attendre si les déplacements avaient été effectués au hasard. Les traversées étaient essentiellement faites durant la nuit, au printemps et en été. La fréquentation des abords de

routes par l'orignal était d'abord influencée par la présence de mares salines. Les orignaux adoptent des comportements particuliers pour fréquenter les mares salines et le comportement des orignaux qui fréquentent les mares salines différait du comportement de ceux qui ne les fréquentaient pas. Les individus qui ont fréquenté les mares salines ont semblé faire des déplacements orientés avec des taux de déplacements élevés. Ces individus avaient aussi des domaines vitaux plus grands que ceux qui ne fréquentaient pas les mares salines.

Les visites des orignaux aux sources de sodium étaient rares ($< 0,5\%$ des 199 118 localisations enregistrées) puisqu'il y a eu seulement 40 visites à des salines de bord de route sur 86 sites, 88 visites à des salines de compensation sur 23 sites et 497 visites aux lacs et rivières sur 1 172 sites disponibles. Les lacs et rivières ont été plus fréquentés que les mares salines au bord des routes et de compensation, au printemps et en été. Les orignaux ont fréquenté les lacs et les rivières huit fois plus que les salines lorsque les deux types de sources de sodium étaient présents dans leur domaine vital. C'est au printemps et au début de l'été (mai, juin) que les sources de sodium ont été les plus fréquentées. Cette période correspond également au moment où les collisions impliquant l'orignal sont les plus fréquentes dans la réserve faunique des Laurentides.

Nous avons observé un total de 84 et 122 traversées d'une route par l'orignal au printemps et en été, respectivement. Le taux de déplacement de l'orignal durant un mouvement impliquant la traversée d'une route étaient en moyenne plus de 2 fois supérieurs que durant les mouvements précédents ou suivants. Les sites de traversée de la route étaient caractérisés par une faible proportion de lacs et rivières, mais aussi par la présence des mares salines et de peuplements offrant un bon couvert. Les résultats obtenus nous ont permis de développer un modèle spatial décrivant la probabilité de traversée par l'orignal le long des routes dans la réserve

faunique des Laurentides, en tenant compte des variations de la densité de l'orignal. Ce modèle a permis de cerner de relativement grands secteurs (environ 10-20 km linéaires) à l'intérieur desquels le risque d'accident était plus élevé.

Le suivi télémétrique nous a permis d'étudier les déplacements de quelques individus en bordure des clôtures électriques. La clôture électrique a empêché 78 % (7/9) des orignaux marqués de traverser la route dans les secteurs clôturés. Nous avons observé une réduction importante du nombre total de traversées de la route dans le secteur clôturé de la route 169 après l'installation de la clôture (2 traversées en 2005 *versus* 18 et 19 en 2003 et 2004). Bien que peu d'individus aient finalement été directement affectés par la clôture, nous avons illustré les déplacements de ces animaux sur des cartes puisqu'il s'agit d'une information inédite.

Les résultats démontrent clairement qu'en général les orignaux évitent plutôt les routes asphaltées et leurs abords. Il s'agit, à notre connaissance, de la première démonstration de ce phénomène d'évitement chez l'orignal. En conclusion, cette étude suggère que c'est essentiellement pour consommer l'eau riche en sodium que les orignaux utilisent les abords des routes asphaltées. À la fin du document, nous discutons de l'implication des résultats obtenus durant cette étude pour la gestion des corridors routiers.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	III
LISTE DES TABLEAUX	X
LISTE DES FIGURES	XII
LISTE DES ANNEXES	XVI
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
RÉFÉRENCE.....	3
 1. IMPACTS D'UN RÉSEAU ROUTIER SUR L'UTILISATION DE L'ESPACE ET DE L'HABITAT PAR L'ORIGINAL	 4
RÉSUMÉ.....	5
INTRODUCTION	7
SITE D'ÉTUDE	10
MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	11
<i>Capture et télémétrie</i>	<i>11</i>
<i>Traitement des données</i>	<i>13</i>
RÉSULTATS	19
<i>Traversées des axes routiers</i>	<i>20</i>
<i>Fréquentation des axes routiers et de leurs abords</i>	<i>22</i>
<i>Influence des axes routiers sur la superficie des domaines vitaux</i>	<i>27</i>
<i>Présence d'axes routiers en périphérie des domaines vitaux</i>	<i>27</i>
<i>Insectes hématophages</i>	<i>29</i>
<i>Le sodium dans les végétaux et la consommation de nourriture</i>	<i>30</i>
DISCUSSION	35
CONCLUSION	40
REMERCIEMENTS.....	41
RÉFÉRENCES	42

2. IMPACTS DE LA DISTRIBUTION DES SOURCES DE SODIUM SUR L'UTILISATION DE L'ESPACE ET DE L'HABITAT PAR L'ORIGINAL : IMPLICATIONS POUR LES ACCIDENTS ROUTIERS 49

RÉSUMÉ 50

INTRODUCTION 52

SITE D'ÉTUDE 55

MATÉRIEL ET MÉTHODES 56

Fréquentation des sources de sodium 57

Utilisation de l'espace par rapport aux sources de sodium 58

RÉSULTATS 59

Fréquentation des sources de sodium 60

Utilisation de l'espace par rapport aux sources de sodium 62

DISCUSSION 65

CONCLUSION 70

REMERCIEMENTS 70

RÉFÉRENCES 71

3. COMPORTEMENT DE L'ORIGINAL EN BORDURES DES ROUTES ET MODÉLISATION DE LA PROBABILITÉ DE TRAVERSÉE 75

RÉSUMÉ 76

INTRODUCTION 78

SITE D'ÉTUDE 82

MÉTHODES 84

Capture et télémétrie 84

Caractéristiques des trajets empruntés et des sites choisis par l'original lors d'une traversée de route 85

Analyse des données 89

RÉSULTATS 91

<i>Patrons de déplacement</i>	91
<i>Trajets empruntés par l'original lors de la traversée d'une route</i>	92
<i>Sites de traversée d'une route par l'original</i>	93
<i>Validation du modèle du risque d'accident</i>	93
DISCUSSION	94
<i>Comportement de l'original en bordure des routes</i>	94
<i>Relation entre la probabilité de traversée et le risque d'accidents</i>	99
<i>Recommandations pour la gestion</i>	100
CONCLUSION	101
REMERCIEMENTS	102
RÉFÉRENCES	102
 4. COMPORTEMENT DE L'ORIGINAL EN BORDURE D'UNE CLÔTURE ÉLECTRIQUE	 109
RÉSUMÉ	110
INTRODUCTION	111
SITE D'ÉTUDE	113
MÉTHODES	116
RÉSULTATS	118
<i>Fonctionnement de la clôture électrique</i>	118
<i>Téléométrie</i>	118
DISCUSSION ET CONCLUSION	120
REMERCIEMENTS	122
RÉFÉRENCES	122
 5. SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES ET IMPLICATIONS POUR LA GESTION	 127
L'ORIGINAL ET LA ROUTE	128
LES MESURES D'ATTÉNUATION	132

<i>La clôture électrique</i>	132
<i>L'aménagement des mares salines</i>	133
ANNEXES	135

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Nombre moyen de traversées par kilomètre d'axe routier ($\pm$ erreur type) par les orignaux suivis par télémétrie dans la réserve faunique des Laurentides de 2003 à 2005, à deux échelles spatiales.	21
Tableau 1.2. Résultats des ANOVAS sur les traversées d'axes routiers à deux échelles spatiales. .	21
Tableau 1.3. Densités moyennes d'axes routiers (m/ha) en périphérie (<500 m) et à l'intérieur des domaines vitaux des orignaux suivis par télémétrie dans la réserve faunique des en Laurentides de 2003 à 2005.	29
Tableau 1.4. Résultats des ANOVAS testant l'influence de la période estivale et de la proximité de la route (i.e. ≤ 50 m vs. ≥ 50 m) sur l'indice de sélection des orignaux.	31
Tableau 1.5. Concentrations moyennes en sodium (ppm) dans les essences végétales prélevées en bordure de routes et de chemins forestiers à l'été 2005 dans la réserve faunique des Laurentides.	31
Tableau 3.1. Liste des variables caractérisant la topographie et l'habitat de l'orignal dans un rayon de 250 m autour des trajets empruntés lors d'une traversée de route et autour des sites de traversée.	88

Tableau 3.2. Variables retenues dans le modèle de régression logistique discriminant les trajets empruntés par l'original lors d'un déplacement impliquant la traversée d'une route (T-1 à T+2) et les trajets aléatoires.	93
---	----

Tableau 3.3. Variables retenues dans le modèle de régression logistique discriminant les sites de traversée d'une route par l'original et les sites aléatoires.	94
--	----

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Le site d'étude est situé au nord de la réserve faunique des Laurentides (Québec, Canada).....	11
Figure 1.2. Localisation des sites de capture des orignaux dans la réserve faunique des Laurentides.....	14
Figure 1.3. Nombre de traversées mensuelles et répartition circadienne.....	22
Figure 1.4. Indices de sélection moyens des axes routiers et leurs abords ($\pm$ erreur type) dans les domaines vitaux des orignaux de la réserve faunique des Laurentides de 2003 à 2005. Les astérisques indiquent que l'indice de sélection est statistiquement différent de 1, correspondant à une sélection (>1) ou un évitement (<1 ; cas actuel) de la zone considérée alors que les lettres différentes représentent les catégories entre lesquelles il y a des différences statistiques significatives.....	24
Figure 1.5. Répartition mensuelle des localisations enregistrées dans chacune des bandes adjacentes aux routes asphaltées. Note : le nombre de localisations enregistrées directement sur les routes elles-mêmes ($n=19$) étant très faible, la distribution temporelle n'est pas représentée.....	25
Figure 1.6. Répartition circadienne, par mois, des localisations enregistrées dans chacune des bandes adjacentes aux routes asphaltées.	26

- Figure 1.7. Superficie (km²) des domaines vitaux des orignaux suivis par télémétrie dans la réserve faunique des Laurentides entre 2003 et 2005 en fonction de la proportion d'axes routiers qu'ils contenaient.28
- Figure 1.8. Estimation de l'abondance (O = aucun insecte, A = présence d'insectes mais sans inconvénient, B = léger harcèlement, C = harcèlement préoccupant, D = harcèlement insoutenable) des insectes hématophages dans la réserve faunique des Laurentides durant cinq périodes de l'été 2004. * = nombres de sites inventoriés.32
- Figure 1.9. Estimation de l'abondance des insectes hématophages dans la réserve faunique des Laurentides durant cinq périodes de l'été 2005. Voir la figure 1.8 pour une description des catégories d'abondance. * = nombres de sites inventoriés.33
- Figure 1.10. Proportion de ramilles broutées aux abords des routes, aux abords des chemins forestiers et dans les peuplements forestiers au cours de l'été 2004 dans la réserve faunique des Laurentides.34
- Figure 1.11. Nombre moyen de tiges (/ha) aux abords des routes asphaltées, aux abords des chemins forestiers et dans les peuplements forestiers au cours de l'été 2004 dans la réserve faunique des Laurentides.35
- Figure 2.1. Schéma illustrant les déplacements effectués par un orignal avant, pendant et après une visite à une source de Na⁺.58

Figure 2.2. Localisations enregistrées aux sources potentielles de sodium.	60
Figure 2.3. Distribution mensuelle de la fréquentation des sources de sodium par les orignaux de la réserve faunique des Laurentides.	62
Figure 2.4. Taux de déplacements pour les trajets précédant (avant), se rendant à (pendant) et quittant (après) une source de sodium.	63
Figure 2.5. Taux de déplacements moyens des orignaux se rendant à une source potentielle de sodium, par mois.	64
Figure 2.6. Superficies moyennes des domaines vitaux mensuels des orignaux au cours du printemps et de l'été dans la réserve faunique des Laurentides. Les orignaux ont été catégorisés selon qu'ils avaient ou non une mare saline dans leur domaine vital.	65
Figure 3.1. Schéma montrant les localisations (●) d'un orignal avant, pendant et après une traversée de route. Les localisations successives ont été reliées par une ligne et le site de traversée a été présumé se trouver à l'intersection entre cette ligne et la route. Le segment durant lequel la traversée a eu lieu (T), ainsi que les segments précédents et suivants (T-3 à T+3) sont identifiés.	87
Figure 3.2. Taux de déplacement de l'orignal durant un déplacement impliquant la traversée d'une route asphaltée ainsi que durant les trois déplacements précédents et suivants.	92

Figure 3.3. Relation entre l'indice de la probabilité de traversée et le nombre d'accidents impliquant un orignal le long des routes 175 et 169 dans la réserve faunique des Laurentides. L'indice de la probabilité de traversée intègre les variables environnementales caractérisant les sites de traversées et la densité locale de l'orignal.95

Figure 4.1. Aire d'étude : la réserve faunique des Laurentides et les routes provinciales 175 et 169 qui la traversent. 117

Figure 4.2. Déplacements annuels des originaux munis d'un collier de télémétrie GPS à proximité de la clôture électrique sur la route 169 dans la réserve faunique des Laurentides. A) l'orignal L30 a traversé la route 1 fois en 2003, avant l'installation de la clôture. B) l'orignal L30 a été stoppé par la clôture électrique en 2005, son domaine vital ayant été confiné à un seul côté de la route. C) l'orignal L29 a traversé la route 5 fois en 2003, avant l'installation de la clôture. D) l'orignal L29 s'est approché de la clôture en 2005 mais ne l'a apparemment pas traversée. Cet individu a traversé la route au sud du secteur clôturé. E) l'orignal L42 a traversé la clôture en 2005, et a possiblement utilisé le passage à faune disponible dans ce secteur. F) l'orignal L51 s'est introduit à l'intérieur du corridor clôturé en 2005 par une ouverture laissée dans la clôture en face d'un lac et il a apparemment traversé la clôture du côté opposé de la route. 119

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Dates de captures, de re-captures ou récupération des colliers des orignaux marqués dans la réserve faunique des Laurentides.....	136
Annexe 2. Nombre de localisations mensuelles enregistrées par animal.....	138
Annexe 3. Domaines vitaux annuels et localisations de chaque orignal (échelle au 1 : 100 000).	140
Annexe 4. Longueur (m) des axes routiers dans les domaines vitaux des orignaux.....	158
Annexe 5. Exemples de domaines vitaux établis par les orignaux suivis dans la réserve faunique des Laurentides.....	159

Introduction générale

Les accidents routiers impliquant la grande faune constituent un problème méconnu du grand public. Au Québec, ces accidents impliqueraient annuellement environ 200 orignaux, 2300 cerfs de Virginie et 40 ours noirs (Munro et al. 2001). De plus, les nombres recensés seraient sous-estimés d'environ 50%. Les accidents les plus dommageables impliquent les orignaux. À cause de la grande taille de ces animaux (300-600 kg), de tels accidents sont souvent mortels pour les automobilistes et entraînent toujours des dommages matériels importants. À titre d'exemple, uniquement dans la réserve faunique des Laurentides et entre 1996 et 2000, les routes 169 et 175 ont été le théâtre de 352 accidents routiers impliquant la grande faune dont 325 étaient dus à l'orignal. Au cours de cette période, le coût estimé pour l'ensemble de ces accidents était d'environ 4,9 millions de dollars. Sur certaines sections des routes 169 et 175, les accidents impliquant la grande faune représentent même plus de 50% de l'ensemble des accidents, toutes causes confondues.

Jusqu'à récemment, la plupart des études ne s'étaient limitées qu'à quantifier le phénomène des accidents routiers impliquant la grande faune. Par exemple, le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec fait un bilan annuel et quelques synthèses ont été réalisées pour les sites les plus problématiques. Devant l'importance des accidents routiers impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides, le ministère des Transports du Québec (MTQ) a mis en place un plan spécial d'intervention qui implique notamment des mesures d'atténuation sur le terrain et l'acquisition de connaissances. Les interventions sur le terrain consistent en l'aménagement des mares salines les plus problématiques, par drainage et enrochement, et à l'installation de clôtures électriques dans des secteurs à risque élevé. Le MTQ

s'est associé au MRNF et à l'université du Québec à Rimouski pour réaliser une évaluation de l'efficacité de ces mesures d'atténuation et pour réaliser le volet « acquisition de connaissances ».

Le premier volet de l'étude conjointe visait à vérifier l'effet de l'aménagement des salines sur le comportement des orignaux et à évaluer leur efficacité pour réduire le nombre d'accidents impliquant l'orignal. Ce volet visait aussi à évaluer l'efficacité des clôtures électriques à maintenir l'orignal éloigné des routes. Le second volet de l'étude, et qui fait l'objet du présent rapport, avait pour objectif de comprendre la dynamique des déplacements des orignaux en bordure des routes dans la réserve faunique des Laurentides. En résumé, nous avons étudié les déplacements de 30 orignaux munis de colliers de télémétrie GPS, pendant 3 ans, dans la portion nord de la réserve faunique des Laurentides. Les positions fréquentes (plusieurs par jour) et précises (environ 10 m) obtenues par les récepteurs GPS dont étaient équipés les colliers, nous ont permis d'étudier la fréquentation des routes et des chemins forestiers par l'orignal, et d'identifier les caractéristiques des sites fréquentés au bord des routes. Nous avons même pu documenter le comportement de certains individus dans les secteurs clôturés.

Nous présentons ci-après le bilan des résultats obtenus avec le suivi télémétrique des orignaux. Le rapport est divisé en 5 sections. Les quatre premières sections ont été rédigées sous le format d'un rapport dans l'optique d'en faire des publications scientifiques rapidement. Dans le premier chapitre, nous étudions la fréquentation des axes routiers et de leurs abords par l'orignal, et nous analysons l'effet de divers facteurs susceptibles d'attirer les orignaux en bordure des routes. Dans le deuxième chapitre, nous avons étudié les patrons d'utilisation des principales sources de sodium par l'orignal, soit les mares salines et les lacs avec plantes aquatiques. Le troisième chapitre présente une analyse du comportement des orignaux lors de

leurs déplacements impliquant une traversée de la route (habitat et déplacements). Dans le quatrième chapitre, nous avons rapporté le comportement de certains orignaux qui ont fréquenté les abords des routes dans les secteurs où une clôture électrique a été installée. Enfin, le cinquième chapitre se veut une synthèse des connaissances acquises dans l'ensemble du projet, ainsi qu'une réflexion sur leur application possible dans un contexte de gestion.

Référence

Munro, D., L. Gignac, G. Lamontagne et D. Jean. 2001. Gros gibier au Québec en 1999 (exploitation par la chasse et mortalités par des causes diverses). Société de la faune et des parcs du Québec.

1. Impacts d'un réseau routier sur l'utilisation de l'espace et de l'habitat par l'original

Catherine Laurian, Réhaume Courtois, Jean-Pierre Ouellet, Christian Dussault,

Marius Poulin et Laurier Breton

Résumé

Les réseaux routiers ont des impacts sur l'environnement et ils induisent des interactions entre les hommes et les animaux. C'est ainsi que plusieurs régions du monde sont actuellement aux prises avec une problématique d'accidents routiers impliquant la grande faune. Cette problématique retient particulièrement l'attention depuis quelques années à cause des pertes en vies humaines, des dégâts matériels coûteux et des effets probables sur l'écologie des espèces fauniques impliquées. Au Québec, les accidents routiers impliquant des orignaux sont les plus graves et comme les populations de cette espèce sont en augmentation, les risques de collisions s'accroissent. Or, il est probable que la vulnérabilité des orignaux aux accidents routiers varie en fonction des comportements des animaux, particulièrement en ce qui concerne leur utilisation de l'espace et des habitats. Afin de proposer des mesures d'atténuation efficaces, il s'avère essentiel de bien comprendre le comportement des orignaux près des routes, ce qui constitue l'objectif de cette étude. Globalement, nous avons émis l'hypothèse que les orignaux évitent les axes routiers mais qu'ils visitent occasionnellement les abords des routes pour s'y alimenter de végétaux riches en sodium et pour éviter le harcèlement des insectes hématophages à l'été. Des orignaux ont été munis de colliers GPS en 2003, 2004 et 2005 dans le nord de la réserve faunique des Laurentides, qui présente deux routes asphaltées et un réseau de chemins forestiers. Dans l'ensemble, les axes routiers furent évités par les orignaux, seulement 328 traversées de routes asphaltées et 1 172 traversées de chemins forestiers ayant été notées sur les 196 710 déplacements enregistrés. Aussi, les orignaux ont évité de traverser les routes asphaltées (16 fois moins qu'attendu) ainsi que les chemins forestiers (10 fois moins qu'attendu) au sein de leurs domaines vitaux. Ces traversées se sont faites essentiellement au printemps et en été, et étaient principalement nocturnes. Nos résultats suggèrent que la fréquentation des abords des routes par les orignaux n'est influencée ni

par l'abondance des insectes hématophages, ni exclusivement par la concentration en Na^+ des plantes qu'ils consomment. Toutefois, les abords des routes asphaltées furent fortement sélectionnés entre 0 et 50 m par certains individus, notamment de mai à août. Cela laisse supposer que c'est essentiellement pour consommer des aliments et surtout de l'eau riche en sodium que les originaux utilisent les abords des routes asphaltées et que, en leur absence, ils éviteraient plutôt les axes routiers jusqu'à au moins 500 m de part et d'autre des routes asphaltées aussi bien que des chemins forestiers.

Introduction

Les réseaux routiers peuvent représenter des barrières infranchissables pour divers organismes et ils constituent une cause de mortalité pour de nombreux groupes taxonomiques, allant des végétaux aux animaux de toutes tailles (Forman et Alexander 1998, Rondinini et Doncaster 2002). Toutefois, bien que certaines espèces parviennent à traverser les routes et utilisent leurs abords, cette incursion de l'être humain dans le milieu naturel se traduit généralement par des effets sur l'habitat (fragmentation, création de nouveaux milieux, pollution) et par l'augmentation des interactions entre l'homme et la faune (accès au territoire, accidents routiers).

Plusieurs régions du monde (par exemple la Scandinavie, l'ouest de l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Australie) sont actuellement aux prises avec une problématique d'accidents routiers impliquant la grande faune, qui s'accroît avec l'augmentation des densités de populations et le développement des réseaux routiers (Groot Bruinderink et Hazebroek 1996, Romin et Bissonette 1996, Seiler et Eriksson 1997, Seiler et al. 2004). Les autorités concernées s'attardent particulièrement à ce problème depuis quelques années, notamment à cause des pertes en vies humaines, mais aussi à cause des coûts reliés aux dégâts matériels et aux soins de santé pour les victimes, ainsi que des effets probables sur l'écologie des espèces impliquées (dynamique des populations, utilisation de l'espace et de l'habitat).

Le nombre de collisions avec les grands mammifères est en augmentation dans les pays industrialisés et serait de l'ordre de plusieurs millions chaque année (Conover et al. 1995, Farrell et al. 1996, Groot Bruinderink et al. 1996, Romin et al. 1996). Au Québec, les accidents routiers

mettant en cause la grande faune impliqueraient annuellement plus de 2300 cerfs de Virginie, 200 orignaux et 40 ours noirs (Munro et al. 2001). Comme dans bien d'autres cas, ces valeurs seraient considérablement sous-estimées, et devraient plutôt être majorées d'au moins 50 % puisque plusieurs accidents ne sont pas rapportés (Farrell et al. 1996, Seiler et al. 2004). À cause de leur grande taille (environ 2 m et 400-600 kg pour un adulte), les collisions impliquant des orignaux sont les plus graves. Et puisque les populations d'orignaux sont en augmentation au Québec depuis l'application d'une réglementation de chasse plus restrictive (Courtois et al. 2003), les risques de collisions s'accroissent. C'est pourquoi le Ministère des Transports du Québec est à la recherche de solutions permettant de réduire l'incidence des accidents routiers avec la grande faune. Dans cette perspective, il apparaît nécessaire de mieux comprendre les relations entre les animaux, et en l'occurrence l'orignal, et les axes routiers majeurs, afin de déterminer si les corridors routiers sont recherchés par ces animaux et pourquoi, dans le but de mettre en place des mesures d'atténuation des risques d'accidents.

Selon Child (1998), la présence de routes pourrait influencer la dynamique des populations d'orignaux en affectant la survie, mais aussi en altérant la répartition du fourrage et du couvert protecteur, les animaux devant adapter leur comportement afin de survivre dans un milieu perturbé. Aussi, l'effet de barrière des axes routiers sur les déplacements et la dispersion pourrait augmenter avec leur largeur et la densité du trafic (Dyer et al. 2002, Forman et al. 1998; Forman et Deblinger 2000, Seiler et al. 1997). Les animaux dont les déplacements sont entravés pourraient alors éviter les axes routiers et les habitats adjacents (Dyer et al. 2002). Toutefois, les axes routiers peuvent servir de voies de déplacement, et leurs abords forment des écotones propices au développement de jeunes feuillus, lesquels représentent une source de nourriture pour les orignaux qui affectionnent les milieux en régénération (Child 1998). De plus, dans des régions

très enneigées comme le Québec, le déglacage des routes peut engendrer une concentration élevée de sodium dans les végétaux proches de celles-ci. Or, les orignaux sont en déficit sodique à la fin de l'hiver et ils pourraient rechercher des aliments riches en sodium au printemps et en été pour satisfaire leurs besoins métaboliques (Grenier 1974-1980). Il a également été suggéré qu'en été, certains animaux pourraient fréquenter les routes, un milieu généralement plus venteux, pour échapper au harcèlement des insectes hématophages, ce qui accentuerait les risques de collisions à cette période (Kelsall et Simpson 1987).

L'objectif de la présente étude était d'examiner les effets d'un réseau routier sur la taille des domaines vitaux et la sélection de l'habitat par l'orignal. Globalement, nous émettons l'hypothèse que les orignaux éviteront les axes routiers. Toutefois, ils visiteront occasionnellement les abords des routes pour s'y alimenter parce que les végétaux y sont relativement plus abondants et plus concentrés en sodium que dans la forêt adjacente et parce que les insectes hématophages y sont moins abondants en été. Afin de vérifier cette hypothèse, six prédictions furent testées : 1) les orignaux évitent le réseau routier, que ce soit à l'échelle du paysage (ils préfèrent établir leur domaine vital dans un secteur où la densité de routes est faible) ou à l'échelle dans leur domaine vital (ils évitent de fréquenter les axes routiers présents dans leur domaine vital); 2) les orignaux évitent les axes routiers, et particulièrement les secteurs proches des routes principales, là où le trafic et la vitesse sont plus élevés; 3) les routes asphaltées sont susceptibles de créer une barrière aux déplacements des orignaux et ainsi de se retrouver davantage en périphérie qu'à l'intérieur de leurs domaines vitaux; 4) la taille du domaine vital d'un orignal augmente avec la proportion d'axes routiers qu'il contient, pour contrer la perte effective d'habitat correspondante; 5) en été, les routes et leurs abords immédiats sont davantage utilisées lors des pics d'abondance d'insectes hématophages; et 6) les plantes des abords des

routes principales étant plus concentrées en sodium (routes déglacées en hiver), les orignaux consomment davantage les végétaux près des routes que ceux situés en forêt.

Site d'étude

L'étude s'est déroulée dans la partie nord de la réserve faunique des Laurentides, à une centaine de kilomètres au nord de la ville de Québec (figure 1.1). Deux routes, la 175 en direction de la ville de Saguenay et la 169 vers Alma traversent le secteur d'une superficie d'environ 1 800 km². La roche mère granitique est typique de celle rencontrée partout sur le bouclier canadien et le paysage est composé d'une forêt mélangée ou résineuse. Les précipitations de neige les plus abondantes recensées au Québec sont enregistrées dans la réserve, et sont de l'ordre de 400 à 700 cm par hiver selon les endroits. Afin de permettre la circulation des automobiles et des poids lourds, le déneigement et le déglacage des routes sont régulièrement pratiqués l'hiver. La topographie accidentée rend la conduite hivernale très dangereuse sur ces routes (Jolicoeur et Crête 1994).

Le principal cervidé présent dans le secteur d'étude est l'orignal dont la densité atteignait 0,45/km² à la fin des années 1990 dans le parc de la Jacques Cartier, un secteur voisin (Laurian et al. 2000). Le caribou et le cerf de Virginie sont parfois observés mais leur densité est inconnue. Les autres représentants de la grande faune sont le loup (0,44/100 km², Jolicoeur 1998) et l'ours noir (0,22/km², Jolicoeur et al. 1993). Soixante à 70 accidents routiers impliquant des orignaux sont recensés chaque année, essentiellement durant la période estivale (Dussault et al., sous presse).

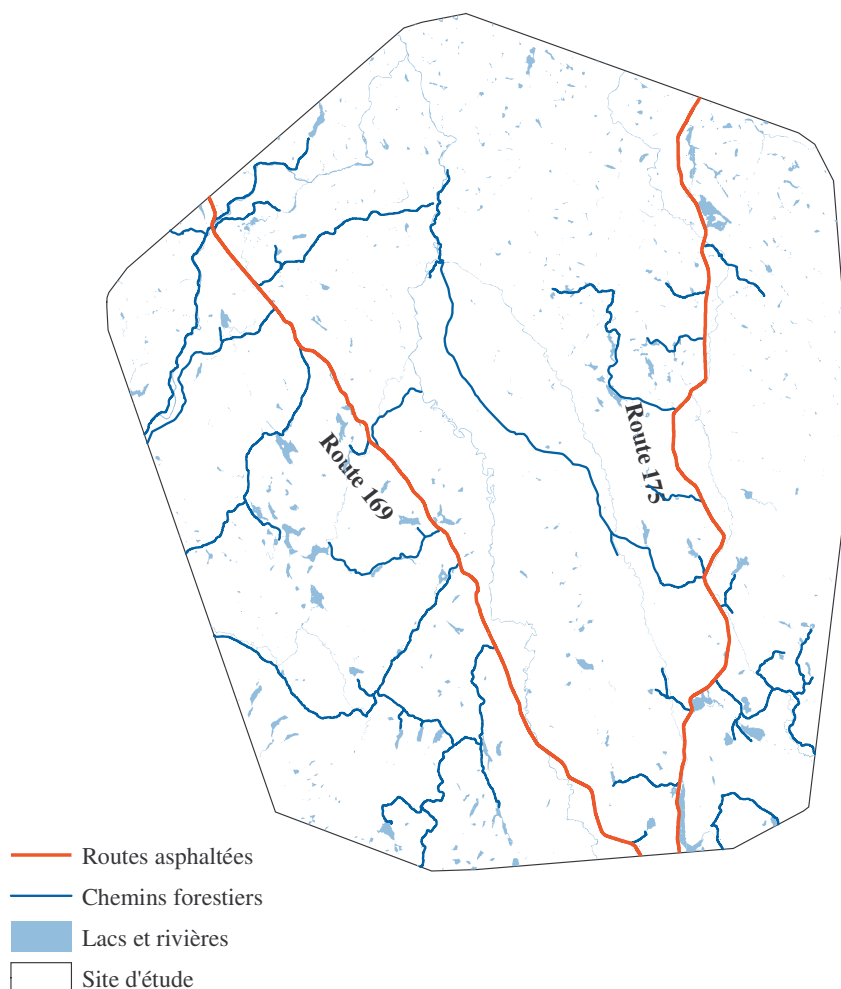


Figure 1.1. Le site d'étude est situé au nord de la réserve faunique des Laurentides (Québec, Canada).

Matériel et méthodes

Capture et télémétrie

La première étape a été de repérer les orignaux présents dans une bande de 2 km de part et d'autre des routes 175 et 169. Pour pouvoir répondre aux objectifs de la recherche, environ 65% des animaux capturés ont été marqués dans cette bande de 2 km afin d'obtenir un échantillon

suffisant d'individus susceptibles d'entrer en contact avec l'une des routes principales. Des colliers GPS (Lotek Wireless Inc., Newmarket, Ontario, Canada) ont permis de recueillir un grand nombre de localisations d'une grande précision, aussi bien de jour que de nuit et quelles que soient les conditions météorologiques (Rodgers et al. 1996).

Un premier groupe de 30 orignaux adultes (22 femelles et 8 mâles de 2,5 ans et plus) a été muni de colliers en janvier et février 2003 (figure 1.2, annexe 1). Entre janvier et mars 2004, 17 orignaux furent capturés de nouveau pour télécharger les données et remplacer les batteries de leurs colliers. Puis des colliers ont été placés sur 12 nouvelles bêtes (6 mâles et 6 femelles) (figure 1.2) pour remplacer une partie des animaux morts durant l'année ($n = 8$) ou les colliers qui n'ont pu être récupérés suite à des problèmes techniques ($n = 6$). De façon comparable, entre janvier et mars 2005, 18 colliers (sur 4 mâles et 14 femelles) ont été remplacés (batteries changées) et 13 nouvelles bêtes ont été marquées. Puis entre janvier et avril 2006, tous les colliers qui émettaient encore ($n = 29$) ont été récupérés.

Les colliers GPS (20 colliers Lotek 2200L et 10 colliers Lotek 3300S en 2003, 21 colliers 2200L et 8 colliers 3300L en 2004, ainsi que 23 colliers 2200L et 8 colliers 3300L en 2005) ont été programmés pour prendre une localisation toutes les deux heures, sauf pour les 3300S qui se localisaient aux trois heures entre début septembre et fin mars 2003. Les colliers étaient équipés d'un émetteur VHF muni d'un dispositif causant l'accélération de la fréquence d'émission après sept heures d'immobilité totale, permettant ainsi l'identification des animaux morts. Au moins dix séances de repérages VHF ont été effectuées en avion (Laurian et al. 1996) durant les trois années de suivi afin d'identifier les colliers émettant en mode mortalité ou défectueux.

Traitement des données

Le comportement des orignaux par rapport aux axes routiers fut analysé en reportant les localisations GPS des animaux sur des cartes écoforestières numérisées au 1: 20 000, incluant le réseau routier et l'hydrographie, à l'aide d'un système d'information géographique (SIG ; logiciel ArcGis 9.0, Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, Californie). Seuls les chemins forestiers carrossables ont été utilisés pour effectuer les analyses car ceux-ci sont susceptibles d'occasionner un certain dérangement à l'original. Les domaines vitaux annuels (i.e. entre deux captures) de chaque orignal ont été calculés avec la méthode du MCP (Minimum Convex Polygon) à 100 %. L'aire d'étude a été délimitée en calculant un MCP à 100 % avec l'ensemble des localisations enregistrées au cours de l'étude (figure 1.1).

Les orignaux recherchent-ils les axes routiers ?

Traversées des axes routiers

La fréquence réelle de traversée des axes routiers fut comparée à la fréquence de traversées simulées (Dyer et al. 2002) à l'aide du logiciel ArcInfo, afin de vérifier si les orignaux sont attirés ou s'ils évitent les routes (i.e. voie de communication asphaltée) ou les chemins forestiers (i.e. voie de communication, gravelée ou en terre battue, d'importance secondaire par rapport à la route) à l'intérieur du site d'étude d'une part (i.e. échelle du paysage) et à l'intérieur des domaines vitaux d'autre part (i.e. échelle du domaine vital). Ainsi, les routes et les chemins forestiers ont été déplacés 100 fois aléatoirement dans l'ensemble de l'aire d'étude, formant 100 structures linéaires fictives de longueurs et de directions identiques aux axes routiers réels. La même orientation a été conservée pour les axes routiers aléatoires afin de respecter les contraintes topographiques (par exemple, orientation des grandes vallées) qui ont influencé le tracé des routes et des chemins forestiers.

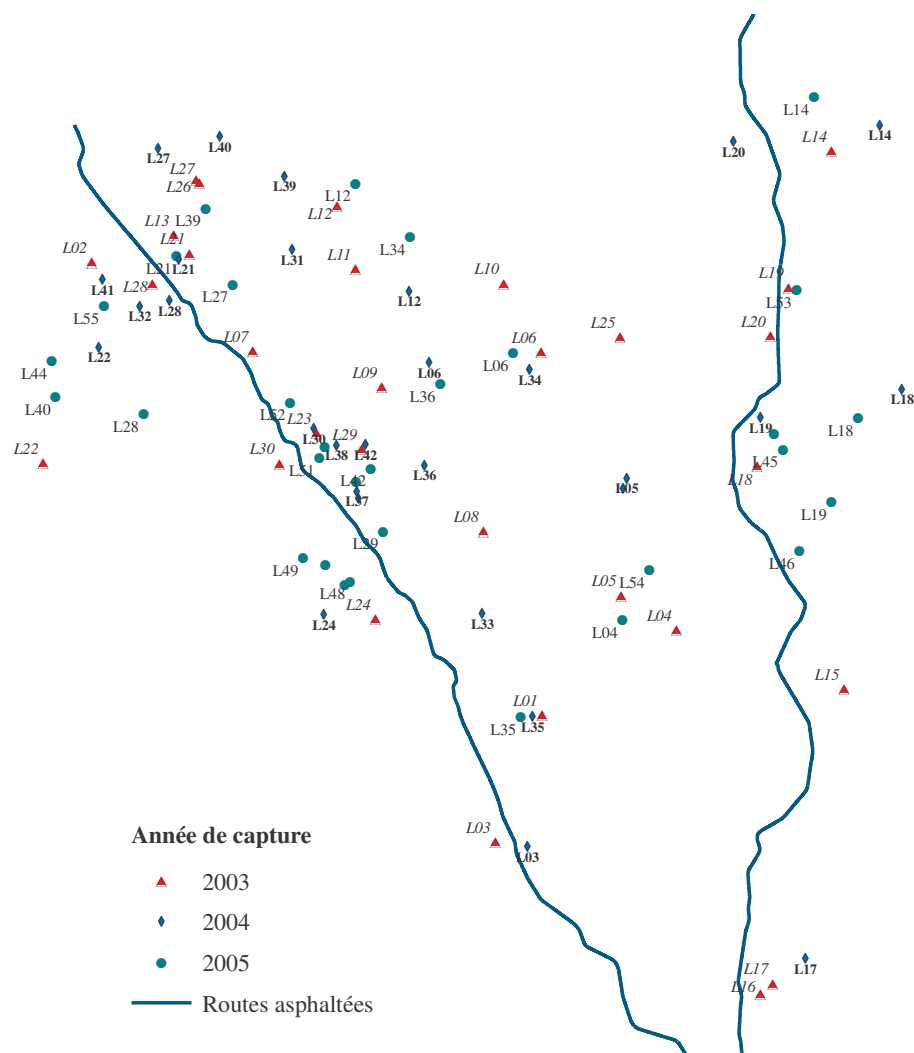


Figure 1.2. Localisation des sites de capture des oryzae dans la réserve faunique des Laurentides.

Le nombre d'intersections entre chacun des axes (routes et chemins forestiers réels et aléatoires) et les trajectoires de chaque animal a été comptabilisé et reporté en nombre de traversées par kilomètre d'axe routier. Le même genre d'exercice a été réalisé à l'échelle du domaine vital en effectuant 100 permutations aléatoires des routes et chemins forestiers présents dans chacun des domaines vitaux. Dans ce second cas, seuls les animaux présentant une portion

d'axe routier au sein de leur domaine vital ont été considérés. Des analyses de variance ont permis d'estimer l'influence du type d'axe routier (i.e. route ou chemin forestier) et de leur statut (i.e. réel ou aléatoire) sur le nombre de traversées de ces structures linéaires. L'individu et l'année ont été inclus comme facteurs aléatoires dans le modèle. Une transformation logarithmique ($+ 0,001$) du nombre de traversées par kilomètre fut effectuée aux deux échelles, afin de respecter les conditions d'application de l'ANOVA. Puis, la répartition circadienne des traversées de routes a été analysée mensuellement à l'aide de tests de χ^2 . Dans ce cas, la nuit comprenait les heures nocturnes, ainsi que l'aube et le crépuscule, l'acuité visuelle des automobilistes étant alors réduite.

Fréquentation des axes routiers et des zones adjacentes

Pour estimer la préférence des secteurs proches des routes ou des chemins forestiers par les orignaux, des bandes de 0 à 50 m, 50 à 250 m, 250 à 500 m, 500 à 1 000 m, 1 000 à 1 500 m et 1500 à 2 000 m furent générées de part et d'autre de chaque axe routier à l'aide du logiciel ArcInfo. La largeur de la route asphaltée était de 20 m (après mesures) alors que la partie gravelée des chemins forestiers fut estimée à 6 m. Pour chacun des domaines vitaux annuels, un indice de sélection fut calculé pour chaque zone (i.e. proportion des points de localisation d'un animal donné dans une zone donnée / proportion de la superficie de cette même zone dans le domaine vital). Des ANOVAS ont permis de tester l'effet de la distance par rapport à la route (les différentes bandes) sur l'indice de sélection d'habitat. L'année et l'individu ont été inclus comme facteurs aléatoires dans le modèle. Des analyses séparées ont été réalisées pour les routes asphaltées d'une part et les chemins forestiers d'autre part. Dans les deux cas, l'indice de sélection a été transformé ($\ln x + 0,001$). Puis, la répartition temporelle et circadienne des localisations enregistrées sur les routes asphaltées ou à leurs abords (i.e. dans chacune des

bandes) au cours des trois années de suivi a été examinée à l'aide de tests de χ^2 . Les localisations enregistrées à l'aube et au crépuscule ont été incluses dans la période nocturne.

Présence des axes routiers en périphérie des domaines vitaux

La densité de routes et de chemins forestiers a été estimée à l'intérieur d'une bande de 500 m en périphérie de chaque domaine vital. Pour établir un point de comparaison, la disponibilité a été évaluée dans cette même surface en utilisant les 100 permutations aléatoires générées dans l'aire d'étude à l'étape précédente. Les densités observées et aléatoires de routes et de chemins forestiers ont été comparées dans les bandes entourant les domaines vitaux à l'aide d'ANOVAS. Afin de normaliser la distribution des résidus, la variable dépendante a subi une transformation ($\ln x + 0,001$) pour les chemins mais pas pour les routes. La densité observée d'axes routiers a également été comparée entre l'intérieur et la périphérie des domaines vitaux. Dans ce dernier cas, les transformations $\ln (x + 0,001)$ et racine carrée ont été utilisées sur la densité de routes et de chemins forestiers, respectivement, afin de satisfaire les conditions d'application de l'ANOVA. Pour toutes ces analyses, les facteurs année et individu ont été utilisés en tant que facteurs aléatoires.

Influence de la présence des axes routiers sur la superficie des domaines vitaux

Une régression linéaire a été calculée entre la superficie des domaines vitaux ($\ln x$) et la proportion de routes et de chemins forestiers ($\ln x + 0,01$) qu'ils incluaient. Les individus n'ayant des localisations qu'à l'hiver n'ont pas été utilisés dans l'analyse puisque les déplacements sont très restreints durant cette période. Une seule analyse regroupant les routes et les chemins forestiers a été réalisée afin d'augmenter la taille de l'effectif, tous les domaines vitaux ne contenant pas les deux types d'axes routiers.

Qu'est ce qui inciterait les orignaux à utiliser les axes routiers ?

Les insectes hématophages

Pour estimer l'abondance en insectes hématophages (tabanidés, mouches noires et moustiques), des estimations de harcèlement (O = aucun insecte, A = présence d'insectes mais sans inconvénient, B = léger harcèlement, C = harcèlement préoccupant, D = harcèlement insoutenable) furent effectuées durant les étés 2004 et 2005, entre le 1er juin et le 15 août. Ce dénombrement a été réalisé tous les deux à quatre jours dans 18 stations fixes. Des échantillonnages appariés furent effectués, la moitié des stations étant localisées en bordure de routes asphaltées (< 10 m) alors que les autres étaient en forêt. Les données recueillies ont été réparties en cinq périodes de deux semaines, soit du 1er au 15 juin, du 16 au 30 juin, du 1er au 15 juillet, du 16 au 31 juillet et du 1er au 15 août. Des tests de χ^2 ont permis d'estimer l'influence de la période et du type d'habitat (i.e. bordure de route ou forêt) sur la distribution de fréquence des catégories de harcèlement. Parallèlement, un indice de sélection de la route a été calculé pour tous les orignaux ayant une route asphaltée dans leur domaine vital, et ce pour chaque période de deux semaines. Une ANOVA à mesures répétées a permis de tester les effets de la période et de la catégorie d'habitat (bord de la route vs forêt) sur l'indice de sélection (suite à sa transformation en racine carrée). L'individu a été inclus dans le modèle en tant que facteur aléatoire et les deux années ont été analysées séparément.

Le sodium dans les végétaux et la consommation de nourriture

Afin de déterminer la teneur en minéraux de la végétation des accotements routiers, des prélèvements de feuilles et de ramilles ont été effectués les 29 juin, 1^{er} août et 7 septembre 2005 sur trois essences très utilisées par l'orignal [bouleau à papier (*Betula papyrifera*), peuplier faux tremble (*Populus tremuloïdes*) et saules (*Salix* spp.)] dans 15 sites en bordures de routes déglaçées en hiver et dans 15 sites en bordures de chemins forestiers, distants d'au moins 200 m des routes asphaltées. Les végétaux étaient situés entre 0 et 10 m de la bordure asphaltée ou gravelée de la route ou du chemin. Les parties des plantes prélevées étaient accessibles pour l'orignal (entre 0,5 et 3 m du sol). Chaque échantillon a été séché à 70 °C pendant 48 heures puis broyé, réduit en cendres (500°C pendant 12 heures) et dissous dans 5 ml d'une solution d'acide chlorhydrique à 20 %. Le soluté obtenu a été filtré puis dilué avec de l'eau distillée, pour obtenir un volume total de 50 ml. Pour les analyses de concentrations en sodium, des solutions standard ICP contenant 100 ppm de Na⁺ furent préparées. La longueur d'onde utilisée a été de 588,995 nm. Pour chaque échantillon, cinq réplicats ont été analysés. Des ANOVAS ont permis de comparer les concentrations en sodium dans les végétaux ($\ln x + 0,001$) selon leur emplacement et selon la date de prélèvement, et ce pour chacune des essences végétales récoltées.

Le taux d'utilisation de la végétation par les orignaux a été estimé en notant la proportion de ramilles broutées (0 à 5 %, 6 à 20 %, 21 à 40 %, 41 à 60 %, 61 à 80 %, 81 à 94 % et 95 à 100 %) dans un rayon de 10 m aux alentours des parcelles d'inventaires de végétation dans 14 peuplements répartis dans les huit catégories d'habitats suivantes : peuplements mixtes ou feuillus de 0 à 20 ans, peuplements mixtes ou feuillus de 20 à 40 ans, peuplements mixtes ou feuillus de plus de 40 ans, peuplements résineux de 0 à 20 ans, peuplements résineux de plus de 20 ans, bordure de route comprise entre 0 et 50 m de la route asphaltée, bordure de chemin

forestier comprise entre 0 et 50 m du chemin, et autres incluant les lacs, les rivières, les gravières et tous les milieux improductifs. Les classes de 6 à 60 % de broutement ont été regroupées pour les analyses. Des tests de χ^2 ont permis d'estimer la variation du taux de broutement entre les bordures de routes ou de chemins forestiers (dans les 50 m de part et d'autre de l'axe routier) et le milieu forestier (> 50 m d'un axe routier), et ce pour les peuplements à dominance de feuillus et de résineux séparément. Aussi, durant les inventaires de végétation, la quantité de nourriture disponible pour les orignaux a été estimée dans deux parcelles (1 m x 10 m) distantes de 30 m dans chacun des peuplements. Un décompte du nombre de tiges de chacune des essences végétales présentes fut réalisé. Un test de Kruskal-Wallis a permis de comparer les quantités de nourriture disponibles entre les milieux proches des routes, des chemins ou en forêt, afin de comprendre si la proportion de ramilles broutées dépendait de la quantité de nourriture présente.

Résultats

Les marquages des orignaux furent effectués à une distance moyenne de $3,32 \pm 0,27$ km (entre 0,3 et 11 km) de la route asphaltée la plus proche (i.e. la route 169 ou 175). Ainsi, considérant la superficie du domaine vital d'un orignal, nous estimons que tous les animaux avaient la possibilité de fréquenter les deux types d'axes routiers (route asphaltée ou chemin forestier) présents dans l'aire d'étude.

Tous les individus n'ont pas été suivis sur une période équivalente, que ce soit suite à une défectuosité du collier (avec parfois plusieurs mois d'absence d'enregistrements, notamment en 2003; 9 orignaux) ou parce que l'animal est mort (annexe 2; 22 orignaux). Ainsi, 29 individus ont été suivis avec succès durant toute ou une partie d'une année, 11 durant deux années et 7 durant

trois années, chacun d'eux ayant permis de récolter des localisations pour un minimum de deux mois et un maximum de 36 mois. Sur les 55 originaux qui furent marqués, 47 ont permis de récolter 196 782 localisations, soit quelque 65 600 localisations par année. De 546 à 10 447 localisations, soit en moyenne $4\,187 \pm 349$ localisations, ont été récoltées par individu. Et sur les trois années de suivi, 72 domaines vitaux annuels ont pu être calculés (annexe 3).

Traversées des axes routiers

Sur les 47 originaux suivis, 19 n'ont jamais traversé une route asphaltée et 11 n'ont pas traversé de chemin forestier (durant plusieurs années pour certains individus, annexe 4). Parmi les 45 originaux dont le domaine vital chevauchait au moins un type d'axe routier, sept (15 %) n'ont jamais traversé de route asphaltée et cinq (11 %) de chemin forestier au cours de l'une ou l'autre des années considérées (annexe 5). Et sur l'ensemble des 196 710 déplacements enregistrés, seulement 328 traversées de routes et 1 172 traversées de chemins forestiers furent dénombrées, avec très peu de traversées/km d'axe routier (tableau 1), que ce soit à l'échelle du paysage ou du domaine vital. Ainsi, un évitement manifeste des axes routiers a été constaté, quelle que soit l'échelle considérée, puisque nous avons observé beaucoup moins de traversées que si les originaux s'étaient déplacés au hasard ($P < 0,0001$; tableaux 1 et 2), notamment à l'échelle du domaine vital où les routes et les chemins ont été traversés 16 fois et 10 fois moins qu'attendu, respectivement (tableau 1).

À l'échelle du paysage, les routes ont été moins traversées que les chemins, ce qui n'a pas été le cas à l'échelle du domaine vital où l'évitement des deux types d'axes était comparable. Aussi, l'interaction entre le type d'axe routier et son statut était significative ($P < 0,0001$) à l'échelle du paysage.

Tableau 1.1. Nombre moyen de traversées par kilomètre d'axe routier ($\pm$ erreur type) par les orignaux suivis par télémétrie dans la réserve faunique des Laurentides de 2003 à 2005, à deux échelles spatiales.

Échelle	Axe routier	Observé	Attendu	Différence (%)
Paysage	Routes asphaltées	0,05 $\pm$ 0,01	0,11 $\pm$ 0,01	54,55
	Chemins forestiers	0,06 $\pm$ 0,01	0,11 $\pm$ 0,01	50,00
Domaine vital	Routes asphaltées	1,85 $\pm$ 0,39	30,53 $\pm$ 21,25	93,94
	Chemins forestiers	1,85 $\pm$ 0,23	18,33 $\pm$ 14,19	89,91

Tableau 1.2. Résultats des ANOVAS sur les traversées d'axes routiers à deux échelles spatiales.

Échelle	Facteurs	dl	F	P
Paysage	Type d'axe ^a	1	5,96	0,01
	Statut ^b	1	169,11	< 0,0001
	Type d'axe* Statut	1	5,48	0,02
Domaine vital	Type d'axe	1	0,29	0,59
	Statut	1	70,16	< 0,0001
	Type d'axe * Statut	1	1,76	0,19

^a route asphaltée ou chemin forestier

^b réel ou aléatoire

C'est au cours du mois de mai que le plus grand nombre de traversées de routes a été enregistré ($n = 75$), suivi des mois de juin et juillet ($n = 56$ et 54 traversées respectivement), août, septembre octobre et avril (figure 1.3). C'est donc au printemps et en été que les orignaux ont le plus traversé une route asphaltée.

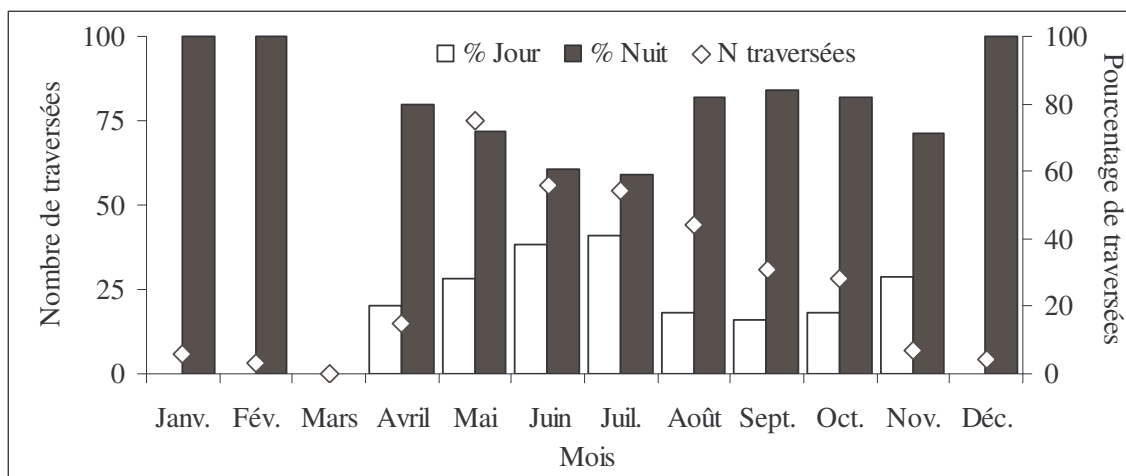


Figure 1.3. Nombre de traversées mensuelles et répartition circadienne.

Durant les mois de janvier, février, novembre et décembre, les traversées ont été très peu nombreuses (n compris entre 3 et 7), d'où une différence inter-mensuelle marquée ($\chi^2 = 211,44$, $dl = 10$, $P < 0,0001$, $n = 323$). Les traversées de routes se sont essentiellement produites la nuit (figure 1.3), pour la plupart des mois ($P \leq 0,02$). Toutefois, il y eut une proportion équivalente de traversées diurnes et nocturnes durant les mois de juin ($\chi^2 = 2,57$, $dl = 1$, $P = 0,11$, $n = 56$) et juillet ($\chi^2 = 1,85$, $dl = 1$, $P = 0,17$, $n = 54$).

Fréquentation des axes routiers et de leurs abords

La fréquentation des axes routiers et des zones adjacentes n'était pas aléatoire puisque l'indice de sélection moyen était généralement significativement différent de 1 (figure 1.4), et ce dans le sens d'une sous-utilisation des axes routiers et de leurs abords. Des différences significatives ont été observées entre les zones ($F_{6,345} = 35,80$, $P < 0,001$, $n = 396$ pour les routes et leurs abords; $F_{6,402} = 77,54$, $P < 0,001$, $n = 457$ pour les chemins forestiers et leurs abords). Dans les deux cas, les différences les plus importantes se situaient au niveau des axes routiers

eux-mêmes, la fréquentation des routes et des chemins forestiers étant respectivement environ 15 et 6 fois moins élevée qu'attendue. Ces résultats supportent ceux obtenus en considérant les traversées des axes routiers (figure 1.4).

Bien que la zone située entre 0 et 50 m ait, en moyenne, été évitée, certains originaux l'ont considérablement sur-utilisée. En effet, la valeur de l'indice de sélection était très élevée pour quatre individus (L05 en 2003, L06 en 2003, 2004 et 2005; L14 en 2003 et L25 en 2003) puisque compris entre 7,83 et 393,24 (pour L25) et, moindrement pour quatre autres individus (L22 en 2003, L33 en 2004, L42 en 2004 et L45 en 2005) qui avaient un indice de sélection compris entre 1,06 et 1,79. Cette zone restreinte a été visitée entre une et neuf fois par les individus ayant les indices de sélection les plus élevés. Tous les autres animaux ($n = 30$ animaux ou 43 individus-année) ont plutôt évité cette zone ($0 < \text{indice} < 0,83$).

Quant aux zones plus éloignées des axes routiers, que ce soit de part et d'autre des routes ou des chemins forestiers, elles furent évitées jusqu'à 500 m, voire jusqu'à 1 000 m de part et d'autre des chemins forestiers (figure 1.4). Au-delà, le milieu a été utilisé de façon comparable à sa disponibilité (de 500 à 1 000 m de part et d'autre des routes et de 1 000 à 2 000 m de part et d'autre des chemins forestiers). En résumé, les axes routiers et leurs abords ont généralement été évités, jusqu'à 500 m au moins, bien que certains originaux aient considérablement utilisé la zone comprise entre 0 et 50 m de part et d'autre des routes asphaltées.

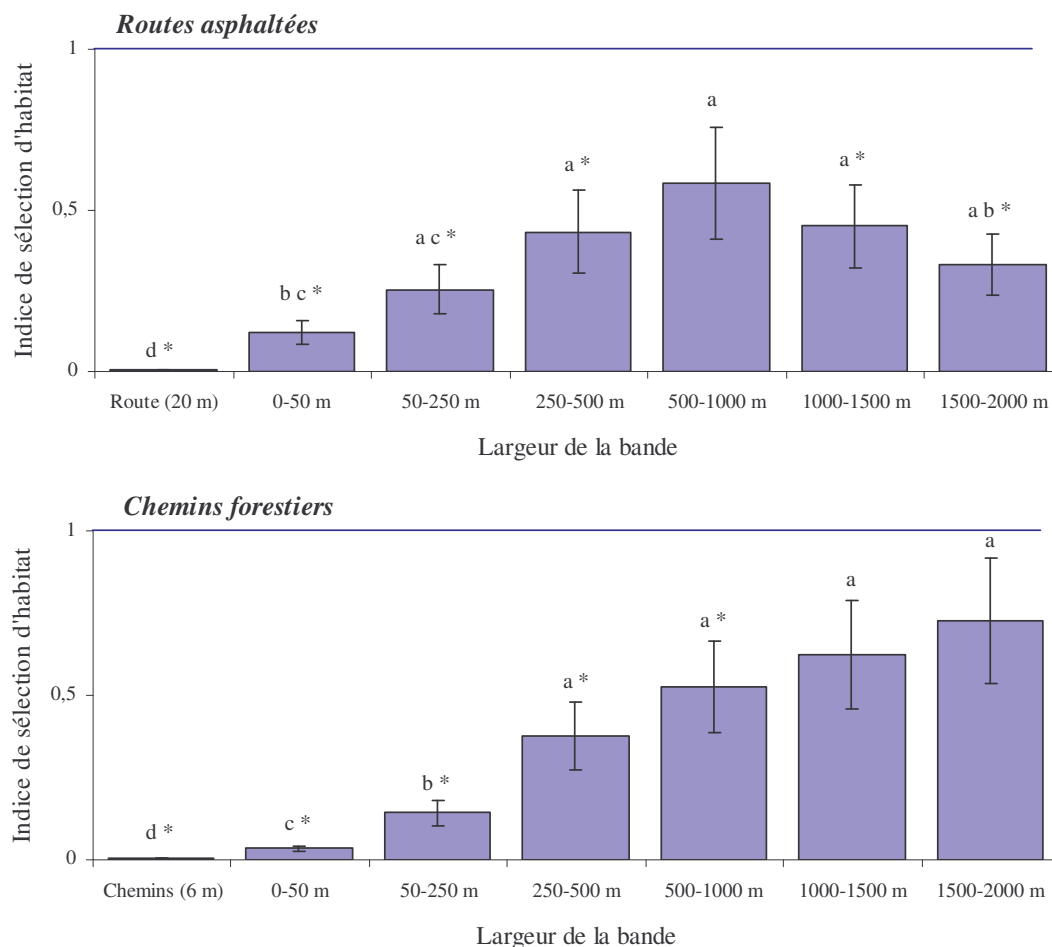


Figure 1.4. Indices de sélection moyens des axes routiers et leurs abords ($\pm$ erreur type) dans les domaines vitaux des orignaux de la réserve faunique des Laurentides de 2003 à 2005. Les astérisques indiquent que l'indice de sélection est statistiquement différent de 1, correspondant à une sélection (>1) ou un évitement (<1 ; cas actuel) de la zone considérée alors que les lettres différentes représentent les catégories entre lesquelles il y a des différences statistiques significatives.

La répartition temporelle des localisations au niveau des routes et de leurs abords fut variable ($\chi^2 = 2\,392,23$, $P < 0,0001$, $n = 70\,195$). Pour les bandes les plus proches de la route (entre 0 et 500 m), c'est essentiellement en mai et juin qu'elles ont été fréquentées, alors qu'elles

ont plutôt été délaissées en hiver (figure 1.5). Dans tous les cas, ces bandes ont été moins visitées que les bandes plus éloignées (jamais plus de 15 % des localisations enregistrées en un mois donné, par rapport aux autres bandes). Au-delà de 500 m, les pics sont moins marqués, les bandes ayant été fréquentées de façon relativement similaire tout au long de l'année (figure 1.5).

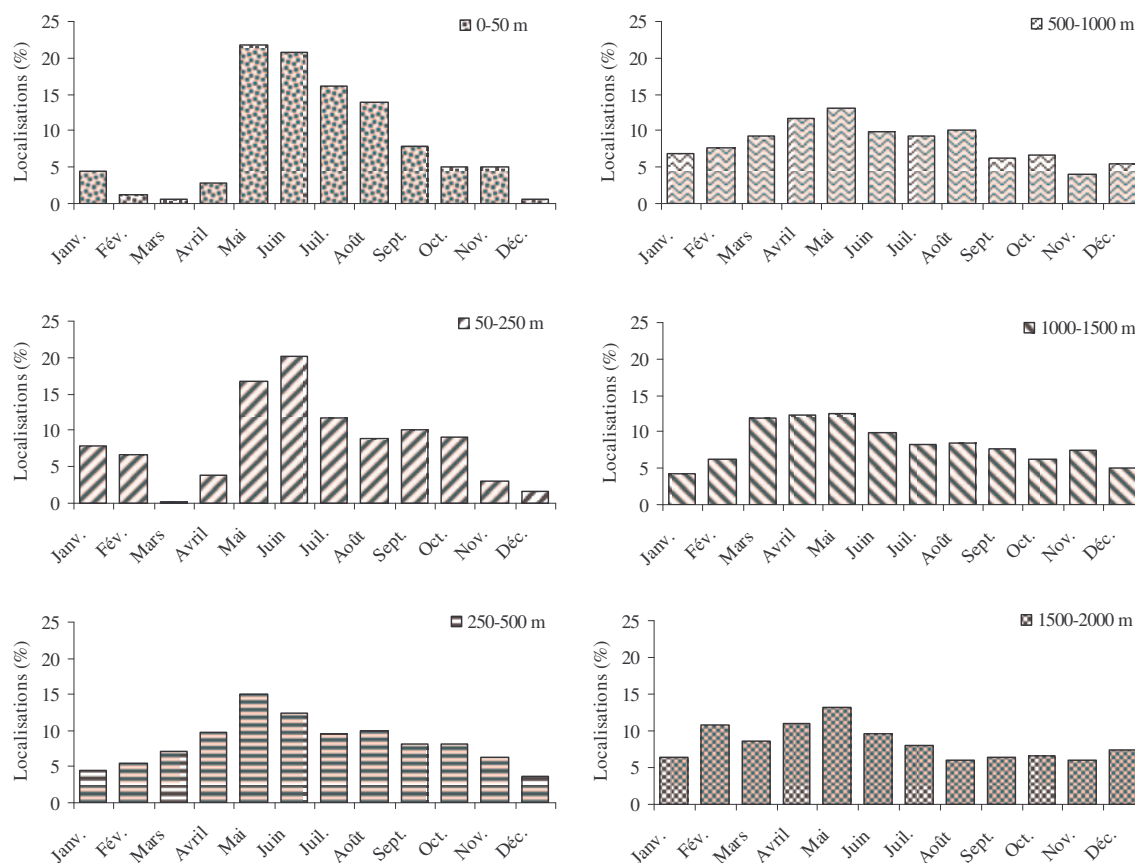


Figure 1.5. Répartition mensuelle des localisations enregistrées dans chacune des bandes adjacentes aux routes asphaltées. Note : le nombre de localisations enregistrées directement sur les routes elles-mêmes ($n=19$) étant très faible, la distribution temporelle n'est pas représentée.

C'est essentiellement la nuit que les différentes bandes ont été fréquentées, mais la répartition circadienne des localisations enregistrées a changé selon la période de l'année (figure 1.6). En effet, entre mai et août, la fréquentation des abords des routes était environ à moitié diurne et à moitié nocturne (figure 1.6) alors que c'était beaucoup plus nocturne le restant de l'année.

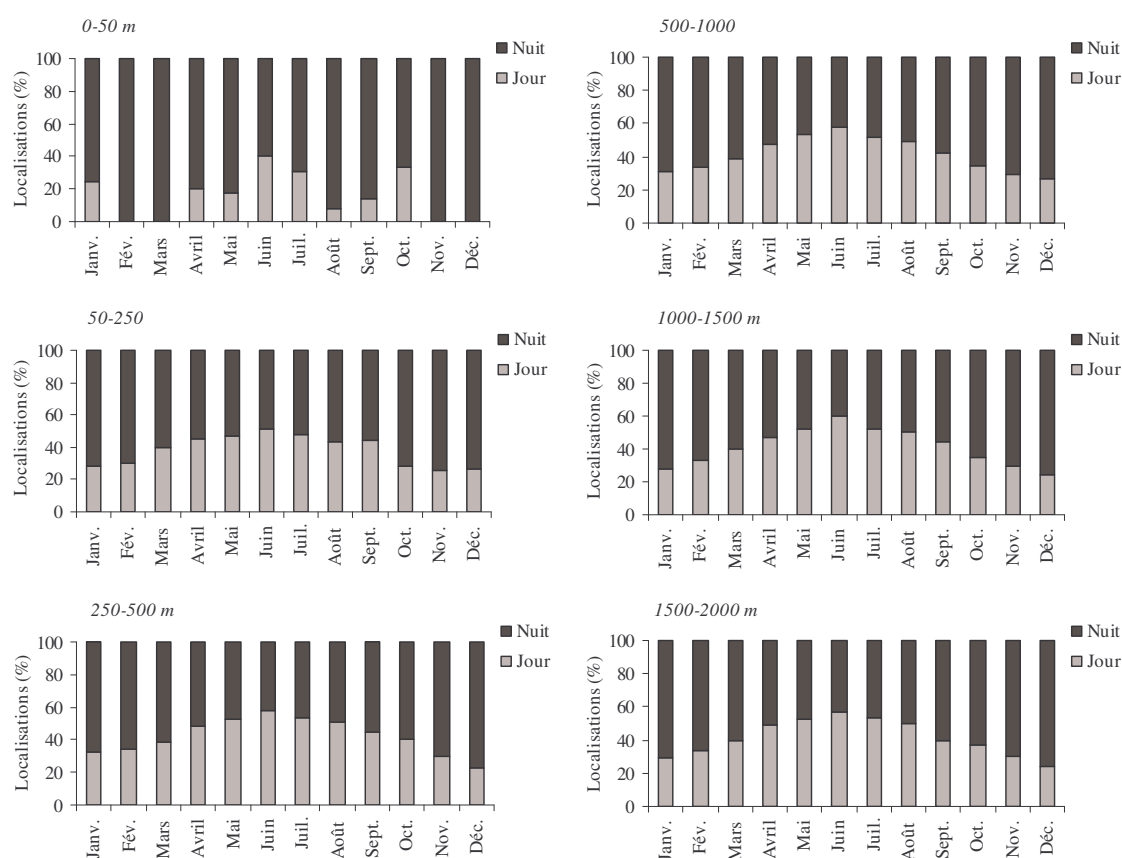


Figure 1.6. Répartition circadienne, par mois, des localisations enregistrées dans chacune des bandes adjacentes aux routes asphaltées.

Bien que cette distribution soit moins marquée pour la bande 0-50 m, il y a tout de même eu une plus grande fréquentation diurne de cette zone durant l'été (juin et juillet notamment). Toutefois, en mai ($\chi^2 = 24,54$, $P = 0,0004$, $n = 9\,336$), en juin ($\chi^2 = 19,60$, $P = 0,001$, $n = 7\,391$), en août ($\chi^2 = 24,12$, $P = 0,0005$, $n = 6\,064$), en septembre ($\chi^2 = 14,75$, $P = 0,02$, $n = 4\,981$) et en octobre ($\chi^2 = 15,67$, $P < 0,01$, $n = 4\,725$), des différences significatives entre bandes sont apparues. Elles sont dues à une sur-fréquentation nocturne de la bande 0-50 m en mai, août et septembre, alors que les autres bandes ont été fréquentées à peu près autant de jour que de nuit. En juin, les bandes situées entre 500 et 2 000 m ont été plus fréquentées durant la journée alors que c'était l'inverse plus près des routes et en octobre, la zone située entre 250 et 500 m a été plus visitée durant la journée proportionnellement aux autres bandes. Pour les autres mois de l'année aucune différence de la distribution circadienne des localisations entre bandes ($P > 0,1$) n'est apparue.

Influence des axes routiers sur la superficie des domaines vitaux

La superficie des axes routiers à l'intérieur des domaines vitaux ne représentait jamais plus de 0,54 % de la superficie de ces derniers (moyenne de $0,22 \pm 0,02$ %). Toutefois, la superficie des domaines vitaux augmentait en fonction de la proportion des axes routiers qui les traversaient ($F_{1,66} = 6,80$; $P = 0,01$, $n = 68$), bien que la proportion de la variance expliquée par cette variable ait été relativement faible ($R^2 = 0,09$; figure 1.7). La relation est principalement due à cinq animaux ayant peu d'axes routiers dans leur domaine vital.

Présence d'axes routiers en périphérie des domaines vitaux

Qu'il s'agisse des routes asphaltées ($F = 3\,022,66$, $P_{1,94} < 0,0001$, $n = 144$) ou des chemins forestiers ($F_{1,94} = 293,06$, $P < 0,0001$, $n = 144$), leur densité dans les bandes de 500 m en

périphérie des domaines vitaux était toujours significativement moindre qu'attendu si les originaux s'étaient déplacés au hasard (tableau 1.3). De même, les routes ($F_{1,94} = 235,51$, $P < 0,0001$, $n = 144$) et les chemins forestiers ($F_{1,94} = 20\,124,7$, $P < 0,0001$, $n = 144$) étaient moins abondants qu'attendus à l'intérieur des domaines vitaux. Ainsi, la densité d'axes routiers était faible au sein des domaines vitaux des originaux mais aussi en leurs périphéries. Par contre, la densité de routes asphaltées était supérieure en périphérie par rapport à l'intérieur des domaines vitaux ($F_{1,94} = 24,77$, $P < 0,0001$, $n = 144$), ce qui n'était pas le cas pour les chemins forestiers ($F_{1,94} = 1,17$, $P = 0,28$, $n = 144$) (tableau 1.3).

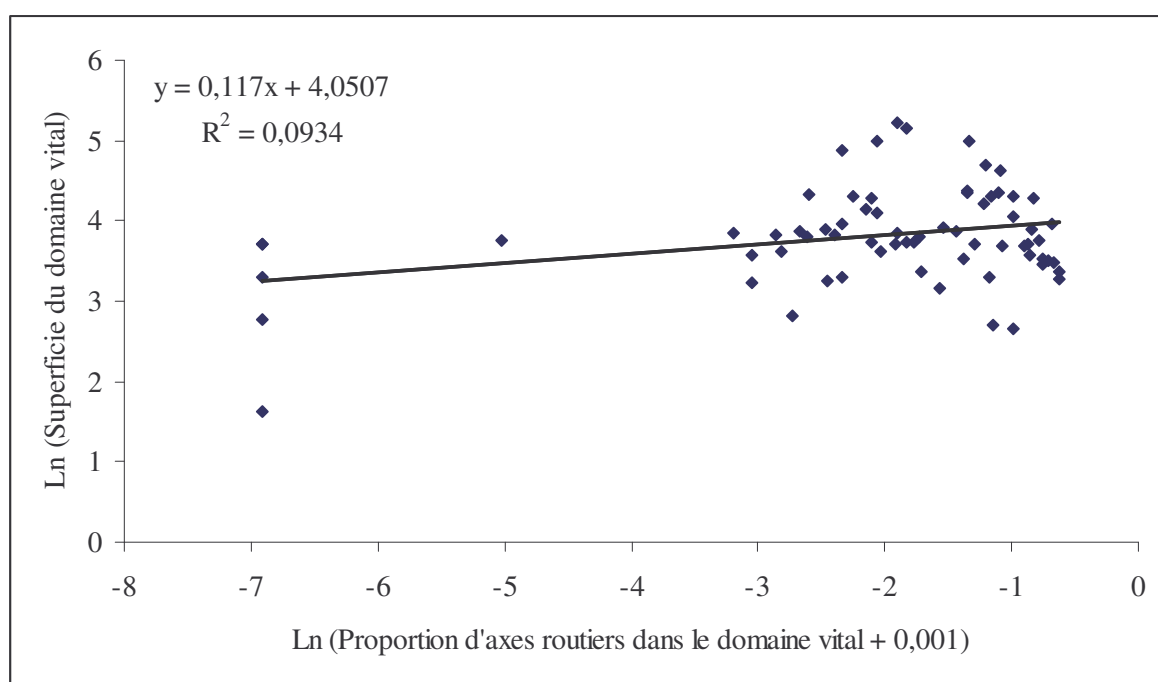


Figure 1.7. Superficie (km²) des domaines vitaux des originaux suivis par télémétrie dans la réserve faunique des Laurentides entre 2003 et 2005 en fonction de la proportion d'axes routiers qu'ils contenaient.

Tableau 1.3. Densités moyennes d'axes routiers (m/ha) en périphérie (<500 m) et à l'intérieur des domaines vitaux des orignaux suivis par télémétrie dans la réserve faunique des Laurentides de 2003 à 2005.

Échelle	Axe routier	Statut	Moyenne	Erreur type
Périphérie du DV	Route asphaltée	Réel	1,46	0,23
		Attendu	13,83	0,23
	Chemin forestier	Réel	0,68	0,15
		Attendu	69,95	15,25
Domaine vital	Route asphaltée	Réel	0,06	0,02
		Attendu	14,39	4,34
	Chemin forestier	Réel	1,66	0,68
		Attendu	79,77	0,68

Insectes hématophages

L'abondance des insectes hématophages fut variable durant les étés 2004 et 2005. Les tabanidés ont été faiblement présents durant les deux étés, leur présence ayant été notée (classes A, B, C ou D) dans 25 % et 26 % des sites inventoriés en 2004 et 2005 respectivement (figures 1.8 et 1.9). Cette catégorie d'insectes était plus abondante durant le mois de juillet en 2004 ($\chi^2 = 28,45$; $P = 0,005$; $dl = 12$; $n = 262$) et durant la seconde moitié du mois de juin en 2005 ($\chi^2 = 40,23$; $P = 0,001$; $dl = 16$; $n = 192$) (figures 1.8 et 1.9). Pour ce qui est des mouches noires, leur abondance était plus grande de la mi-juin à la fin juillet en 2004 (avec un pic plus évident durant la seconde moitié du mois de juillet; $\chi^2 = 59,70$; $P < 0,0001$; $dl = 16$; $n = 262$) et de la mi-juin à la mi-juillet en 2005 ($\chi^2 = 42,81$; $P < 0,0001$; $dl = 12$; $n = 192$). Quant aux moustiques, ils furent relativement abondants de la mi-juin à la mi-août en 2004 avec un pic d'abondance du 1^{er} au 15 juillet ($\chi^2 = 46,16$; $P < 0,0001$; $dl = 16$; $n = 262$) alors qu'en 2005 ils furent relativement abondants tout au long de l'été (figure 1.9) mais sans différence significative entre les périodes

($\chi^2 = 25,23$; $P = 0,07$; $dl = 16$; $n = 192$). En résumé, la période où les insectes hématophages étaient les plus abondants fut le mois de juillet en 2004 alors qu'en 2005 des pics d'abondance sont apparus dès la mi-juin, bien que toutes les espèces n'aient pas culminé au même moment.

Le seul groupe pour lequel une plus faible abondance a été détectée en bordure des routes qu'en milieu forestier a été les moustiques en 2005 ($\chi^2 = 30,3$; $P < 0,0001$; $dl = 4$; $n = 192$). Les tabanidés ($\chi^2 = 6,45$; $P = 0,09$; $dl = 3$; $n = 262$ en 2004 et $\chi^2 = 7,68$; $P = 0,10$; $dl = 3$; $n = 192$ en 2005), les mouches noires ($\chi^2 = 3,60$; $P = 0,46$; $dl = 4$; $n = 262$ en 2004 et $\chi^2 = 7,15$; $P = 0,07$; $dl = 3$; $n = 192$ en 2005) et les moustiques en 2004 ($\chi^2 = 3,66$; $P = 0,45$; $dl = 4$; $n = 262$ en 2004) furent autant abondants aux abords des routes asphaltées que dans le milieu forestier. Bien qu'il y ait eu des pics d'abondance d'insectes hématophages durant les deux étés considérés, la préférence relative des originaux envers les abords des routes asphaltées et le milieu forestier n'a pas varié entre les cinq périodes (tableau 4), en 2004 ($n = 96$) comme en 2005 ($n = 142$). Les originaux n'ont donc pas davantage fréquenté les routes lorsque les insectes étaient plus abondants, peu importe la période.

Le sodium dans les végétaux et la consommation de nourriture

Les concentrations en sodium dans la végétation furent, en moyenne, de l'ordre de 100 à 200 ppm. Elles étaient plus élevées en bordure des routes (tableau 5) qu'en bordure des chemins forestiers, et ce pour les trois essences (bouleau à papier : $F_{1,84} = 19,72$, $P < 0,0001$, $n = 90$; peuplier faux tremble : $F_{1,84} = 16,78$, $P < 0,0001$, $n = 90$; saules : $F_{1,84} = 23,07$, $P < 0,0001$, $n = 90$). De plus, les concentrations en sodium n'ont pas varié entre les dates de prélèvement (bouleau à papier : $F_{2,84} = 0,27$, $P = 0,76$, $n = 90$; peuplier faux tremble : $F = 1,47$, $P_{2,84} = 0,24$, $n = 90$; saules : $F_{2,84} = 1,13$, $P < 0,33$, $n = 90$).

Tableau 1.4. Résultats des ANOVAs testant l'influence de la période estivale et de la proximité de la route (i.e. ≤ 50 m vs. ≥ 50 m) sur l'indice de sélection des originaux.

Année	Facteur	<i>dl</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
2004	Période	4	1,01	0,41
	Proximité de la route	1	87,67	< 0,0001
	Période*Proximité de la route	4	1,16	0,34
2005	Période	4	0,36	0,84
	Proximité de la route	1	52,83	< 0,0001
	Période*Proximité de la route	4	0,49	0,74

Par contre, l'interaction entre le type d'axe routier et la date de prélèvement fut significative pour le peuplier faux tremble ($F_{2,84} = 6,37$, $P = 0,003$, $n = 90$) et les saules ($F_{2,84} = 3,43$, $P < 0,04$, $n = 90$), les concentrations étant les plus élevées en juin en bordure des routes asphaltées.

Tableau 1.5. Concentrations moyennes en sodium (ppm) dans les essences végétales prélevées en bordure de routes et de chemins forestiers à l'été 2005 dans la réserve faunique des Laurentides.

	Bords de routes asphaltées		Bords de chemins forestiers	
	Moyenne	Erreur type	Moyenne	Erreur type
Bouleau	147,95	12,85	89,68	9,10
Peuplier	170,33	25,39	98,55	7,81
Saule	281,31	64,35	114,56	8,43

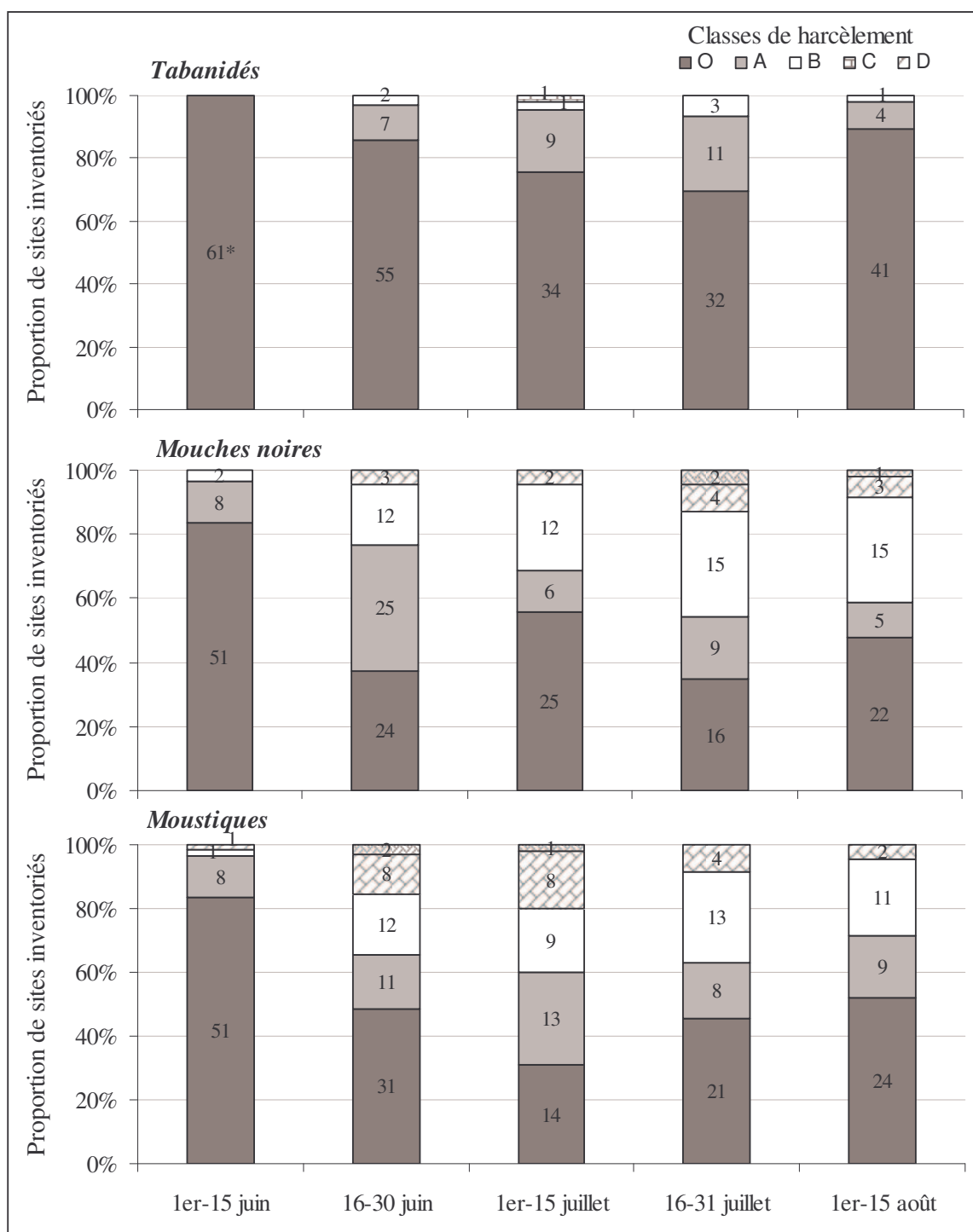


Figure 1.8. Estimation de l'abondance (O = aucun insecte, A = présence d'insectes mais sans inconvénient, B = léger harcèlement, C = harcèlement préoccupant, D = harcèlement insoutenable) des insectes hématophages dans la réserve faunique des Laurentides durant cinq périodes de l'été 2004. * = nombres de sites inventoriés.

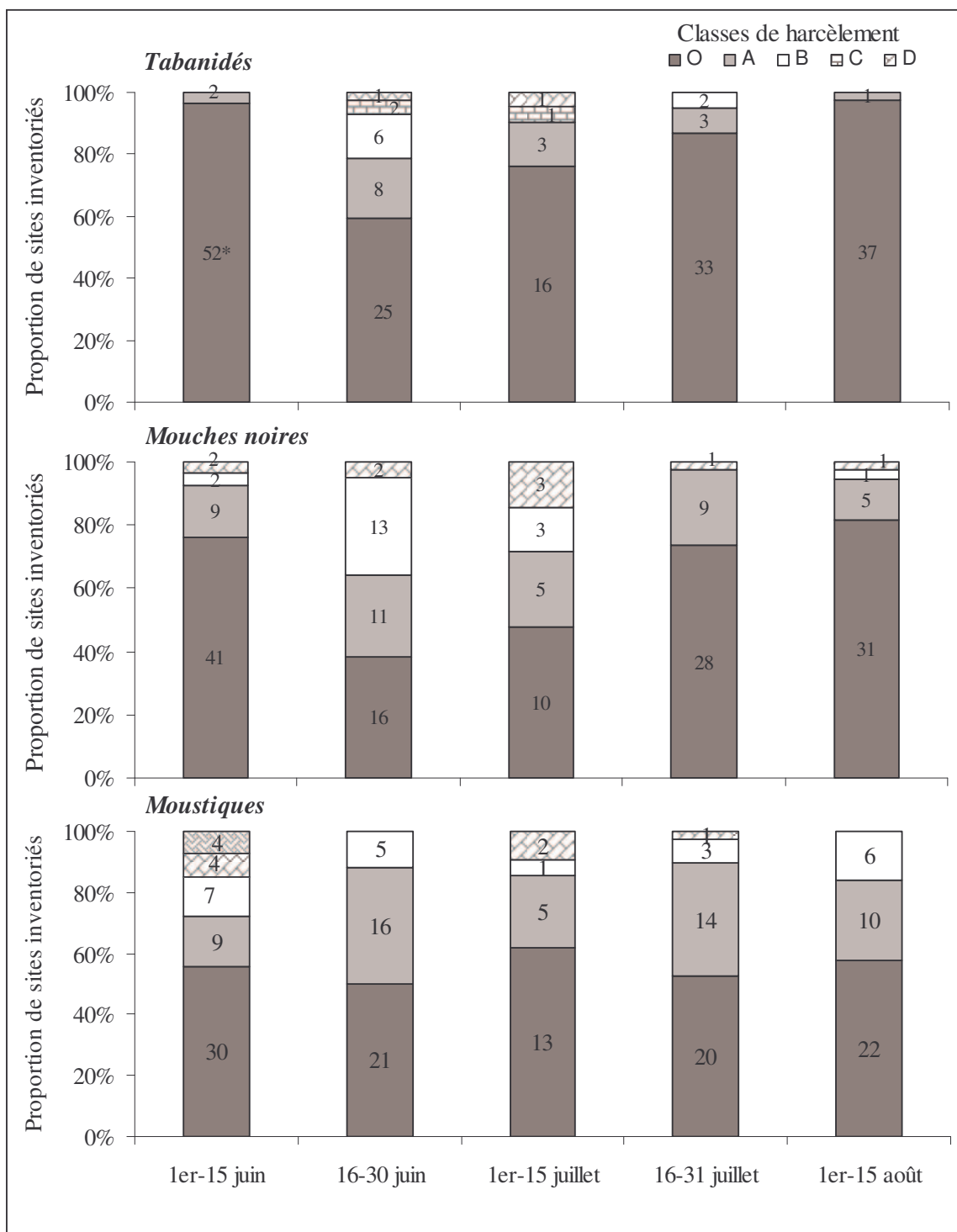


Figure 1.9. Estimation de l'abondance des insectes hématophages dans la réserve faunique des Laurentides durant cinq périodes de l'été 2005. Voir la figure 1.8 pour une description des catégories d'abondance. * = nombres de sites inventoriés.

La proportion de ramilles broutées dans les différents milieux inventoriés était généralement faible ou nulle (figure 1.10), la classe 0-5 % de végétaux broutés étant la plus fréquente, que ce soit pour les essences feuillues ou résineuses. Il n'y avait pas de différence du taux de broutement entre les milieux proches des routes asphaltées, proches des chemins forestiers ou en forêt, que ce soit pour les feuillus ($\chi^2 = 1,08$; $P = 0,58$; $dl = 2$; $n = 180$) ou les résineux ($\chi^2 = 1,88$; $P = 0,39$; $dl = 2$; $n = 184$). Ainsi, les orignaux ont fréquenté tous les milieux disponibles pour s'alimenter, et ont consommé une proportion semblable des ramilles aux abords des routes asphaltées, aux abords des chemins forestiers et en pleine forêt.

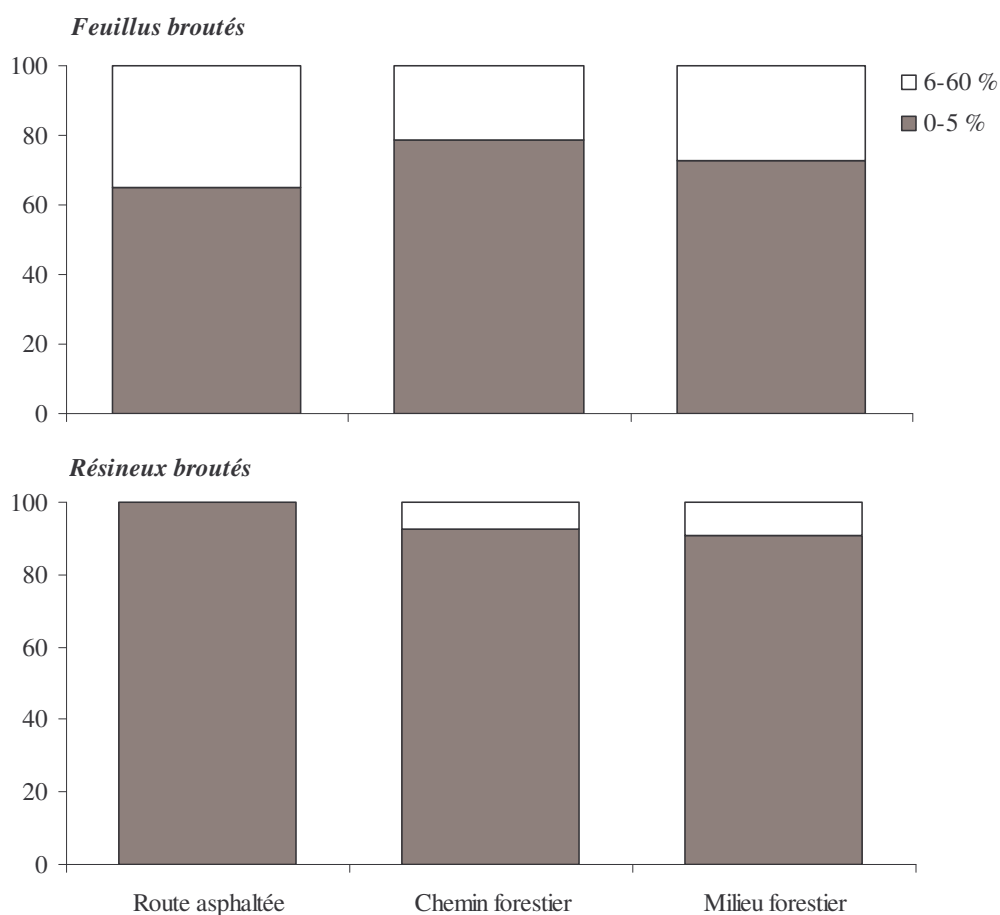


Figure 1.10. Proportion de ramilles broutées aux abords des routes, aux abords des chemins forestiers et dans les peuplements forestiers au cours de l'été 2004 dans la réserve faunique des Laurentides.

La densité de tiges feuillues était de 3 à 15 fois plus élevée que celle des résineux (figure 1.11). La densité des feuillus était semblable en bordure des routes, des chemins et des milieux forestiers ($H = 0,53$, $P = 0,77$, $n = 98$ peuplements) alors que les résineux étaient moins abondants près des routes asphaltées ($H = 6,17$, $P = 0,05$, $n = 98$).

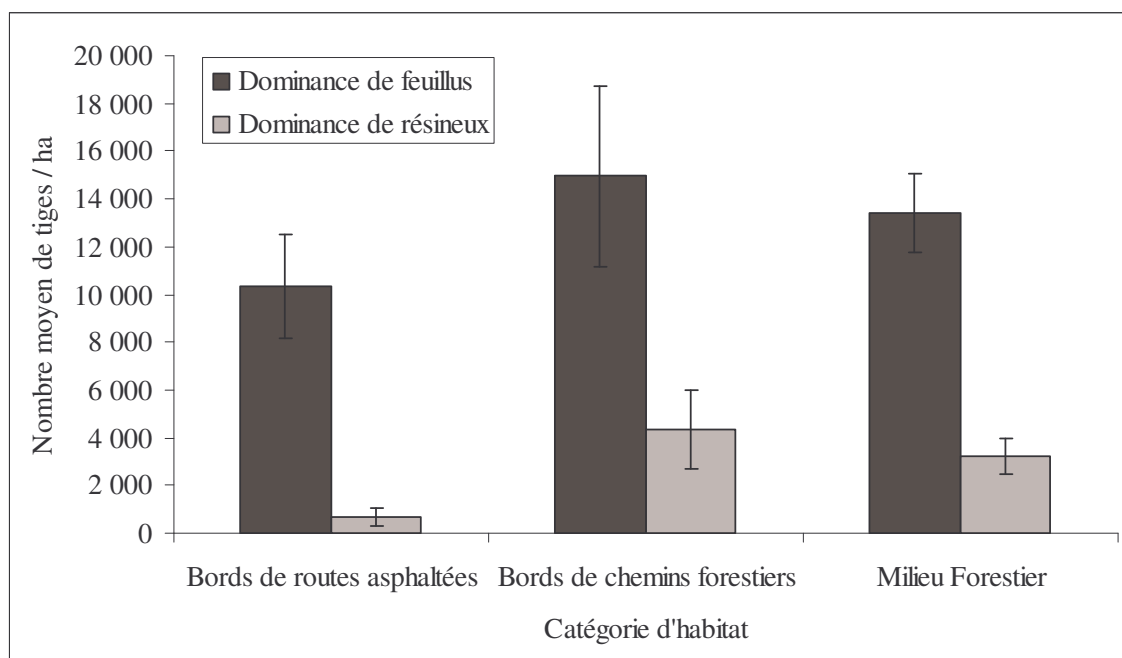


Figure 1.11. Nombre moyen de tiges (/ha) aux abords des routes asphaltées, aux abords des chemins forestiers et dans les peuplements forestiers au cours de l'été 2004 dans la réserve faunique des Laurentides.

Discussion

L'objectif de cette étude était d'identifier si la présence d'un réseau routier avait des effets sur le comportement des orignaux. Pour cela, nous avons testé l'hypothèse selon laquelle les orignaux évitent généralement les axes routiers, mais recherchent parfois les abords des routes

parce que la nourriture et les sels minéraux contenus dans les végétaux y sont plus abondants que dans la forêt adjacente et parce que les insectes y sont moins abondants.

Les résultats suggèrent que les orignaux ne sont attirés ni par les routes asphaltées ni par les chemins forestiers (où le trafic est pourtant moins important), mais plutôt qu'ils évitent les axes routiers, aussi bien pour établir leur domaine vital que dans leurs déplacements quotidiens. Ainsi, les orignaux ont évité d'établir leurs domaines vitaux là où des axes routiers, et plus particulièrement des routes asphaltées, étaient abondants (*i.e.* échelle du paysage) et ils évitaient aussi de traverser les axes présents dans leur domaine vital lors de leurs déplacements (*i.e.* échelle du domaine vital). Dans l'ensemble, les 47 animaux suivis par télémétrie GPS lors de cette étude ont très peu traversé les axes routiers puisque seulement 0,17 % de leurs déplacements traversaient une route asphaltée et 0,59 % un chemin forestier. De plus, il existe une relation positive entre la taille des domaines vitaux des orignaux et la proportion d'axes routiers qu'ils contenaient. Il se pourrait que certains orignaux augmentent leurs déplacements pour compenser la perte d'habitat occasionnée par la présence d'axes routiers. Aussi, même si les domaines vitaux des orignaux n'ont pas semblé être délimités par les axes routiers, les routes asphaltées étaient plus abondantes en périphérie des domaines vitaux qu'à l'intérieur de ceux-ci, ce qui indique encore plus clairement l'évitement de ces structures par l'orignal. Il est donc probable que ce soit lors de changements de secteurs à l'intérieur du domaine vital que les animaux traversent les axes routiers, ce qui augmente les risques de collisions. En effet, les axes routiers représentent un environnement à risque élevé de collisions pour de nombreuses espèces animales (Forman et Alexander 1998) dont l'orignal (Child et al. 1991, Eastman et Ritcey 1987), qui évitent alors ces structures autant que possible. Par exemple, il a été démontré que des souris (*Peromyscus leucopus*, Merriam et al. 1989) et des hérissons (*Erinaceus europaeus*, Rondinini et al. 2002)

évitait de traverser les routes asphaltées. Les chèvres de montagne (*Oreamnos americanus*) et les orignaux adoptent souvent des comportements de vigilance et ils sont plus nerveux lorsqu'ils se nourrissent en bordure de routes (Singer 1978, Yost et Wright 2001). L'évitement de corridors linéaires (routes, pipelines, sentiers) par le caribou a aussi été démontré, particulièrement en période d'achalandage (Dyer et al. 2002, James et Stuart-Smith 2000).

À notre connaissance, aucune étude avant celle-ci n'avait démontré que les orignaux évitaient les routes, même celles à fort trafic (Burson et al. 2000, Yost et Wright 2001). Au contraire, il était mentionné que ces animaux pouvaient fréquenter les corridors routiers et leurs abords pour s'alimenter ou s'abriter (Thompson et Stewart 1998), consommer des éléments minéraux (Grenier, 1974; Jolicoeur *et al.*, 1994), éviter les insectes en été (Kelsall et al. 1987) et les chasseurs à l'automne (Pils et Martin 1979) ou encore pour se déplacer, notamment lorsque la neige entrave leurs déplacements en hiver (Child et al. 1991, Del Frate et Spraker 1991). Certains auteurs ont même mentionné qu'en hiver et au printemps, les routes constituaient des voies de déplacement alternatives aux orignaux par rapport à leurs trajets traditionnels et que leurs abords fournissaient une densité élevée d'essences végétales très appréciées comparativement à la forêt adjacente (Bédard et al. 1978, Child 1998, Finder et al. 1999). Il avait aussi été suggéré que la fonte de la neige accélérée au printemps dans ces milieux ouverts permettrait un début de croissance végétale anticipé, engendrant une forte utilisation de ces secteurs par les orignaux (Rea 2003). Puis, l'entretien de la végétation en bordure des routes maintiendrait la présence des jeunes stades végétatifs, ce qui serait très attractif pour les orignaux au cours de l'été et de l'automne (Rea 2003).

Dans la présente étude, l'effet des facteurs susceptibles d'attirer les orignaux aux abords des routes n'a pu, dans l'ensemble, être démontré. En effet, bien qu'il ait été suggéré que les routes puissent servir de refuge contre le harcèlement par les insectes hématophages (Kelsall et al. 1987), il n'y a pas eu d'attraction particulière de l'orignal envers les axes routiers et leurs abords ni au printemps ni en été, même lors des pics d'abondance de ces insectes. Les axes routiers et leurs abords immédiats ont plutôt été sous-utilisés au cours de l'été en 2004 et 2005. Les pics d'abondance des insectes observés à l'été 2004 ont semblé atypiques car c'est habituellement en juin que ces pics sont recensés. Mais les conditions climatiques de l'année 2004 furent aussi atypiques avec des températures plutôt froides et un temps pluvieux, ce qui pourrait expliquer ce phénomène (J. Boisvert, Université du Québec à Trois-Rivières, comm. pers.). En 2005, la période d'abondance des insectes était plus typique, mais aucune préférence de l'orignal envers les routes ou leurs abords ne fut décelée, tout comme en 2004, ce qui supporte l'idée que les orignaux n'ont pas recherché cet environnement pour éviter le harcèlement des insectes.

Un autre facteur qui a été suggéré comme pouvant attirer les orignaux près des routes est la concentration en sodium dans les végétaux. Effectivement, la concentration en sodium était plus élevée dans les végétaux des abords des routes déglacées en hiver comparativement à ceux situés en bordures des chemins forestiers. Cependant, la proportion de ramilles broutées ne différait pas entre les abords des routes asphaltées, les abords des chemins forestiers et le milieu forestier, et la quantité de nourriture disponible dans ces différents milieux était comparable. Mais bien que les orignaux n'aient pas consommé une plus grande proportion de la végétation aux abords des routes que dans le reste du territoire forestier, ils ont toutefois utilisé ce milieu. Il n'est pas complètement exclu que ce soit, au moins en partie, à cause de la plus forte

concentration en sodium dans les végétaux. Par contre, la densité de tiges d'essences décidues, la nourriture préférée de l'orignal, n'était pas supérieure aux abords des axes routiers tel qu'observé dans certaines études (Bédard et al. 1978, Child 1998, Finder et al. 1999). Il faut préciser que la zone étudiée est fortement exploitée par l'industrie forestière. Par conséquent, les jeunes forêts qui sont privilégiées par l'orignal sont bien réparties sur l'ensemble du territoire. Il semble y avoir une forme de distribution libre idéale pour la nourriture, c'est à dire que les animaux peuvent obtenir des gains énergétiques suffisants en s'alimentant dans n'importe quel secteur de la réserve puisque les ressources y sont abondantes et nutritives.

Toutefois, bien que les facteurs présentés ci-dessus n'ait pas semblé attirer spécifiquement les orignaux vers les axes routiers et leurs abords, mise à part la nourriture riche en sodium présente en bordures des routes, la zone comprise entre 0 et 50 m de part et d'autre des routes a été fortement utilisée par certains orignaux. Cette utilisation de secteurs si proches des routes asphaltées et l'évitement des zones adjacentes pourraient traduire la recherche d'un élément particulier par ces orignaux, tel que le sodium. En effet, le sodium est en partie disponible dans les végétaux, mais il l'est aussi et principalement dans les mares salines. Or, le sodium est un cation indispensable, abondant dans le corps d'un animal, que ce soit dans le plasma sanguin ou dans d'autres fluides extracellulaires (Church et al. 1971, Robbins 1993). Mais le Na^+ est considéré comme un élément rare dans les écosystèmes nordiques qui ne reçoivent pas les embruns marins permettant un enrichissement naturel du sol en cet élément (Jordan et al. 1973). C'est pourquoi il a été suggéré que, dès le début du printemps, les orignaux auraient besoin de grandes quantités de sodium afin de satisfaire leurs besoins métaboliques (Belovsky et Jordan 1981, Fraser et al. 1982, Jordan 1987, Jordan et al. 1973, Ohlson et Staaland 2001, Staaland et Garmo 1987, Weeks et Kirkpatrick 1976). Certains orignaux pourraient satisfaire leurs besoins en

sodium dans les mares salines en bordures des routes. Ces mares, formées à partir de l'accumulation des sels déglçants (majoritairement composés de NaCl) appliqués sur les routes durant l'hiver, ont des concentrations en Na⁺ de l'ordre de 500 à 600 ppm en moyenne (Dussault et al., sous presse; Fraser 1979, Fraser et Thomas 1982, Grenier 1974-1980, Leblond et al. 2005), ce qui est bien supérieur aux mares éloignées des routes (Jolicoeur et al. 1994) ou aux macrophytes lacustres (MacCracken et al. 1993). Il est donc probable que ce soit en partie pour consommer l'eau riche en sodium que ces originaux utilisent les abords des routes asphaltées. En effet, c'est au printemps et au début de l'été que les originaux ont le plus traversé les routes et qu'ils ont augmenté leur fréquentation des secteurs proches de celles-ci, alors que c'est aussi la période où le trafic est plus abondant (Dussault et al., sous presse), et notamment pendant les périodes diurnes. Sans le sodium présent en bordures des routes, les axes routiers (aussi bien les routes que les chemins forestiers) seraient peut-être évités jusqu'à 500 à 1 000 m des axes routiers. La fréquentation des mares salines en bordure de routes à trafic élevé accentuerait les risques de collisions avec des véhicules et, par voie de conséquence, la mortalité des originaux (Fraser et al. 1982, Grenier 1974, Jolicoeur et al. 1994). Or, Grenier (1974) et Dussault et al. (sous presse) ont démontré que c'est entre la mi-juin et la mi-juillet que les collisions avec l'original sont les plus fréquentes dans la réserve faunique des Laurentides, période correspondant au pic d'utilisation du sodium par les originaux (Fraser et al. 1980, Fraser et Hristienko 1981, Fraser et al. 1982, Joyal et Scherrer 1978, Tankersley et Gasaway 1983).

Conclusion

Contrairement à ce qui est généralement mentionné, les axes routiers furent évités par les originaux durant les trois années de notre étude. En effet, bien qu'ayant utilisé les bordures des

axes routiers à quelques reprises, les orignaux les ont très peu traversés, alors qu'ils avaient la possibilité de le faire. L'évitement était plus évident pour les routes asphaltées que pour les chemins forestiers, ce qui peut être imputable à l'importance du trafic routier, tel que suggéré chez le caribou (Dyer et al. 2001-2002). La largeur de l'emprise pourrait aussi accentuer l'évitement des axes routiers par l'orignal, comme cela a été montré pour les lignes de transport d'énergie électrique (Joyal et al. 1984).

Les résultats de cette étude suggèrent que la fréquentation de l'abord des routes et des chemins forestiers par les orignaux n'est pas influencée par l'abondance des insectes hématophages, ni exclusivement par la présence de Na^+ dans les plantes qu'ils peuvent consommer (nourriture + sel). Toutefois, la zone située entre 0 et 50 m des routes asphaltées fut sur-utilisée par certains orignaux, notamment au printemps et à l'été, ces animaux allant vraisemblablement consommer de l'eau riche en sodium dans les mares salines. Tel que suggéré par Dussault et al. (sous presse), la présence de mares salines serait un facteur important pour expliquer la répartition des accidents routiers impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides.

Remerciements

Ce travail n'aurait pu être accompli sans l'aide des personnes qui ont récolté les végétaux ou effectué les inventaires de végétation en parcourant la réserve faunique des Laurentides en tous sens, ainsi que celles qui se sont soumises aux piqûres et morsures des insectes hématophages pour en estimer l'abondance au cours des étés 2004 et 2005, à savoir Alexandre Hébert, Martine Lavoie, Marie-France Gévry et Mathieu Leblond. Nous remercions aussi Gordon

Carl et Jacques Fortin qui ont participé aux captures d'originaux, ainsi qu'Alain Caron pour son support en informatique et en statistique. Merci également aux organismes qui ont subventionné le projet, notamment le Ministère des Transports, le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune et l'Université du Québec à Rimouski. Merci également au Conseil de recherches en sciences naturelles et génie du Canada (CRSNG), au Fonds québécois de recherche sur la nature et les technologies (FQRNT), ainsi qu'au Centre d'études nordiques (CEN) pour les bourses d'études.

Références

- Bédard, J., M. Crête et E. Audy. 1978. Short-term influence of moose upon woody plants of an early seral wintering site in Gaspé peninsula, Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* 8: 407-415.
- Belovsky, G.E. et P.A. Jordan. 1981. Sodium dynamics and adaptations of a moose population. *Journal of Mammalogy* 62: 613-621.
- Burson, S.L., J.L. Belant, K.A. Fortier et W.C. Tomkiewicz. 2000. The effect of vehicle traffic on wildlife in Denali National Park. *Arctic* 53: 146-151.
- Child, K.N. 1998. Incidental mortality. In *Ecology and management of the North American moose* (eds A.W. Franzmann et C.C. Schwartz), pp. 275-301. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Child, K.N., S.P. Barry et D.A. Aitken. 1991. Moose mortality on highways and railways in British Columbia. *Alces* 27: 41-49.
- Church, D.C., G.E. Smith, J.P. Fontenot et A.T. Ralston. 1971. Digestive physiology and nutrition of ruminants. In *Oregon St. Univ. Book Stores*, Vol. 2, pp. 401-801.

- Conover, M.R., W.C. Pitt, K.K. Kessler, T.J. DuBow et W.A. Sanborn. 1995. Review of human injuries, illnesses, and economic losses caused by wildlife in the United States. *Wildlife Society Bulletin* 23: 407-414.
- Courtois, R., J.-P. Ouellet, C. Laurian, D. Sigouin, L. Breton, S. St-Onge et J. Labonté. 2003. Un exemple de recherche au service de la gestion des populations: le suivi du plan de gestion de l'orignal, 1994-1998. *Le Naturaliste Canadien* 127: 54-65.
- Del Frate, G.G. et T.H. Spraker. 1991. Moose-vehicle interactions and an associated public awareness program on the Kenai Peninsula, Alaska. *Alces* 27: 1-7.
- Dussault, C., M. Poulin, R. Courtois et J.-P. Ouellet. Sous presse. Temporal and spatial distribution of moose-vehicle accidents in the Laurentides Wildlife Reserve, Quebec. *Wildlife Biology*.
- Dyer, S.J., J.P. O'Neill, S.M. Wasel et S. Boutin. 2001. Avoidance of industrial development by woodland caribou. *Journal of Wildlife Management* 65: 531-542.
- Dyer, S.J., J.P. O'Neill, S.M. Wasel et S. Boutin. 2002. Quantifying barrier effects of roads and seismic lines on movements of female woodland caribou in north-eastern Alberta. *Canadian Journal of Zoology* 80: 839-845.
- Eastman, D.S. et R. Ritcey. 1987. Moose habitat relationships and management in British Columbia. *Swedish Wildlife Research, Supplement* 1: 101-118.
- Farrell, T., J. Sutton, D. Clark, W. Horner, K. Morris, K. Finison, G.E. Menchen et K.H. Cohn. 1996. Moose-motor vehicle collisions: an increasing hazard in northern New England. *Arch Surg* 131: 377-381.
- Finder, R.A., J.L. Roseberry et A. Woolf. 1999. Site and landscape conditions at white-tailed deer vehicle collision locations in Illinois. *Landscape and Urban Planning* 44: 77-85.

- Forman, R.T.T. et L.E. Alexander. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29: 207-231.
- Forman, R.T.T. et R.D. Deblinger. 2000. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. *Conservation Biology* 14: 36-46.
- Fraser, D. 1979. Sightings of moose, deer, and bears on roads in northern Ontario. *Wildlife Society Bulletin* 7: 181-184.
- Fraser, D., D. Arthur, J.K. Morton et B.K. Thompson. 1980. Aquatic feeding by moose *Alces alces* in a Canadian lake. *Holarctic Ecology* 3: 218-223.
- Fraser, D. et H. Hristienko. 1981. Activity of moose and white-tailed deer at mineral springs. *Canadian Journal of Zoology* 59: 1991-2000.
- Fraser, D. et E.R. Thomas. 1982. Moose-vehicle accidents in Ontario: relation to highway salt. *Wildlife Society Bulletin* 10: 261-265.
- Fraser, D., B.K. Thompson et D. Arthur. 1982. Aquatic feeding by moose: seasonal variation in relation to plant chemical composition and use of mineral licks. *Canadian Journal of Zoology* 60: 3121-3126.
- Grenier, P.A. 1974. Orignaux tués sur la route dans le parc des Laurentides, Québec, de 1962 à 1972. *Naturaliste Canadien* 101: 737-754.
- Grenier, P.A. 1980. Contribution à l'étude de moyens préventifs pour réduire le nombre d'accidents routiers impliquant des orignaux. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. Direction générale de la faune, Québec.
- Groot Bruinderink, G.W.T.A. et E. Hazebroek. 1996. Ungulate traffic collisions in Europe. *Conservation Biology* 10: 1059-1067.
- James, A.R.C. et A.K. Stuart-Smith. 2000. Distribution of caribou and wolves in relation to linear corridors. *Journal of Wildlife Management* 64: 154-159.

- Jolicoeur, H. 1998. Le loup du massif du lac Jacques-Cartier. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Québec.
- Jolicoeur, H. et Crête, M. 1994. Failure to reduce moose-vehicle accidents after a partial drainage of roadside salt pools in Quebec. *Alces* 30: 81-89.
- Jolicoeur, H., G. Kennedy et R. Lemieux. 1993. Radioisotope tagging for the determination of black bear population densities in Québec. In 11th Eastern Black Bear Workshop (ed E.P. Orff), pp. 208-220, New Hampshire.
- Jordan, P.A. 1987. Aquatic foraging and the sodium ecology of moose: a review. In Second International Moose Symposium, Supplement 1, pp. 119-137, Swedish Wildlife Research Viltrevy.
- Jordan, P.A., D.B. Botkin, A.S. Dominski, H.S. Lowendorf et G.E. Belovsky. 1973. Sodium as a critical nutrient for the moose of Isle Royale. In North American Moose Conference Workshop, Vol. 9, pp. 13-42.
- Joyal, R., P. Lamothe et R. Fournier. 1984. L'utilisation des emprises de lignes de transport d'énergie électrique par l'orignal (*Alces alces*) en hiver. *Canadian Journal of Zoology* 62: 260-266.
- Joyal, R. et B. Scherrer. 1978. Summer movements and feeding by moose in Western Quebec. *Canadian Field-Naturalist*, 92: 252-258.
- Kelsall, J.P. et K. Simpson. 1987. The impacts of highways on ungulates; a review and selected bibliography. Prepared for Ministry of Environment and Parks, Kamloops, B.C.
- Laurian, C., R. Courtois, L. Breton, A. Beaumont et J.-P. Ouellet. 1996. Impact du déséquilibre du rapport des sexes chez l'orignal (*Alces alces*). Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, Service de la faune terrestre et Université du Québec à Rimouski, Département de biologie, Québec.

- Laurian, C., J.-P. Ouellet, R. Courtois, L. Breton et S. St-Onge. 2000. Effects of intensive harvesting on moose reproduction. *Journal of Applied Ecology* 37: 515-531.
- Leblond, M., C. Dussault, J.-P. Ouellet, M. Poulin, R. Courtois et J. Fortin. 2005. Évaluation de la clôture électrique comme mesure de mitigation des accidents routiers impliquant les orignaux dans la réserve faunique des Laurentides. Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec, Ministère des transports du Québec et Université du Québec à Rimouski, Québec.
- MacCracken, J.G., V. Van Ballenberghe et J.M. Peek. 1993. Use of aquatic plants by moose: sodium hunger or foraging efficiency? *Canadian Journal of Zoology* 71: 2345-2351.
- Merriam, G., M. Kozakiewicz, E. Tsuchiya et K. Hawley. 1989. Barriers as boundaries for metapopulations and demes of *Peromyscus leucopus* in farm landscapes. *Landscape Ecology* 2: 227-235.
- Munro, D., L. Gignac, G. Lamontagne et D. Jean. 2001. Gros gibier au Québec en 1999 (exploitation par la chasse et mortalités par des causes diverses). Société de la faune et des parcs du Québec.
- Ohlson, M. et H. Staaland. 2001. Mineral diversity in wild plants: benefits and bane for moose. *Oikos* 94: 442-454.
- Pils, C.M. et M.A. Martin. 1979. The cost and chronology of Wisconsin deer-vehicles collisions (ed D.o.N. Resources), pp. 5.
- Rea, R.V. 2003. Modifying roadside vegetation management practices to reduce vehicular collisions with moose *Alces alces*. *Wildlife Biology* 9: 81-91.
- Robbins, C.T. 1993. *Wildlife feeding and nutrition*, 2nd ed. Academic Press, San Diego, California.

- Rodgers, A.R., R.S. Rempel et K.F. Abraham. 1996. A GPS-based telemetry system. *Wildlife Society Bulletin* 24: 559-566.
- Romin, L.A. et J.A. Bissonette. 1996. Deer-vehicle collisions: Status of state monitoring activities and mitigation efforts. *Wildlife Society Bulletin* 24: 276-283.
- Rondinini, C. et C.P. Doncaster. 2002. Roads as barriers to movement for hedgehogs. *Functional Ecology*, 16, 504-509.
- Seiler, A. et I.-M. Eriksson. 1997. New approaches for ecological consideration in Swedish road planning. In *Habitat fragmentation, infrastructure and the role of ecological engineering* (eds K. Canters, A. Piepers et A. Hendricks-Heersma), pp. 253-264. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Road and Hydraulic Engineering division, Delft, The Netherlands, Maastricht et DenHauge.
- Seiler, A., J.O. Helldin et C. Seiler. 2004. Road mortality in Swedish mammals: results of a drivers' questionnaire. *Wildlife Biology* 10: 225-233.
- Singer, F.J. 1978. Behavior of mountain goats in relation to U.S. highway 2, glacier national park, Montana. *Journal of Wildlife Management* 42: 591-597.
- Staaland, H. et T. Garmo. 1987. A note on the manipulation of sodium and potassium concentrations in the rumen of reindeer and the possible effect on digestibility. *Rangifer* 7: 33-36.
- Tankersley, N.G. et W.C. Gasaway. 1983. Mineral lick use by moose in Alaska. *Canadian Journal of Zoology* 61: 2242-2249.
- Thompson, I.D. et R.W. Stewart. 1998. Management of moose habitat. In *Ecology and management of the North American moose* (eds A.W. Franzmann et C.C. Schwartz), pp. 377-401. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.

- Weeks, H.P. et J.R. Kirkpatrick. 1976. Adaptations of white-tailed deer to naturally occurring sodium deficiencies. *Journal of Wildlife Management* 40: 610-625.
- Yost, A.C. et R.G. Wright. 2001. Moose, caribou, and grizzly bear distribution in relation to road traffic in Denali National Park, Alaska. *Arctic* 54: 41-48.

2. Impacts de la distribution des sources de sodium sur l'utilisation de l'espace et de l'habitat par l'original : implications pour les accidents routiers

Catherine Laurian, Christian Dussault, Jean-Pierre Ouellet, Réhaume Courtois,

Marius Poulin et Laurier Breton

Résumé

De nombreuses espèces animales ont besoin de grandes quantités de sodium à certaines périodes de l'année. Chez l'orignal, c'est à la fin de l'hiver que ce besoin serait le plus important, surtout en Amérique du Nord où les sols sont pauvres en cet élément minéral. Dans le milieu naturel, les sources de sodium disponibles sont les plantes aquatiques dans les lacs et les rivières et, lorsqu'elles sont présentes, les sources d'eau minérales. Dans les régions nordiques, on note aussi la formation de mares salines en bordure des routes dans de petites dépressions où s'accumule le sel de déglacage (constitués essentiellement de NaCl) lors de la fonte de la neige. La compréhension de l'utilisation des sources de sodium par l'orignal revêt une importance toute spéciale puisqu'il a été suggéré que la fréquentation des mares salines près des routes accentue les risques de collisions routières avec cette espèce. Nous avons émis l'hypothèse que les orignaux modifient leur utilisation de l'espace et de l'habitat, notamment aux abords des axes routiers, afin de satisfaire leurs besoins physiologiques en sodium. Des orignaux suivis par télémétrie GPS entre 2003 et 2006 ont permis de récolter des données aux sources de sodium (lacs et rivières, mares salines) présentes dans la réserve faunique des Laurentides. En plus des mares salines aux abords des routes, il y avait dans le secteur d'étude un réseau de mares salines de compensation. Ces mares salines de compensation ont été aménagées par le Ministère des Transports du Québec dans des mares d'eau stagnante à quelques centaines de mètres des routes et une grande quantité de sel de déglacage y est déversée chaque année. Nos résultats indiquent que les visites aux sources de sodium sont rares ($< 0,5$ % des 199 118 localisations enregistrées) puisqu'il y a eu seulement 40 visites à des mares salines près des routes sur 86 sites, 88 visites à des mares salines de compensation sur 23 sites et 497 visites aux lacs et rivières sur 1 172 sites disponibles. De plus, les lacs et rivières ont été plus fréquentés que les mares salines, en tout

temps. Les orignaux ont fréquenté les lacs et les rivières huit fois plus que les salines lorsque les deux types de sources de sodium étaient présents dans leur domaine vital. C'est au printemps et au début de l'été (mai, juin) que les sources de sodium ont été les plus fréquentées; cette période correspond également au moment où les collisions impliquant l'orignal sont les plus fréquentes dans la réserve faunique des Laurentides. De plus, il semble que les orignaux viennent en bordures des routes (0-50 m) essentiellement pour y consommer du sodium, puisque ce sont principalement les orignaux dont les domaines vitaux incluent des mares salines qui ont fréquenté les abords des routes. Aussi, les individus qui ont fréquenté les mares salines ont semblé faire des déplacements orientés et rapides (avec des taux de déplacement élevés). Ces individus avaient aussi des domaines vitaux plus grands que ceux qui ne fréquentaient pas les mares salines. Ainsi, certains orignaux fréquentent à l'occasion les mares salines en bordure des routes bien que ces secteurs soient généralement évités. La fréquentation des mares salines en bordure des routes accroît le risque de collision impliquant un orignal.

Introduction

Pour de nombreuses espèces animales, le besoin en sels minéraux augmente à certaines périodes de l'année. Ce phénomène a surtout été étudié chez les mammifères, et notamment chez les herbivores, bien que cet appétit pour les sels minéraux ait aussi été observé chez les oiseaux (Denton 1982) et les reptiles (Marlow et Tollestrup 1982). Ainsi, certaines espèces modifient leur comportement, probablement en réponse à leurs besoins accrus en sodium, telles la marmotte commune (*Marmota monax*, Weeks et Kirkpatrick 1976), l'écureuil roux (*Tamiasciurus hudsonicus*, Fraser et al. 1980b), le lièvre d'Amérique (*Lepus americanus*, Fraser 1979), le porc-épic (*Erethizon dorsatum*, Fraser et al. 1980b), le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*, Weeks et Kirkpatrick 1976, Couturier 1984), l'orignal (*Alces alces*, Grenier 1974, Joyal et Scherrer 1978, Fraser et Reardon 1980, Fraser et al. 1980a-b, Fraser et Hristienko 1981, Fraser et al. 1982, Tankersley et Gasaway 1983, Couturier et Barrette 1988), certains ongulés africains (McNauhgtton 1988), le cerf axis au Népal (*Axis axis*, Moe 1993), l'éléphant d'Afrique (*Loxodonta africana*, Holdø et al. 2002) ou certains primates tels le chimpanzé (*Pan satyrus*, Goodall 1963), le gorille de montagne (*Gorilla gorilla*, Schaller 1963) et l'entelle commune (*Presbytis entellus*, Moe 1993).

Le sodium (Na^+) est un cation abondant dans le corps d'un animal. Il a un impact fondamental dans l'équilibre acido-basique et dans la régulation osmotique. Il est également nécessaire pour les échanges intercellulaires, pour les transmissions nerveuses, la contraction musculaire, la reproduction, la lactation, la croissance, la production de poils, et le maintien de la masse corporelle et de l'appétit (Church et al. 1971, Robbins 1993). Mais le Na^+ est rare dans les écosystèmes nordiques et ce dans la plupart des régions d'Amérique du Nord. Il pourrait même

constituer un facteur limitatif (Jordan et al. 1973). Or, il a été suggéré que, dès le début du printemps, les orignaux auraient besoin de grandes quantités de sodium afin de compenser le déficit minéral important encouru durant l'hiver (Jordan et al. 1973, Weeks et Kirkpatrick 1976, Belovsky et Jordan 1981, Jordan 1987, Staaland et Garmo 1987, Ohlson et Staaland 2001). Afin de combler ce besoin en sodium, les orignaux peuvent consommer des plantes aquatiques (Joyal et Scherrer 1978, Fraser et al. 1980a, Fraser et al. 1982-1984, MacCracken et al. 1993, Ohlson et Staaland 2001) dont la concentration en Na^+ est comprise entre 150 à 700 ppm (Fraser et al. 1980b-1982-1984), utiliser des sources d'eau minérales naturelles (ou salines) lorsqu'elles sont présentes (concentrations en Na^+ de 23 à 200 ppm) (Fraser et al. 1980b-1982, Tankersley et Gasaway 1983, Couturier et Barrette 1988) ou, dans certaines régions, les mares salines en bordure des routes (Grenier 1974 ; Laurian et al. 2005 ; Leblond et al. à 2005). Ces mares sont formées à partir de l'accumulation des sels déglaçants (majoritairement composés de NaCl) appliqués sur les routes durant l'hiver, conduisant à des concentrations moyennes en Na^+ de l'ordre de 500 à 600 ppm (Fraser 1979, Grenier 1974-1980, Fraser et Thomas 1982, Dussault et al., sous presse). Les avantages qu'auraient les orignaux à utiliser de telles salines seraient une absorption plus rapide ($\times 15$) de grandes quantités de Na^+ (Belovsky 1978) permettant un gain de temps et d'énergie pouvant être consacré à la recherche et à la consommation de nourriture (Belovsky 1978, Miller et Litvaitis 1992). Les besoins de l'orignal en sodium seraient particulièrement élevés au printemps et en été, avant de décroître plus ou moins progressivement, voire de disparaître vers la fin de l'été (Joyal et Scherrer 1978, Fraser et al. 1980a, Fraser et Hristienko 1981, Tankersley et Gasaway 1983, MacCracken et al. 1993).

Les variations spatiales et temporelles de la disponibilité du sodium ont été suggérées comme affectant la distribution des individus, que ce soit chez l'orignal (Joyal et Scherrer 1978,

Belovsky et Jordan 1981, Fraser et Hristienko 1981), le cerf de Virginie (Weeks et Kirkpatrick 1976) ou certains ongulés africains (McNaughton 1988). Ainsi, certains individus se déplaceraient vers des secteurs qu'ils ne fréquentent habituellement pas afin de rejoindre spécifiquement des lacs ou des salines pour les utiliser au printemps et en été (Belovsky et Jordan 1978, Joyal et Scherrer 1978, Fraser et Hristienko 1981, Tankersley et Gasaway 1983, Couturier et Barrette 1988).

Les études sur l'utilisation des sources de Na^+ par les orignaux ont été réalisées en milieu lacustre ou à des salines naturelles, mais jamais aux abords des routes, bien qu'il ait été suggéré que la fréquentation de ces mares accentuerait les risques de collisions routières avec cette espèce (Grenier 1974, Fraser et Thomas 1982, Jolicoeur et Crête 1994, Dussault et al. sous presse). Or, il est important de déterminer si les orignaux modifient leur comportement pour fréquenter les mares salines en bordure des routes, puisque cela augmenterait les risques d'accidents routiers, afin de proposer des mesures d'atténuation appropriées.

Les abords des routes du Québec sont riches en sodium à cause de l'épandage de sel de déglacage en hiver qui finit par s'accumuler sur les bas-côtés, où des mares salines se forment (Grenier 1974, 1980). C'est sur les routes de la réserve faunique des Laurentides que les plus grandes quantités de sels déglacant sont répandues chaque hiver, ce qui en fait un secteur propice pour étudier le comportement de l'orignal par rapport aux sources de Na^+ . Nous émettons l'hypothèse que les orignaux modifient leur utilisation de l'espace et de l'habitat, notamment aux abords des axes routiers, afin de satisfaire leurs besoins physiologiques en sodium. Nous prédisons que : 1) une forte proportion des localisations enregistrées en bordure des routes asphaltées se retrouvent à proximité d'une mare saline fréquentée; 2) les orignaux ayant des

mares salines dans leur domaine vital fréquentent davantage les abords des routes que ceux qui n'en ont pas; 3) les orignaux visitent les mares salines et les lacs ou les rivières à macrophytes essentiellement au printemps et en été, lorsque le besoin en sodium est accru; 4) les orignaux fréquentent davantage les mares salines que les lacs et les rivières puisque les macrophytes sont généralement moins concentrées en sodium que l'eau des mares salines en bordure des routes; 5) les orignaux qui n'ont pas de saline dans leurs domaine vital fréquentent davantage les lacs que les orignaux qui en ont; 6) les orignaux parcourent rapidement de grandes distances au printemps et en été lors d'excursions occasionnelles, afin d'aller consommer l'eau des mares salines proches des routes et 7) les domaines vitaux printaniers et estivaux des orignaux qui fréquentent les mares salines sont de plus grande superficie que ceux des orignaux qui ne les fréquentent pas.

Site d'étude

L'étude s'est déroulée dans la partie nord de la réserve faunique des Laurentides (Québec, Canada). Ce territoire est traversé par deux routes provinciales, la 169 et la 175, sur lesquelles sont déversées plus de 100 tonnes de NaCl/km chaque hiver. De nombreux lacs comportant une végétation aquatique substantielle durant l'été sont présents dans le secteur (Jolicoeur et Crête 1994). La forêt est dominée par des peuplements mélangés et résineux. Une soixantaine d'accidents routiers impliquant l'orignal sont recensés chaque année, essentiellement entre la mi-mai et la mi-juillet (Dussault et al. sous presse).

Matériel et méthodes

Les localisations de 47 originaux munis de colliers GPS et suivis pendant une période plus ou moins longue entre janvier 2003 et avril 2006 (voir chapitre 1) ont permis d'analyser le comportement de l'original en relation avec les sources de sodium. Trois types de sources de sodium étaient disponibles : 1) les plantes aquatiques qui poussent dans les lacs et les rivières durant l'été, 2) les mares salines en bordures des routes asphaltées, disponibles dès la fonte des neiges au printemps et 3) les mares salines de compensation aménagées par le Ministère des Transports du Québec et situées entre 100 et 1 500 m des routes asphaltées. Ces dernières sont situées dans une mare d'eau stagnante dans laquelle une grande quantité de sel de déglacage est déversée chaque année. Les mares salines de compensation sont également disponibles dès la fonte des neiges au printemps.

L'emplacement exact de toutes les mares salines (bord d'une route et compensation) présentes dans le site d'étude a été déterminé avec un GPS. Les originaux qui ont été localisés dans un rayon de 50 m d'une mare saline de compensation ou au bord d'une route ont été considérés comme fréquentant ou susceptibles d'avoir fréquenté cette mare saline. La carte du réseau hydrographique du site d'étude a permis de délimiter l'ensemble des lacs et des rivières. Afin d'obtenir une cartographie des herbiers de plantes aquatiques, nous avons estimé le recouvrement des herbiers dans tous les lacs et les rivières de l'aire d'étude par photo-interprétation. Une validation de cette cartographie a été faite le 7 juillet 2005 en survolant en avion 73 lacs ou rivières. Dans l'ensemble, nous avons constaté que l'estimation obtenue par l'interprétation des photos aériennes était sous-évaluée et qu'il y avait des macrophytes dans la très grande majorité des plans d'eau. C'est pourquoi tout le réseau hydrographique a été

considéré comme pouvant produire des macrophytes durant l'été. La période de disponibilité des plantes aquatiques a été définie comme étant de la mi-mai à la fin d'octobre, en se basant sur les études de Peterson (1955) et de Fraser et al. (1982) réalisées en Ontario.

Les domaines vitaux des orignaux ont été calculés annuellement et mensuellement par la méthode du polygone convexe à 100 %. Pour les individus ayant été suivis durant plusieurs années, nous avons considéré les données récoltées à chaque année comme indépendantes afin d'augmenter l'effectif.

Fréquentation des sources de sodium

Afin de déterminer si les orignaux allaient au bord des routes pour fréquenter les mares salines, les localisations enregistrées entre janvier 2003 et mars 2005 à moins de 50 m en bordure des routes asphaltées ont été visitées sur le terrain. Une fois sur place, la présence de mares salines dans un rayon de 20 m autour de la localisation a été notée. Le même exercice a été effectué à 213 sites témoins répartis aléatoirement dans la zone 0-50 m en bordure de route. La distribution de fréquence de la présence d'une mare saline a été comparée entre les sites utilisés par l'original et les sites témoins à l'aide de tests de χ^2 . Pour vérifier si les orignaux ayant au moins une mare saline dans leur domaine vital fréquentaient davantage la bande de 0 à 50 m en bordure de la route, nous avons utilisé une ANOVA avec la proportion des localisations dans la bande 0-50 m [transformation en $\ln(x + 0,001)$] comme variable dépendante, et une variable indépendante indiquait la présence ou l'absence d'une mare saline dans le domaine vital de chaque individu. L'individu a été considéré comme un facteur aléatoire dans l'analyse.

Les variations mensuelles de la fréquentation (i.e. proportion des localisations) des mares salines d'une part et des lacs et rivières d'autre part, ont été analysées à l'aide d'ANOVAs. Dans les deux cas, une transformation $\ln(x + 0,001)$ a été utilisée sur la variable dépendante, et la variable indépendante était le mois. Une ANOVA a également permis de comparer la fréquentation $[\ln(x + 0,001)]$ des deux sources de sodium (mares salines ou lacs et rivières) par l'original en fonction du mois et de la source de sodium. Pour cette analyse, seuls les individus dont le domaine vital annuel contenait au moins une mare saline ont été considérés. Enfin, une ANOVA a permis d'évaluer l'effet de la présence d'au moins une mare saline dans le domaine vital sur la fréquentation des lacs et des rivières $[\ln(x + 0,001)]$ durant le printemps et l'été (i.e. mai à septembre). L'individu a été utilisé comme facteur aléatoire dans toutes les analyses.

Utilisation de l'espace par rapport aux sources de sodium

Pour évaluer si les originaux effectuent des déplacements particulièrement importants pour accéder aux sources de sodium, nous avons d'abord calculé les taux de déplacements (m/h) pour les trajets effectués avant, pendant et après la visite à une source de Na^+ (figure 2.1).

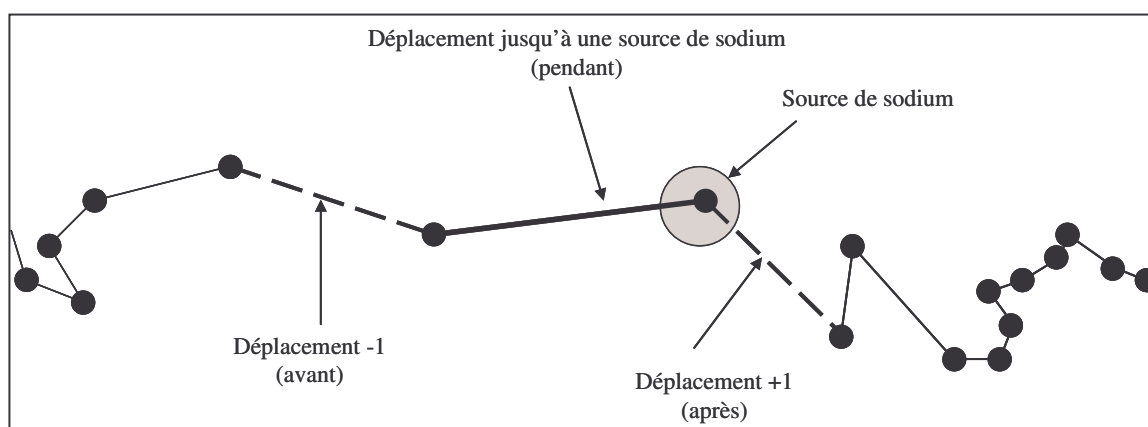


Figure 2.1. Schéma illustrant les déplacements effectués par un original avant, pendant et après une visite à une source de Na^+ .

Des ANOVAS ont permis de déterminer si les taux de déplacements de l'orignal variaient en fonction du type de déplacement (avant, pendant ou après la fréquentation de la source de sodium) et de la période (i.e. les mois). Les analyses ont été réalisées séparément pour les mares salines ($x^{1/2}$) d'une part, et pour les lacs et rivières [$\ln(x)$] d'autre part. Finalement, une ANOVA a également permis de vérifier si les taux de déplacements pour se rendre à une mare saline versus à un lac ou une rivière étaient différents [$\ln(x)$].

Pour vérifier la prédiction selon laquelle les originaux ayant au moins une mare saline dans leur domaine vital ont un domaine vital saisonnier plus grand que ceux qui n'en ont pas, une ANOVA avec la superficie ($x^{1/2}$) du domaine vital comme variable indépendante a été utilisée. Les variables indépendantes étaient la période (les mois printaniers et estivaux) ainsi qu'une variable indiquant la présence/absence d'une mare saline dans le domaine vital. L'individu a également été considéré en tant que facteur aléatoire dans toutes ces analyses.

Résultats

Parmi les 199 118 localisations enregistrées, seulement 40 (0,02%) l'ont été à des salines de bord de route ($N = 86$), 88 (0,07%) à des salines de compensation ($N = 23$) et 497 (0,25 %) à un lac ou une rivière ($N = 1\ 272$) (figure 2.2). Dans l'ensemble, très peu de localisations ont été enregistrées aux sources de sodium que nous avons identifiées. De plus, 66 salines au bord d'une route et 12 salines de compensation (70% des salines), de même que 1 139 lacs ou rivières (90%), présents sur notre aire d'étude n'ont apparemment jamais été fréquentés par les originaux porteurs de collier.

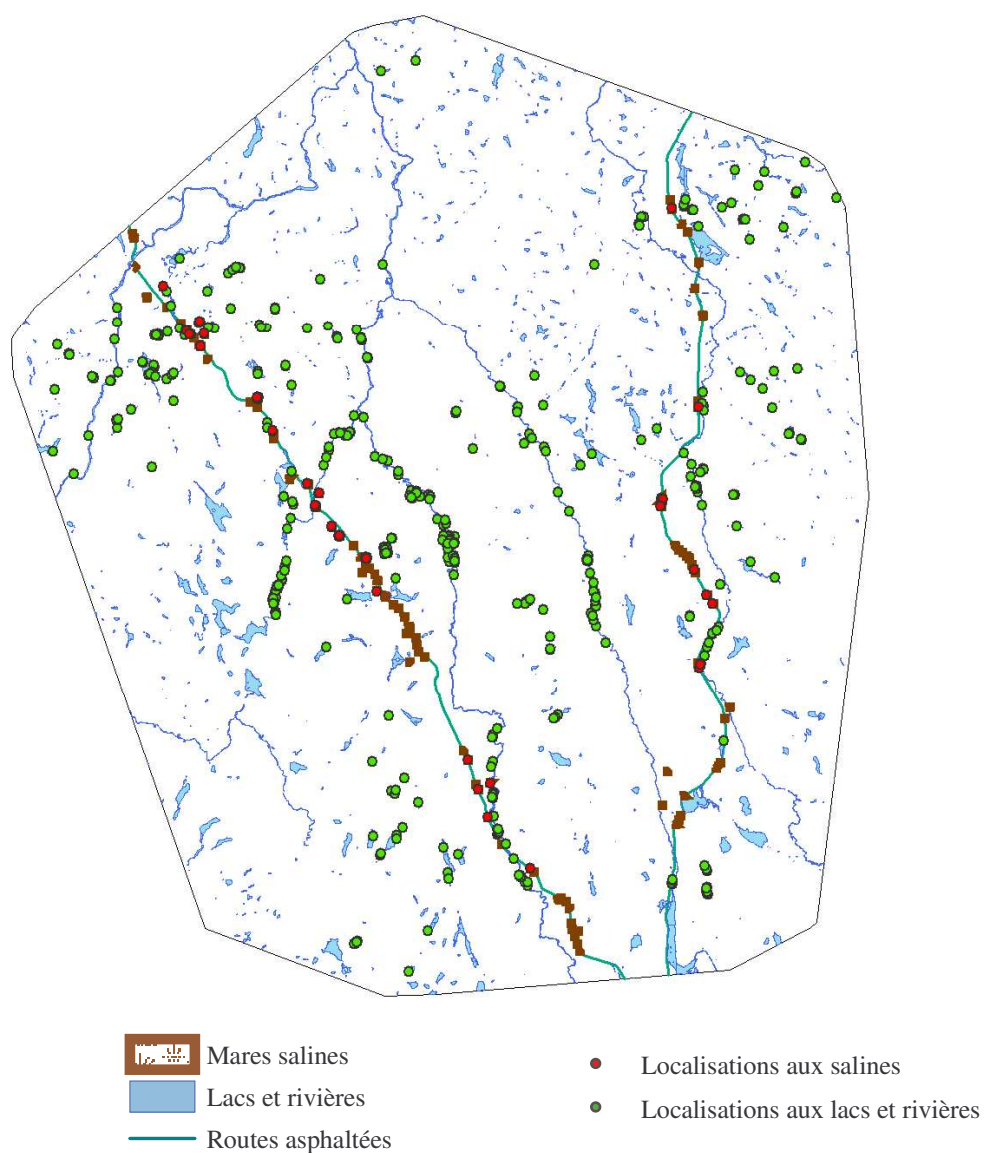


Figure 2.2. Localisations enregistrées aux sources potentielles de sodium.

Fréquentation des sources de sodium

Certains originaux ont fréquenté la zone proche des routes asphaltées de manière relativement importante, et ce essentiellement au printemps et en été (chapitre 1). En effet, 31 des

47 individus suivis ont été localisés à une ou plusieurs reprises dans la bande située entre 0 et 50 m de part et d'autre d'une route. Parmi les 85 sites de localisations enregistrées dans cette bande entre janvier 2003 et mai 2005, 60 % présentaient une mare saline dans un rayon de 20 m, ce qui était significativement plus élevé ($\chi^2 = 59,45$; $P < 0,001$; $dl = 1$; $n = 298$) que pour les sites témoins (15,5 %). Aussi, parmi les 51 mares salines présentes près des sites de localisations, 86,3 % avaient été visitées alors que seulement 21,2 % des 33 mares salines proches de sites témoins présentaient des signes de passages d'orignaux ($\chi^2 = 35,56$; $P < 0,001$; $dl = 1$; $n = 84$). La fréquentation de la bande 0-50 m aux abords des routes asphaltées était en moyenne 31 fois plus élevée pour les orignaux qui avaient au moins une mare saline dans leur domaine vital ($F_{1,24} = 30,32$, $P < 0,001$, $n = 72$).

La fréquentation des lacs et rivières ainsi que celle des mares salines a varié entre les mois ($F_{11,327} = 5,77$, $P < 0,001$, $n = 375$ pour les salines et $F_{11,420} = 13,22$, $P < 0,001$, $n = 477$ pour les lacs et rivières). Les visites ont essentiellement eu lieu en juin, aussi bien pour les mares salines que pour les lacs et rivières (figure 2.3). La fréquentation des mares salines était également relativement élevée durant les mois de mai, juillet et août, et très faible en hiver (décembre, janvier et février notamment). Le patron temporel de fréquentation des lacs et rivières était un peu différent. À part juin, les visites étaient relativement plus fréquentes en mai puis juillet, suivi de l'automne (septembre et octobre). C'est aussi en hiver que la fréquentation des lacs et rivières a été la plus faible (figure 2.3).

Les orignaux qui avaient à la fois des lacs et rivières et au moins une mare saline dans leurs domaines vitaux printaniers et estivaux (mai à septembre) ont fréquenté les lacs et rivières huit fois plus que les mares salines ($F_{4,258} = 5,04$, $P < 0,001$, $n = 298$) et ce peu importe le mois

(interaction mois x source de sodium : $F_{4,327} = 0,76$, $P = 0,555$, $n = 298$). La présence d'au moins une mare saline dans le domaine vital n'a pas influencé la fréquentation des lacs et rivières ($F_{1,4} = 1,35$, $P = 0,310$, $n = 130$) peu importe le mois ($F_{4,77} = 0,84$, $P < 0,505$, $n = 130$).

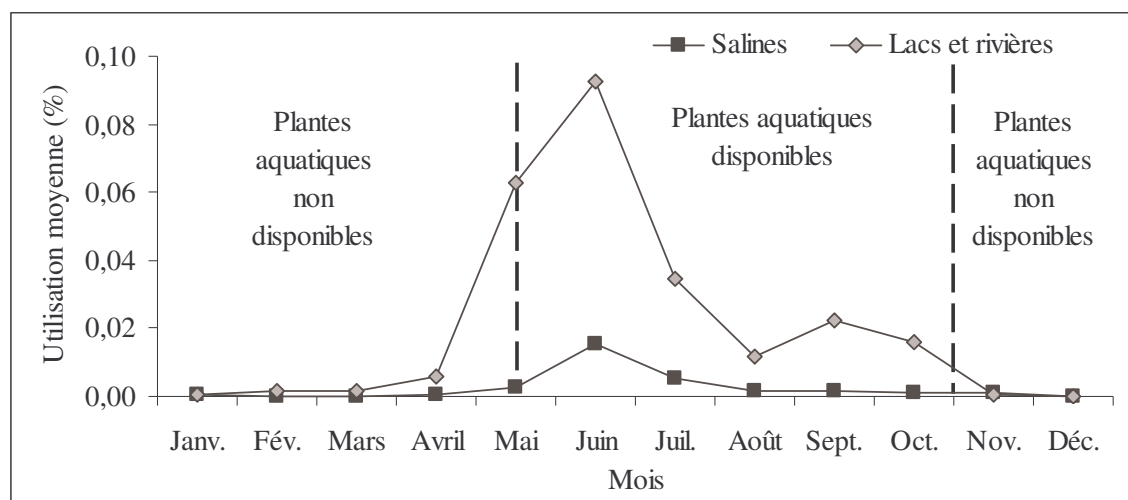


Figure 2.3. Distribution mensuelle de la fréquentation des sources de sodium par les originaux de la réserve faunique des Laurentides.

Utilisation de l'espace par rapport aux sources de sodium

Les taux de déplacements de l'original variaient selon qu'ils s'approchaient, qu'ils se rendaient à ou qu'ils quittaient une source de sodium (figure 2.4), et ce aussi bien pour les mares salines ($F_{2,322} = 5,33$, $P = 0,005$, $n = 378$) que pour les lacs et rivières ($F_{2,1376} = 42,40$, $P < 0,001$, $n = 1\,454$). Lors des visites aux mares salines, les taux de déplacements étaient significativement plus élevés lors du déplacement effectué par l'original pour se rendre à la mare saline que lors des déplacements précédents ou suivants (avant vs. pendant : $t_{322} = -3,20$, $P = 0,001$, $n = 378$; pendant vs. après : $t_{322} = -2,17$, $P = 0,031$, $n = 378$) qui étaient comparables entre eux (figure 2.4; $t_{322} = 1,03$, $P = 0,302$, $n = 378$). Ce type de comportement a été observé à

tout moment puisqu'il n'y avait pas d'interaction entre le mois et le type de déplacement (i.e. avant, pendant et après; $F_{18,322} = 0,89$, $P = 0,591$, $n = 1\ 454$).

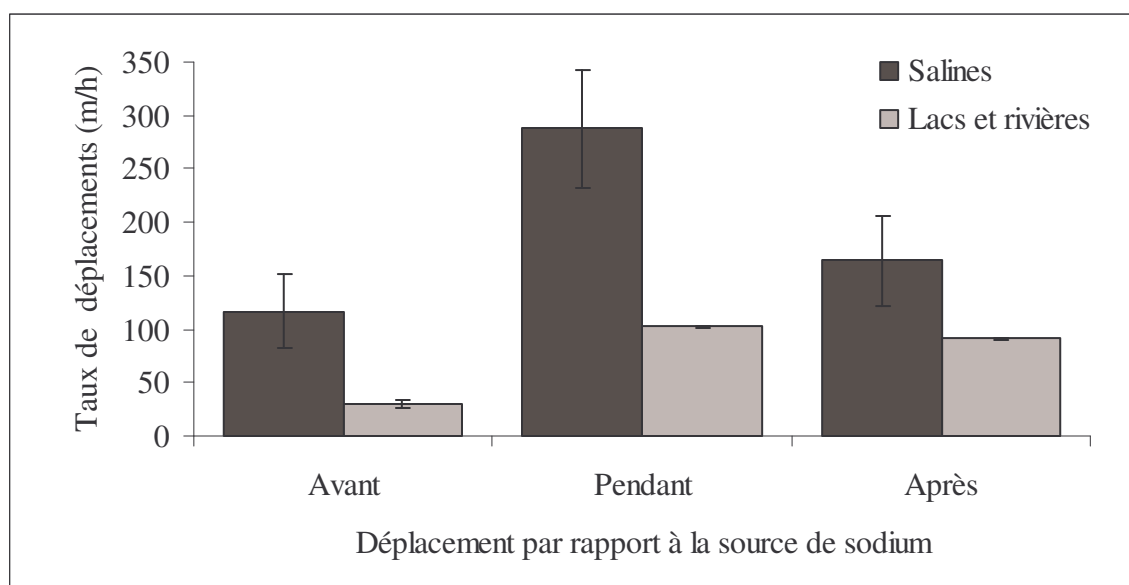


Figure 2.4. Taux de déplacements pour les trajets précédant (avant), se rendant à (pendant) et quittant (après) une source de sodium.

Les taux de déplacements de l'original lors d'un déplacement effectué pour se rendre à un lac ou une rivière étaient également plus élevés que les taux de déplacements observés lors des déplacements précédents ($P < 0,001$) (figure 2.4). Par contre, les taux de déplacements observés lors du déplacement effectué après la visite à un lac ou une rivière étaient comparables à ceux observés pendant le déplacement vers ce site ($t_{1376} = -0,83$, $P = 0,683$, $n = 1\ 454$). Les taux de déplacements pour se rendre aux lacs et rivières ont varié entre les mois. Ils étaient plus élevés en été et en automne (de juillet à octobre notamment, figure 2.5), période durant laquelle les macrophytes sont disponibles. Enfin, les taux de déplacement pour se rendre à une mare saline (moyenne = 179,12 m/h) étaient plus élevés que ceux pour se rendre à un lac ou une rivière

(moyenne = 104,45 m/h; $F_{1,545} = 6,02$, $P = 0,014$, $n = 611$) et ce en tout temps ($F_{10,545} = 1,51$, $P = 0,133$, $n = 611$). Cela indique que les orignaux ont parcouru de plus grandes distances, en un temps donné, pour se rendre à une saline comparativement à un lac ou une rivière.

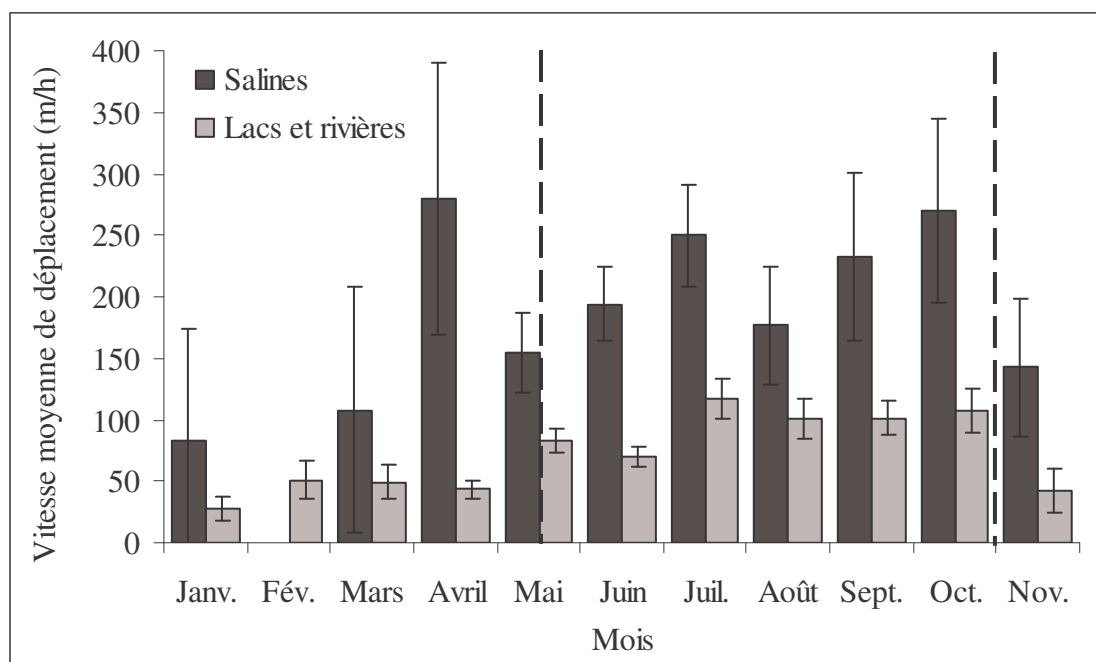


Figure 2.5. Taux de déplacements moyens des orignaux se rendant à une source potentielle de sodium, par mois.

Au printemps et en l'été, les orignaux ayant au moins une mare saline dans leur domaine vital mensuel avaient des domaines vitaux de plus grandes superficies que ceux n'en ayant pas ($F_{1,242} = 23,43$, $P < 0,001$, $n = 323$). Les domaines vitaux étaient aussi plus grands en mai et juin ($F_{4,242} = 8,04$, $P < 0,001$, $n = 323$) (figure 2.6) mais l'interaction entre le mois et la présence/absence de saline n'était pas significative ($F_{4,242} = 1,51$, $P < 0,199$, $n = 323$).

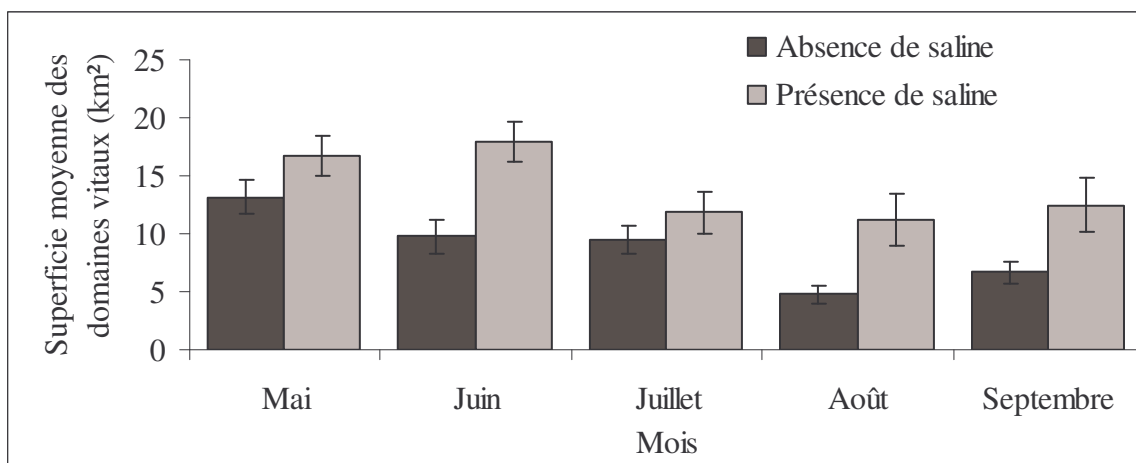


Figure 2.6. Superficies moyennes des domaines vitaux mensuels des orignaux au cours du printemps et de l'été dans la réserve faunique des Laurentides. Les orignaux ont été catégorisés selon qu'ils avaient ou non une mare saline dans leur domaine vital.

Discussion

L'objectif de l'étude était de vérifier l'hypothèse selon laquelle les orignaux modifient leur utilisation de l'espace et de l'habitat afin de satisfaire leur besoin en sodium qui varie au cours du cycle vital annuel. Bien que les orignaux aient rarement été localisés à des sources de sodium ($< 0,5\%$), nous avons clairement démontré une modification du comportement pour les individus ayant accès aux mares salines. Entre autres, ces individus effectuaient de grands déplacements pour se rendre aux mares salines, principalement à la fin du printemps et au début de l'été, alors que les besoins en sodium étaient théoriquement les plus élevés. Les orignaux ayant accès à une mare saline avaient conséquemment de plus grands domaines vitaux et fréquentaient plus souvent les abords des routes. Ceci démontre que la présence de mares salines en bordure des routes augmente les risques de collisions avec l'orignal. Toutefois, ce sont les

mares salines de compensation qui ont été plus visitées (88 visites sur 23 sites potentiels) que celles de bords de routes (40 visites sur les 86 sites potentiels), les risques étant moindre puisqu'elles sont plus éloignées des routes.

À notre connaissance, nous sommes les premiers à démontrer que l'orignal modifie son comportement pour accéder à des sources de sodium. Nous tenons à souligner la quantité extraordinaire d'information qui a été nécessaire pour parvenir à cette démonstration. En effet, puisque les mares salines sont relativement peu fréquentées par l'orignal, il a fallu trois années de suivi par télémétrie GPS avec une fréquence élevée de repérages sur plus de 47 individus différents pour démontrer cette hypothèse. C'est donc un comportement marginal pour l'orignal mais qui a des conséquences importantes pour les activités humaines.

Il est reconnu qu'à la fin de l'hiver et au printemps, les orignaux sont en déficit sodique puisque les végétaux chlorophylliens terrestres, qui reprennent leur cycle végétatif à ce moment là, présentent un déséquilibre ionique induit par une forte concentration en potassium et en eau (Weeks et Kirkpatrick 1976, Jordan 1987). Ces fortes concentrations en K^+ dans la végétation printanière induiraient la production d'excréments mous (Weeks et Kirkpatrick 1976, Staaland et Garmo 1987) et diminueraient temporairement la rétention du Na^+ habituellement fortement réabsorbé dans le tractus digestif (les $[Na^+]$ sont 15 fois plus élevées dans le rumen que dans le colon ; Ohlson et Staaland 2001). De plus, les orignaux perdent du poids et des réserves minérales au cours de l'hiver, et la reprise de ce poids à compter du printemps nécessiterait plus de Na^+ que le brout terrestre ne peut en fournir (Fraser et al. 1982). Le rapport Na:K des plantes aquatiques est plus élevé que celui des plantes terrestres, bien qu'il soit plus faible que celui de l'eau des mares salines dans laquelle il n'y a pas de K^+ , ce qui est théoriquement avantageux.

Pour les orignaux, la consommation de l'eau des mares salines leur permettrait d'acquérir de grandes quantités de sodium tout en minimisant les pertes (Couturier 1984).

Nos résultats suggèrent que les orignaux viennent en bordures des routes (0-50 m) majoritairement pour y consommer du sodium, puisque la fréquentation des abords des routes était plus élevée pour les orignaux dont les domaines vitaux incluaient des mares salines. Aussi, les localisations en bordure des routes étaient caractérisées par la présence de mares salines dans lesquelles des signes d'utilisation par l'original ont été observés. Mais les mares salines en bordure des routes ne sont pas les seules sources de sodium. Les lacs et les rivières, qui offrent des plantes aquatiques dont les concentrations en Na^+ ne sont pas négligeables (Fraser et al. 1980b-1982-1984), ont également été fréquentés par les orignaux.

La fréquentation des lacs et des rivières ainsi que celle des mares salines a été plus élevée au printemps et au début de l'été (en mai et juin notamment), période durant laquelle le déficit en sodium pour l'original serait maximal. Cette période correspond également au moment où les collisions impliquant l'original sont les plus fréquentes. Plusieurs auteurs ont associé une augmentation du risque d'accident impliquant l'original avec l'utilisation des mares salines en bordures de routes qui viendraient y combler leurs besoins en sodium (Grenier 1974, Fraser 1979, Fraser et Thomas 1982, Dussault et al. sous presse). Au Québec et en Ontario, la consommation de plantes aquatique se produirait également essentiellement en début d'été (Fraser et al. 1980a, Fraser et al. 1982). Ainsi, bien que nous ne puissions pas le vérifier hors de tout doute, nous croyons que les orignaux qui ont été localisés aux sources de sodium au printemps et au début de l'été consommaient, en partie du moins, cet élément minéral. Selon nos résultats, les lacs et les rivières étaient aussi fréquentés à des périodes de l'année durant lesquelles les plantes aquatiques

n'étaient pas disponibles, ce qui suggère qu'ils peuvent être utilisés pour d'autres raisons. Les individus pourraient les utiliser, par exemple, pour s'abreuver, pour fuir un prédateur ou encore pour favoriser la thermorégulation (Dussault et al. 2004). Cependant, les pics de fréquentation en mai et juin suggèrent que des visites spécifiques pour la consommation de Na^+ existent. En effet, c'est à cette période (fin mai - début juin) que les concentrations en sodium sont les plus élevées, autant dans la végétation aquatique (Fraser et al. 1982) que dans les mares salines (Fraser et Hristienko 1981, Tankersley et Gasaway 1983), alors qu'elles décroissent par la suite (Fraser et al. 1982, Grenier 1980, Jolicoeur et Crête 1994). Comme on peut le déduire indirectement par la baisse de la fréquentation des lacs et rivières dans notre étude, un déclin de la consommation des plantes aquatiques a déjà été remarqué en fin d'été (Joyal et Scherrer 1978, Fraser et al. 1982). Quant au second pic de fréquentation des lacs observé en septembre, il pourrait correspondre à l'accroissement momentané des besoins en sodium provoqués par l'œstrus comme Couturier et Barrette (1988) l'ont suggéré suite à l'observation du même phénomène à des mares salines naturelles dans la réserve faunique de Matane. Alternativement, les lacs et rivières sont aussi des milieux ouverts qui pourraient favoriser les contacts sociaux durant la reproduction.

La fréquentation des lacs et des rivières était supérieure à celle des mares salines même pour les individus ayant accès à une mare saline. Il se peut que les mares salines soient fréquentées lorsque les originaux sont en déficit sodique plus marqué (Jordan 1987) ou lorsque les plantes aquatiques ne sont pas pleinement développées. Toutefois, la fréquentation d'un lac n'implique pas nécessairement la consommation de plantes aquatiques et il faudrait pouvoir comparer le taux d'absorption du sodium dans les macrophytes et dans l'eau des mares salines pour déterminer la source la plus importante.

Les taux de déplacements des orignaux pour atteindre une source de sodium ont été plus élevés que pour les déplacements les précédant immédiatement, que ce soit pour atteindre un lac, une rivière ou une saline. Cela suggère que l'original effectue un déplacement orienté vers la mare saline ou vers le lac, probablement suite à un stimulus (par exemple, appétit pour le sel ou besoin relié à la thermorégulation). Les individus qui fréquentent les mares salines se déplacent d'ailleurs vers des secteurs qu'ils ne fréquentent habituellement pas (chapitre 1) (Belovsky et Jordan 1978, Joyal et Scherrer 1978, Fraser et Hristienko 1981, Tankersley et Gasaway 1983, Couturier et Barrette 1988). De plus, les déplacements vers les salines étaient bien plus longs (par unité de temps) que ceux effectués pour se rendre à un lac ou une rivière. Ceci pourrait simplement s'expliquer par la grande disponibilité des lacs et rivières. Ainsi, les orignaux fréquentent probablement les lacs et les rivières qu'ils rencontrent au cours de leurs déplacements.

Les orignaux ayant fréquenté des mares salines avaient des domaines vitaux de plus grande superficie que ceux n'en fréquentant pas. Cela supporte nos observations antérieures selon lesquelles les abords des routes sont évités et que les orignaux effectuent des déplacements pour se diriger spécifiquement vers ces sites. Ces déplacements de grande amplitude pourraient occasionner des coûts énergétiques qui doivent être compensés par certains avantages nutritionnels (Belovsky 1978, Jordan 1987). Les orignaux réutiliseraient probablement la (ou les) même(s) saline(s) (Best et al. 1977, Couturier 1984), ce qui expliquerait que seulement certaines salines présentes sur notre site d'étude aient été fréquentées, mais généralement à plusieurs reprises par un ou quelques individus.

Conclusion

Comme nous nous y attendions, les visites aux sources de sodium se sont produites essentiellement durant le printemps et le début de l'été. Par contre, les originaux ont fréquenté les lacs et les rivières davantage que les salines, en tout temps. Mais les visites aux mares salines pour y consommer de l'eau salée sont de courte durée (Leblond et al. 2005), ce qui pourrait expliquer la faible fréquence avec laquelle elles ont été enregistrées. Cependant, les individus qui fréquentent les mares salines parcourent de grandes distances pour les atteindre. Comme la plupart de ces salines sont très proches des routes, leur présence augmente les risques de collisions. Cela suggère que leur élimination (drainage et empierrement ou utilisation de produits déglaçants sans sodium) pourrait dissuader certains individus de fréquenter ces endroits.

Remerciements

Nous tenons à remercier Jean-François Cassie, Alexandre Hébert et Martine Lavoie pour leur participation aux travaux de terrain en bordure des routes, ainsi que les organismes qui ont subventionné le projet, notamment le Ministère des Transports, le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune et l'Université du Québec à Rimouski, le Conseil de recherches en sciences naturelles et génie du Canada (CRSNG), le Fonds québécois de recherche sur la nature et les technologies (FQRNT), ainsi que le Centre d'études nordiques (CEN).

Références

- Belovsky, G.E. 1978. Diet optimization in a generalist herbivore: The moose. *Theoretical Population Biology* 14: 105-134.
- Belovsky, G.E. et P.A. Jordan. 1978. The time-energy budget of a moose. *Theoretical Population Biology* 14: 76-104.
- Belovsky, G.E. et P.A. Jordan 1981. Sodium dynamics and adaptations of a moose population. *Journal of Mammalogy* 62: 613-621.
- Best, D.A., G.M. Lynch et O.J. Rongstad. 1977. Annual spring movements of moose to mineral licks in Swan Hills, Alberta. *Proceedings of North American Moose Conference Workshop* 13: 215-228.
- Church, D.C., G.E. Smith, J.P. Fontenot et A.T. Ralston. 1971. Digestive physiology and nutrition of ruminants. *Oregon St. Univ. Book Stores* 2: 401-801.
- Couturier, S. 1984. L'utilisation des salines par l'orignal et le cerf de Virginie dans la réserve faunique de Matane. *Mémoire de Maîtrise. Université Laval*. 163 pp.
- Couturier, S. et C. Barrette. 1988. The behavior of moose at natural mineral springs in Quebec. *Canadian Journal of Zoology* 66: 522-528.
- Denton, D. 1982. *The hunger for salt: an anthropological, physiological and medical analysis*. Springer-Verlag, Berlin.
- Dussault, C., J.-P. Ouellet, R. Courtois, J. Huot, L. Breton et J. Larochelle. 2004. Behavioural responses of moose to thermal conditions in the boreal forest. *Ecoscience* 11: 321-328.
- Dussault, C., M. Poulin, R. Courtois et J.-P. Ouellet. Sous presse. Temporal and spatial distribution of moose-vehicle accidents in the Laurentides Wildlife Reserve, Quebec. *Wildlife Biology*.

- Fraser, D. 1979. Sightings of moose, deer, and bears on roads in northern Ontario. Wildlife Society Bulletin 7: 181-184.
- Fraser D., D. Arthur, J.K. Morton et B.K. Thompson. 1980a. Aquatic feeding by moose *Alces alces* in a Canadian lake. Holarctic Ecology 3: 218-223.
- Fraser, D., E. Reardon, F. Dieken et B. Loescher. 1980b. Sampling problems and interpretation of chemical analysis of mineral springs used by wildlife. Journal of Wildlife Management 44: 623-631.
- Fraser, D. et H. Hristienko. 1981. Activity of moose and white-tailed deer at mineral springs. Canadian Journal of Zoology 59: 1991-2000.
- Fraser D., B.K. Thompson et D. Arthur. 1982. Aquatic feeding by moose: seasonal variation in relation to plant chemical composition and use of mineral licks. Canadian Journal of Zoology 60: 3121-3126.
- Fraser, D. et E. Reardon 1980. Attraction of wild ungulates to mineral-rich springs in central Canada. Holarctic Ecology 3: 36-40.
- Fraser, D. et E.R. Thomas. 1982. Moose-vehicle accidents in Ontario: relation to highway salt. Wildlife Society Bulletin 10: 261-265.
- Fraser D., E.R. Chavez, J.E. Paloheimo. 1984. Aquatic feeding by moose: selection of plant species and feeding areas in relation to plant chemical composition and characteristics of lakes Canadian Journal of Zoology. 62: 80-87.
- Goodall, J. 1963. Feeding behaviour of wild chimpanzees: a preliminary report. Symposium in the Zoological Society of London. 10: 39.
- Grenier, P. 1974. Orignaux tués sur la route dans le parc des Laurentides, Québec, de 1962 à 1972. Le Naturaliste Canadien 101: 737-754.

- Grenier, P. 1980. Contribution a l'étude de moyens préventifs pour réduire le nombre d'accidents routiers impliquant des orignaux. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. Direction générale de la faune. Québec. 29 pp.
- Holdø, R.M., J.P. Dudley et L.R. McDowell. 2002. Geophagy in the African elephant in relation to availability of dietary sodium. *Journal of Mammalogy* 83: 652-664.
- Jolicoeur, H. et M. Crête. 1994. Failure to reduce moose-vehicle accidents after a partial drainage of roadside salt pools in Quebec. *Alces* 30: 81-89.
- Jordan, P.A. 1987. Aquatic foraging and the sodium ecology of moose: a review. Second International Moose Symposium. Swedish Wildlife Research Viltrevy. Sup. 1: 119-137.
- Jordan, P.A., D.B. Botkin, A.S. Dominski, H.S. Lowendorf et G.E. Belovsky. 1973. Sodium as a critical nutrient for the moose of Isle Royale. *Proceeding of the North American Moose Conference Workshop* 9: 13-42.
- Joyal, R. et B. Scherrer. 1978. Summer movements and feeding by moose in Western Quebec. *Canadian Field-Naturalist* 92: 252-258.
- Laurian, C., J.-P. Ouellet, R. Courtois, M. Poulin et L. Breton. 2005. Comportement des orignaux par rapport aux axes routiers dans la réserve faunique des Laurentides - rapport préliminaire. Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec, Ministère des transports du Québec et Université du Québec à Rimouski, Québec. 36 pp.
- Leblond, M., C. Dussault, J.-P. Ouellet, M. Poulin, R. Courtois et J. Fortin. 2005. Évaluation de l'aménagement des mares salines comme mesure de mitigation des accidents routiers impliquant les orignaux dans la réserve faunique des Laurentides. Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec, Ministère des transports du Québec et Université du Québec à Rimouski, Québec. 39 pp.

- MacCracken, J.G., V. Van Ballenberghe et J.M. Peek. 1993. Use of aquatic plants by moose: sodium hunger or foraging efficiency. *Canadian Journal of Zoology* 71: 2345-2351.
- Marlow, R.W. et K. Tollestrup. 1982. Mining and exploitation of natural mineral deposits by the desert tortoise, *Gopherus agassizii*. *Animal Behaviour* 30: 475-478.
- McNaughton, S.J. 1988 Mineral nutrition and spatial concentrations of African ungulates. *Nature* 334: 343-345.
- Miller, B.K. et J.A. Litvaitis. 1992. Use of roadside salt licks by moose, *Alces alces*, in Northern New Hampshire. *Canadian Field-Naturalist* 106: 112-117.
- Moe, S.R. 1993. Mineral content and wildlife use of soil licks in south-western Nepal. *Canadian Journal of Zoology* 71: 933-936.
- Ohlson, M. et H. Staaland. 2001. Mineral diversity in wild plants: benefits and bane for moose. *Oikos* 94: 442-454.
- Peterson, R.L. 1955. North American moose. University of Toronto Press. 280 pp.
- Robbins, C.T. 1993. Wildlife feeding and nutrition. 2nd ed. Academic Press, San Diego, California.
- Schaller, G.B. 1963. The mountain gorilla: ecology and behaviour. University of Chicago Press, Chicago.
- Staaland, H. et T. Garmo. 1987. A note on the manipulation of sodium and potassium concentrations in the rumen of reindeer and the possible effect on digestibility. *Rangifer* 7: 33-36.
- Tankersley, N.G. et W.C. Gasaway. 1983. Mineral lick use by moose in Alaska. *Canadian Journal of Zoology* 61: 2242-2249.
- Weeks, H.P. et J.R. Kirkpatrick. 1976. Adaptations of white-tailed deer to naturally occurring sodium deficiencies. *Journal of Wildlife Management* 40: 610-625.

3. Comportement de l'orignal en bordures des routes et modélisation de la probabilité de traversée

Christian Dussault, Jean-Pierre Ouellet, Catherine Laurian, Réhaume Courtois,

Marius Poulin et Laurier Breton

Résumé

Les corridors routiers exerceraient sur les cervidés un effet à la fois attractif à certains égards et répulsif pour d'autres. L'objectif de cette étude était de mieux comprendre le comportement des orignaux qui traversent la route. Nous avons examiné d'abord si les patrons de déplacements de l'orignal au moment de traverser la route étaient différents de ceux observés en d'autres moments. Ensuite, nous avons comparé l'environnement autour des trajets parcourus par l'orignal lors d'une traversée et autour des sites de traversée eux-mêmes avec des trajets et des sites aléatoires afin de déterminer si les orignaux passaient à des endroits particuliers pour traverser les routes. Au cours de l'étude de 3 ans, 47 orignaux différents ont été munis d'un collier de télémétrie GPS sur une période plus ou moins longue dans le nord de la réserve faunique des Laurentides. Nous avons observé un total de 84 et 122 traversées d'une route par l'orignal au printemps et en été, respectivement. Le taux de déplacement de l'orignal durant le pas impliquant la traversée d'une route étaient en moyenne plus de 2 fois supérieurs que durant les pas précédents ou suivants. Les trajets empruntés par l'orignal lors d'un déplacement impliquant une traversée de route étaient caractérisés par une forte proportion de peuplements de nourriture, une faible proportion de lacs et rivières, ainsi que par une topographie typique d'une vallée. Les sites de traversée de la route étaient aussi caractérisés par une faible proportion de lacs et rivières, mais aussi par la présence des mares salines et de peuplements offrant un bon couvert. Les résultats obtenus nous ont permis de développer un modèle spatial décrivant la probabilité de traversée par l'orignal le long des routes dans la réserve faunique des Laurentides, en tenant compte des variations de la densité de l'orignal. La relation entre la probabilité de traversée et le

nombre d'accidents routiers survenus au cours de la période 1990-2002 était faible à une fine échelle spatiale de l'ordre du kilomètre. Par contre, le modèle utilisé a permis de cerner de relativement grands secteurs (environ 10-20 km linéaires) à l'intérieur desquels le risque d'accident était plus élevé. Nos résultats soutiennent l'hypothèse selon laquelle les routes et leurs abords sont perçus comme des habitats peu intéressants par l'orignal, sauf pour utiliser certaines ressources comme les mares salines.

Introduction

Les routes sont parmi les infrastructures humaines les plus invasives dans le milieu naturel. Elles affectent de diverses façons les écosystèmes terrestres et aquatiques. Pour la faune terrestre, les principaux effets recensés sont la fragmentation de l'habitat (effet de barrière) et le dérangement causé par le bruit (Forman et Alexander 1998, Spellerberg 1998). Puisque les routes traversent le domaine vital de plusieurs animaux, elles sont à l'origine d'un nombre parfois élevé de mortalités dues à des collisions routières. Entre autres, elles sont le théâtre de collisions avec les cervidés (Forman et Alexander 1998), un problème méconnu de la plupart des usagers de la route mais qui est pourtant assez fréquent pour constituer un enjeu majeur de la sécurité routière dans plusieurs régions (de Bellefeuille et Poulin 2003). Cette problématique s'accroît d'ailleurs avec l'augmentation des densités de cervidés et le développement des réseaux routiers (Romin et Bissonette 1996, Groot-Bruinderink et Hazebroek 1996, Seiler et Eriksson 1997, Seiler et al. 2004). Le nombre de collisions avec les cervidés serait de l'ordre de plusieurs millions chaque année dans le monde (Conover et al. 1995, Groot Bruinderink et Hazebroek 1996, Romin et Bissonette 1996).

Le nombre et la variété des mesures d'atténuation visant à réduire les collisions avec les cervidés ont grandement augmenté au cours des dernières décennies. Puisque l'élimination complète du problème n'est pas un objectif réaliste (Malo et al. 2004), les mesures d'atténuation visent généralement à réduire le nombre d'accidents à un niveau socialement acceptable. Afin d'élaborer des mesures d'atténuation appropriées et efficaces, et de manière à les positionner aux meilleurs endroits, il est primordial de bien

connaître les facteurs qui influencent l'occurrence des accidents. Or, bien que la littérature sur le sujet soit abondante, il apparaît impossible d'identifier des causes universelles au phénomène (de Bellefeuille et Poulin 2003). Dans la plupart des cas cependant, il apparaît évident que la répartition spatiale et temporelle des accidents n'est pas aléatoire (e.g. Nielsen et al. 2003, Malo et al. 2004, Seiler 2005, Dussault et al., sous presse). La modélisation du risque d'accidents en fonction des caractéristiques de l'environnement pourrait s'avérer une alternative intéressante pour aider les gestionnaires lors de la planification du tracé d'une nouvelle route ou pour déterminer l'emplacement des structures telles que les clôtures et les passages à faune (Finder et al. 1999, Malo et al. 2004).

Les corridors routiers exerceraient à la fois un effet attractif à certains égards (Burson III et al. 2000, Yost et Wright 2001) et répulsif pour d'autres (Forman et Deblinger 2000, James et Stuart-Smith 2000, Dyer et al. 2002). Les cervidés pourraient être attirés par les emprises de routes pour retrouver plusieurs ressources importantes (de Bellefeuille et Poulin 2003). Par exemple, l'abord des routes forme un écotone propice au développement de jeunes feuillus, lesquels sont la principale source de nourriture pour plusieurs espèces de cervidés (Bédard et al. 1978, Child 1998, Finder et al. 1999). Parmi les autres facteurs susceptibles d'attirer les cervidés en bordure des routes, mentionnons la présence de minéraux dont le sodium (Grenier 1974, Jolicoeur et Crête 1994). Dans les régions enneigées, le déglacage des routes peut engendrer une concentration de sodium élevée dans les mares d'eau stagnantes proches de celles-ci. Cet élément, qui est rare dans l'environnement, est nécessaire pour plusieurs fonctions physiologiques chez les mammifères (Belovsky et Jordan 1981). Les mares salines, où se

concentre le sodium issu des sels de déglacage, attireraient l'orignal au même titre que les sources minérales naturelles (Fraser et al. 1982, Couturier 1984, Jolicoeur et Crête 1994, Bechtold 1996, chap. 2). La présence d'un corridor de déplacement (i.e. des coulées de part et d'autre de la route) augmente aussi le risque de collisions (Child et al. 1991, Del Frate et Spraker 1991). En effet, les animaux pourraient utiliser les passages les moins accidentés pour effectuer leurs déplacements de moyenne et de grande amplitude (e.g. dispersion des jeunes), mais peu d'études se sont spécifiquement intéressées à cette question.

Au Québec, les accidents routiers mettant en cause les cervidés impliqueraient annuellement plus de 2300 cerfs de Virginie et 200 orignaux (Munro et al. 2001). Comme ailleurs dans le monde, ces valeurs seraient considérablement sous-estimées et devraient plutôt être majorées d'au moins 50 % puisque plusieurs accidents ne sont pas rapportés (Farrell et al. 1996, Seiler et al. 2004). La réserve faunique des Laurentides est un bon exemple de territoire où persiste une problématique d'accidents routiers avec les cervidés (Grenier 1974), l'orignal en l'occurrence. Ce territoire est traversé par deux routes provinciales majeures et la densité de l'orignal y est passablement élevée. Il n'est donc pas surprenant que la réserve faunique des Laurentides ait été le théâtre d'environ 50 accidents routiers impliquant l'orignal par année entre 1990 et 2002. Afin d'aider le Ministère des Transports du Québec (MTQ) à améliorer sa compréhension du problème, nous avons tout d'abord effectué une analyse des segments de route où se sont produits les accidents avec un orignal au cours de cette période. Cette première analyse a permis de déterminer que la répartition spatiale des accidents routiers était d'abord influencée par la densité de l'orignal, les accidents étant plus fréquents dans le secteur nord où les

densités sont les plus élevées (Dussault et al., sous presse). Le nombre d'accidents était aussi 50 % supérieur sur les tronçons où au moins une mare saline était présente et 120% plus élevé en présence d'une vallée transversale à la route. Cette première échelle d'analyse n'était pas optimale pour bien évaluer l'influence de certaines variables. En effet, chaque accident était positionné à la borne kilométrique la plus près, ce qui limitait considérablement la précision des variables pouvant être analysées.

Afin de mieux comprendre la dynamique des déplacements des orignaux en bordure des routes dans la réserve faunique des Laurentides, nous avons munis 30 orignaux d'un colliers de télémétrie GPS entre l'hiver 2002 et 2005 (3 ans). Une première analyse du comportement de l'orignal face aux axes routiers (voir chapitre 1) a permis de constater que les traversées de route par l'orignal étaient des événements très rares. Dans ce volet de l'étude, nous désirons mieux comprendre le comportement des orignaux qui traversent la route afin de déterminer s'ils le font à des endroits particuliers et s'ils adoptent un comportement particulier à ce moment. Dans un premier temps, nous avons examiné si les patrons de déplacements de l'orignal au moment de traverser la route étaient différents de ceux observés en d'autres moments. Ensuite, nous avons comparé l'environnement autour des trajets parcourus par l'orignal lors d'une traversée et autour des sites de traversée eux-mêmes avec des trajets et des sites aléatoires afin de connaître si les orignaux utilisaient des trajets ou des sites particuliers pour traverser les routes. Enfin, les résultats obtenus nous ont permis de développer un modèle spatial décrivant la probabilité de traversée par l'orignal le long des routes dans la réserve faunique des Laurentides.

Site d'étude

L'étude s'est déroulée dans la réserve faunique des Laurentides, un vaste territoire boisé d'une superficie de 7 861 km² situé au nord de la ville de Québec et au sud de Ville Saguenay. Deux routes majeures, soit les routes provinciales 175 et 169, traversent la réserve dans un axe nord-sud. Ces routes sont asphaltées et n'offrent en majeure partie qu'une seule voie dans chaque direction. En 2002, le débit journalier moyen a été estimé à 1460 voitures sur la route 169, à 2800 voitures sur la 175 au nord de l'intersection de ces deux routes et à 4800 voitures sur la 175 au sud de cette même intersection. Ce débit est considéré élevé pour une route traversant un milieu forestier d'une telle superficie, ce qui explique en partie la problématique d'accidents avec la grande faune qui y persiste. La vitesse permise sur les routes de la réserve est de 90 km/h.

La forêt dans le secteur d'étude est typique de la région boréale (Dussault et al. 2001). Les peuplements résineux de sapin (*Abies balsamea*) et d'épinette noire (*Picea mariana*) dominent sur les hauts plateaux alors que les secteurs à plus basse altitude et les vallées sont recouverts de peuplements mélangés et feuillus, surtout du bouleau à papier (*Betula papyrifera*) du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), du bouleau jaune (*B. alleghaniensis*) et des érables (*Acer rubrum* et *A. saccharum*). L'industrie forestière est active sur le territoire depuis de nombreuses années, ce qui crée une mosaïque forestière hétérogène de peuplements matures entrecoupés par des peuplements en régénération. Une épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) ayant sévi il y a une vingtaine d'années a également contribué à rajeunir la forêt. Le secteur

d'étude est montagneux et sillonné de plusieurs vallées profondes le long des cours d'eau majeurs.

La mosaïque de peuplements jeunes et matures, issue de perturbations naturelles et anthropiques, constitue un habitat d'une excellente qualité pour l'orignal. La densité de cette espèce a été estimée à 2,2 orignaux / 10 km² à l'hiver 1994 (St-Onge et al. 1995), mais la densité a de toute évidence augmenté de façon notable depuis cette époque à cause d'une chasse plus restrictive depuis la mise en application du plan de gestion de l'orignal du MRNF en 1994 (Lamontagne et Jean 1999). De plus, la densité est passablement plus élevée dans certains secteurs, notamment dans le nord de la réserve (jusqu'à 8 orignaux / 10 km² dans certains secteurs, St-Onge et al. 1995) où l'habitat est très propice et dans le sud, le long du parc de conservation de la Jacques-Cartier, où la chasse est interdite (en moyenne 5 orignaux / 10 km², Dussault 2002). Le caribou (*Rangifer tarandus*), le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) et l'ours noir (*Ursus americanus*) sont les autres espèces de grands mammifères que l'on retrouve dans le secteur d'étude. Les prédateurs potentiels de l'orignal sont le loup gris (*Canis lupus*) et l'ours noir.

Les hivers sont particulièrement rigoureux dans la réserve des Laurentides, avec des précipitations sous forme de neige parmi les plus élevées au monde. Les chutes de neige ne sont par contre pas homogènes. L'accumulation de neige au sol est en moyenne 20% supérieure dans le sud (122 cm en mars) comparativement au nord (102 cm; données provenant des stations météorologiques opérées par le Ministère de l'Environnement du Québec dans la réserve des Laurentides au cours des 30 dernières années). La neige

commence à s'accumuler au sol au début de novembre, atteint sa profondeur maximale vers la mi-mars et persiste jusqu'au début de juin en forêt. Le déneigement et le déglacage des routes sont régulièrement pratiqués durant cette période et plus de 100 tonnes de sel déglacant par kilomètre de route y sont répandues annuellement (Jolicoeur et Crête 1994). Les températures maximales et minimales quotidiennes sont respectivement de -9,0 et -21,7°C en janvier, et de 21,7 et 9,5°C en juillet.

Méthodes

Capture et télémétrie

Les travaux de capture et de télémétrie se sont déroulés dans la partie nord de la réserve faunique des Laurentides. Nous avons d'abord repéré tous les individus présents dans une bande de 2 km de part et d'autre des routes 175 et 169, au nord de leur intersection. Les orignaux marqués ont été répartis dans l'ensemble du site d'étude. Cependant, afin de pouvoir répondre aux objectifs de la recherche, nous avons capturé environ 65% d'entre eux dans cette bande de 2 km pour obtenir un échantillon suffisant d'individus susceptibles d'entrer en contact avec l'une des routes principales. Nous avons utilisé des colliers GPS (Lotek Wireless Inc., Newmarket, Ontario, Canada) afin de recueillir un grand nombre de localisations d'une grande précision, aussi bien de jour que de nuit et quelles que soient les conditions météorologiques (Rodgers et al. 1996). Les captures ont été réalisées selon les méthodes approuvées par le comité de bons soins aux animaux de Faune Québec (certificat no. 97-05). Les orignaux étaient immobilisés avec du carfentanil et de la xylazine (Delvaux et al. 1999).

Un premier groupe de 30 orignaux adultes (de 2,5 ans et plus; 22 femelles et 8 mâles) ont été munis de colliers en janvier et février 2003. Entre janvier et mars 2004, 17 orignaux furent capturés de nouveau pour télécharger les données et remplacer les batteries de leurs colliers. Puis nous avons placé des colliers sur 12 nouveaux individus (6 mâles et 6 femelles) pour remplacer une partie des animaux morts ou les colliers défectueux. De façon comparable, entre janvier et mars 2005, nous avons remplacé 18 colliers (sur 4 mâles et 14 femelles) et marqué 13 nouveaux individus. Nous avons récupéré l'ensemble des colliers entre janvier et avril 2006. Les colliers GPS ont été programmés pour prendre une localisation toutes les 2 ou 3 heures (une fréquence de 3 h a été utilisée seulement en 2003, de septembre à mars pour 33% des colliers). L'erreur de positionnement a été estimée à <35 m, 95 % du temps (Dussault et al. 2001a).

Caractéristiques des trajets empruntés et des sites choisis par l'orignal lors d'une traversée de route

Les traversées d'une route par l'orignal ont été identifiées en reliant les localisations successives (espacées de ≤ 3 heures) de chaque individu par une ligne. Une traversée de route était assumée aux intersections entre ces « pas » (de l'anglais *step*) et les routes asphaltées présentes dans le secteur d'étude. Suite à une analyse préliminaire des données, les trajets parcourus par l'orignal au moment d'une traversée ont été définis à partir d'une série de 3 pas successifs, soit le pas précédant la traversée, le pas de la traversée elle-même, et le pas suivant la traversée. L'emplacement des sites de traversées a été présumé être au point d'intersection entre les pas et les routes (Figure 3.1).

Nous avons mesuré une série de variables caractérisant l'habitat de l'orignal et la topographie dans des zones tampons de 250 m centrées sur chaque trajet ou site de traverse (Tableau 1). L'ensemble de ces variables a aussi été calculé dans un nombre équivalent de trajets et de sites de traverses répartis aléatoirement. Les trajets et sites de traversée aléatoires ont été obtenus par une rotation et une translation aléatoire des trajets et sites réels le long des routes à l'intérieur du secteur où les orignaux étaient suivis par télémétrie (i.e. MCP 100% de l'ensemble des localisations).

Les cartes écoforestières digitalisées du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF) ont été utilisées pour caractériser l'environnement. Ces cartes ont été élaborées à partir de photographies aériennes à l'échelle 1:15 000. Le contour de chaque peuplement forestier était tracé et les caractéristiques suivantes du couvert arborescent étaient notées : type de couvert (résineux, feuillu ou mixte), densité de la canopée, classes de hauteur et d'âge des arbres. La taille minimale des peuplements cartographiés était de 4 ha pour les peuplements forestiers et 2 ha pour les zones non productives (lacs, tourbières, etc.). Les cours d'eau étaient aussi identifiés sur la carte.

Tel que suggéré par Dussault et al. (2001), les peuplements offrant beaucoup de nourriture ont été définis comme ceux comportant une régénération mixte ou feuillue (i.e., coupes forestières ≥ 5 ans, épidémies sévères d'insectes, chablis, brûlis, etc.). Les peuplements offrant du couvert étaient ceux avec $\geq 25\%$ de surface terrière en arbres résineux appartenant aux classes d'âge ≥ 30 ans. Les mares salines situées au bord des routes 169 et 175 et fréquentées par l'orignal ont été recensées à l'automne 2003 en circulant à basse vitesse sur l'accotement dans les deux directions.

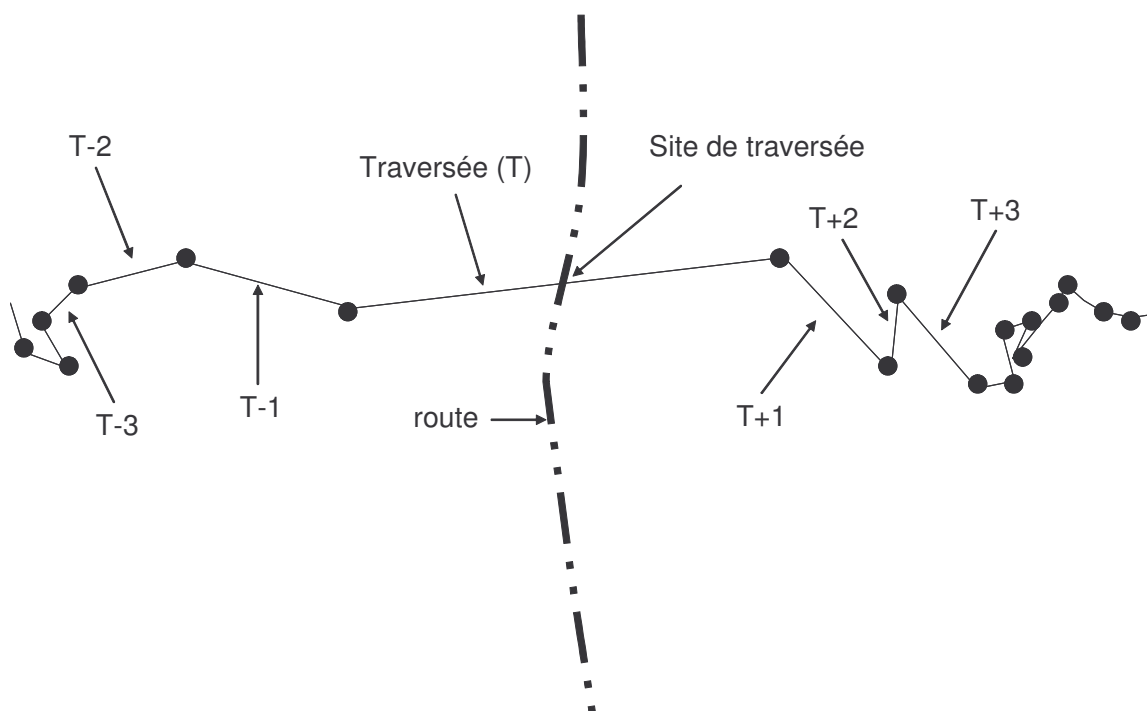


Figure 3.1. Schéma montrant les localisations (●) d'un orignal avant, pendant et après une traversée de route. Les localisations successives ont été reliées par une ligne et le site de traversée a été présumé se trouver à l'intersection entre cette ligne et la route. Le segment durant lequel la traversée a eu lieu (T), ainsi que les segments précédents et suivants (T-3 à T+3) sont identifiés.

Une mare saline était définie comme une surface recouverte d'eau salée et/ou de vase, avec des signes évidents d'une utilisation répétée par l'orignal (traces fraîches, réseaux de pistes, végétation abîmée ou tuée). Bien que la salinité n'ait pas été mesurée dans toutes les mares salines, elle était toujours supérieure à 300 ppm dans les 30 mares échantillonnées, et souvent supérieure à 1000 ppm. Une telle concentration en sel est plusieurs dizaines de fois supérieure à la concentration retrouvée dans les mares d'eau éloignées de la route (Jolicoeur et Crête 1994). Enfin, nous avons utilisé la carte

topographique à l'échelle 1:20 000 du MRNF pour générer un modèle numérique d'élévation (MNE) avec des cellules de 25 m dans le secteur d'étude. Le MNE a permis de créer une carte de l'altitude, des pentes et de l'orientation des pentes.

Tableau 3.1. Liste des variables caractérisant la topographie et l'habitat de l'original dans un rayon de 250 m autour des trajets empruntés lors d'une traversée de route et autour des sites de traversée.

Classe	Variable	Valeur	Source
Topographie	Altitude	Moyenne, écart-type, minimum, maximum	Modèle numérique d'élévation
	Pente	Moyenne, écart-type, minimum, maximum	Modèle numérique d'élévation
	Orientation de la pente	Moyenne, écart-type, minimum, maximum	Modèle numérique d'élévation
Habitat de l'original	Peuplement de nourriture	Proportion	Carte écoforestière du MRNF
	Peuplement de couvert	Proportion	Carte écoforestière du MRNF
	Lacs et rivières	Proportion	Carte écoforestière du MRNF
	Mares salines	Nombre	Inventaire sur le terrain

Analyse des données

Nous avons limité les analyses aux périodes du printemps (1 mai au 10 juin) et de l'été (11 juin au 20 octobre, période avec feuilles) puisque ces périodes correspondent au pic annuel des accidents routiers avec l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides (Dussault et al., sous presse), et parce le nombre de traversées de la route était trop faible durant les autres périodes pour permettre une analyse statistique.

Déplacements

Un taux de déplacement (m / h) a été calculé en divisant la distance euclidienne entre les localisations successives par le temps écoulé entre ces deux localisations. Afin de voir si le taux de déplacement de l'orignal au moment de la traversée de la route différait de ceux observés avant et après la traversée, nous avons comparé le taux de déplacement lors de la traversée (T) avec les taux de déplacements des 3 pas précédents (T-1, T-2 et T-3) et des 3 pas suivant la traversée (T+1, T+2 et T+3). Pour chaque orignal et pour chaque traversée, nous avons calculé le taux de déplacement moyen pour les pas T-1 et T+1, T-2 et T+2, et T-3 et T+3. Afin de tenir compte des variations interindividuelles, nous avons utilisé des tests de t pour échantillons appariés comparant les taux de déplacements deux à deux (par exemple, le taux de déplacement au temps T vs. la moyenne des taux de déplacements aux temps T-1 et T+1).

Caractéristiques des trajets et des sites de traversée

Nous avons utilisé des régressions logistiques pas à pas pour identifier les variables caractérisant la topographie ou l'habitat de l'orignal permettant de discriminer

significativement ($P \leq 0.05$) les trajets ou les sites de traversée observés et les trajets ou les sites de traversée aléatoires (Finder et al. 1999). Nous avons utilisé l'aire sous la courbe ROC pour évaluer l'ajustement des modèles.

Modélisation de la probabilité de traversée de la route par l'orignal dans l'ensemble de la réserve

Nous avons appliqué le modèle de régression logistique décrivant la probabilité de traversée en fonction des variables environnementales le long des routes dans l'ensemble de la réserve faunique des Laurentides. Nous voulions évaluer la relation entre la probabilité de traverser et le risque d'accidents routiers impliquant l'orignal. Pour ce faire, nous avons généré des zones tampons à tous les 250 m mètres le long des routes et chacune des variables nécessaires à l'évaluation du modèle y a été calculée. Cependant, on peut s'attendre à ce que le risque d'accident ne soit non seulement influencé par la probabilité de traversée mais aussi par la densité de l'orignal (Dussault et al., sous presse). Ainsi, nous avons utilisé les données des inventaires aériens de l'orignal réalisés par le MRNF dans la réserve faunique des Laurentides en 1994 (St-Onge et al. 1995) et dans le parc de la Jacques-Cartier entre 1995 et 1998 (Dussault 2002) pour évaluer les changements de densité de l'orignal le long des routes 169 et 175. Ces inventaires ont été réalisés conformément à la méthode suggérée par Courtois (1991). La densité qui fut assignée à chaque secteur le long des routes est celle correspondant à la parcelle d'inventaire la plus près parmi les 45 disponibles. Un indice relatif de la probabilité de traversée a été obtenu en multipliant la densité locale de l'orignal par la probabilité de traversée.

Nous avons utilisé la base de données sur les accidents routiers couvrant la période de 1990 à 2002 pour obtenir un indice du risque réel d'accident avec l'original le long des routes dans la réserve faunique des Laurentides. Nous avons ainsi pu mettre en relation cet indice du risque réel avec le risque estimé selon le meilleur modèle du risque de traversée obtenu. Parmi les informations recueillies par les responsables de la collecte des données suite à un accident figurent la date et l'heure ainsi que la position de l'accident par rapport à la borne kilométrique la plus près. Pour que les deux informations puissent être comparées, nous avons calculé la moyenne de l'indice de la probabilité de traversée obtenu à tous les kilomètres de route. Nous avons finalement calculé le coefficient de corrélation de Pearson entre le nombre d'accident et l'indice de la probabilité de traversée développé dans cette étude.

Résultats

Patrons de déplacement

Durant les trois années de l'étude, nous avons observé 84 et 122 traversées d'une route par l'original au printemps et en été, respectivement. Le taux de déplacement de l'original durant le pas impliquant la traversée d'une route étaient en moyenne plus de 2 fois supérieurs à ceux des pas précédents ou suivants et ce, aussi bien au printemps qu'en été (Figure 3.2). De plus, les taux de déplacement mesurés au cours des pas précédant et suivant (T-1 et T+1) la traversée de la route étaient aussi plus grands que pour les autres pas qui ne différaient pas entre eux ($T > T-1$ et $T+1 > T-2$ et $T+2 = T-3$ et $T+3$; $P < 0.001$ toutes les comparaisons).

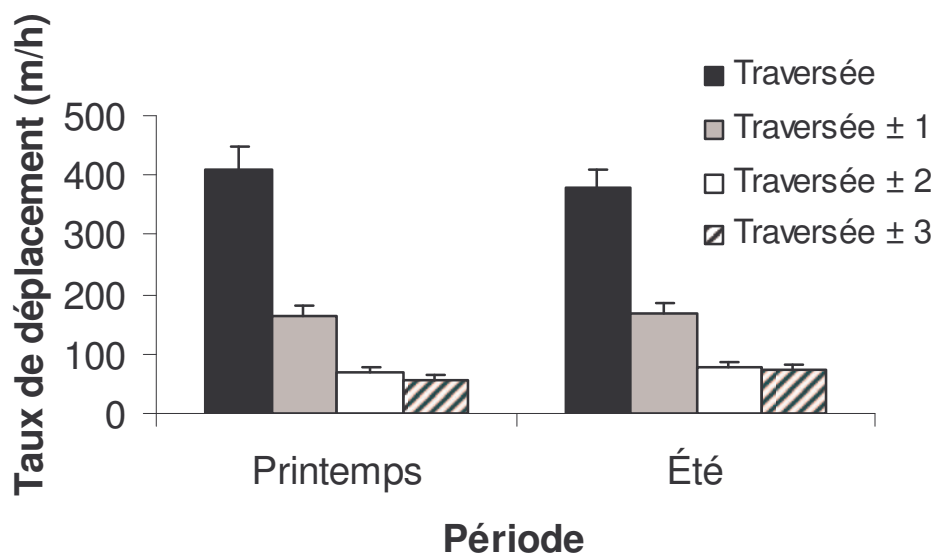


Figure 3.2. Taux de déplacement de l'orignal durant un déplacement impliquant la traversée d'une route asphaltée ainsi que durant les trois déplacements précédents et suivants.

Trajets empruntés par l'orignal lors de la traversée d'une route

Cinq variables ont permis de discriminer les trajets empruntés par l'orignal lors d'un déplacement impliquant une traversée de route (de T-1 à T+1) des trajets aléatoires (Tableau 2). L'écart-type de l'altitude, la proportion de peuplements de nourriture et le nombre de mares salines étaient positivement reliés à la probabilité qu'un trajet soit emprunté par l'orignal alors que l'écart-type de la pente et la proportion de lacs et rivières avaient un effet négatif. Les proportions de lacs et rivières et de peuplements de nourriture ont semblé avoir le plus d'effet sur la probabilité qu'un trajet soit emprunté par l'orignal. L'ajustement du modèle était acceptable (valeur de ROC = 0.73).

Tableau 3.2. Variables retenues dans le modèle de régression logistique discriminant les trajets empruntés par l'original lors d'un déplacement impliquant la traversée d'une route (T-1 à T+2) et les trajets aléatoires.

Variable	DL	Pente $\pm$ É-T	Khi-carré de Wald	P	Rapport de cote
Ordonnée à l'origine	1	0,687 $\pm$ 0,401	2,93	0,087	-
Écart-type de la pente	1	-0,184 $\pm$ 0,031	36,38	<0,001	0,832
Écart-type de l'altitude	1	0,016 $\pm$ 0,006	7,08	0,008	1,016
Lacs et rivières (%)	1	-11,368 $\pm$ 3,259	12,17	0,001	<0,001
Peuplements de nourriture (%)	1	1,695 $\pm$ 0,424	16,00	<0,001	5,447
Nombre de mares salines	1	0,236 $\pm$ 0,095	6,17	0,013	1,266

Sites de traversée d'une route par l'original

Les sites de traversée d'une route par l'original différaient des sites aléatoires (Tableau 3). La proportion de peuplement de couvert, le nombre de mares salines et l'écart-type de l'altitude étaient plus élevés aux sites de traversée observés qu'aux sites aléatoires; par contre, la proportion de lacs et rivières et l'altitude moyenne y étaient plus faibles. L'ajustement du modèle était acceptable (valeur de ROC = 0.75).

Validation du modèle du risque d'accident

L'indice généré à partir de la combinaison de la probabilité de traversée et de la densité de l'original variait beaucoup le long des routes (Figure 3.3). La relation entre cet indice et le nombre d'accidents survenus entre 1990 et 2002 était moins bonne sur la

route 169 ($r = 0,20$; $P = 0,132$) que sur la route 175 ($r = 0,53$; $P < 0,001$). Sur les deux routes, le modèle a cependant permis de discerner de grands secteurs (i.e. environ 15 km) où le risque était relativement plus élevé comme au nord et au sud sur la route 175 et au nord sur la route 169.

Tableau 3.3. Variables retenues dans le modèle de régression logistique discriminant les sites de traversée d'une route par l'orignal et les sites aléatoires.

Variable	DL	Pente $\pm$ É-T	Khi-carré de Wald	P	Rapport de cote
Ordonnée à l'origine	1	$0,389 \pm 0,400$	0,95	0,331	-
Peuplements de couvert (%)	1	$2,255 \pm 0,331$	46,32	<0,001	9,537
Altitude moyenne	1	$-0,007 \pm <0,001$	62,89	<0,001	0,994
Écart-type de l'altitude	1	$0,051 \pm 0,016$	10,57	0,001	1,053
Lacs et rivières (%)	1	$-5,331 \pm 2,176$	6,01	0,014	0,005
Nombre de mares salines	1	$0,599 \pm 0,112$	28,88	<0,001	1,821

Discussion

Comportement de l'orignal en bordure des routes

Bien qu'ils ne traversaient pas souvent les routes, les orignaux ont tout de même préféré le faire à des endroits où les caractéristiques de l'environnement étaient particulières. Aussi bien la topographie que l'habitat avait une influence sur la localisation des sites de traversée d'une route. De plus, les taux de déplacements de l'orignal le long d'un trajet impliquant une traversée de route (de T-1 à T+1) étaient

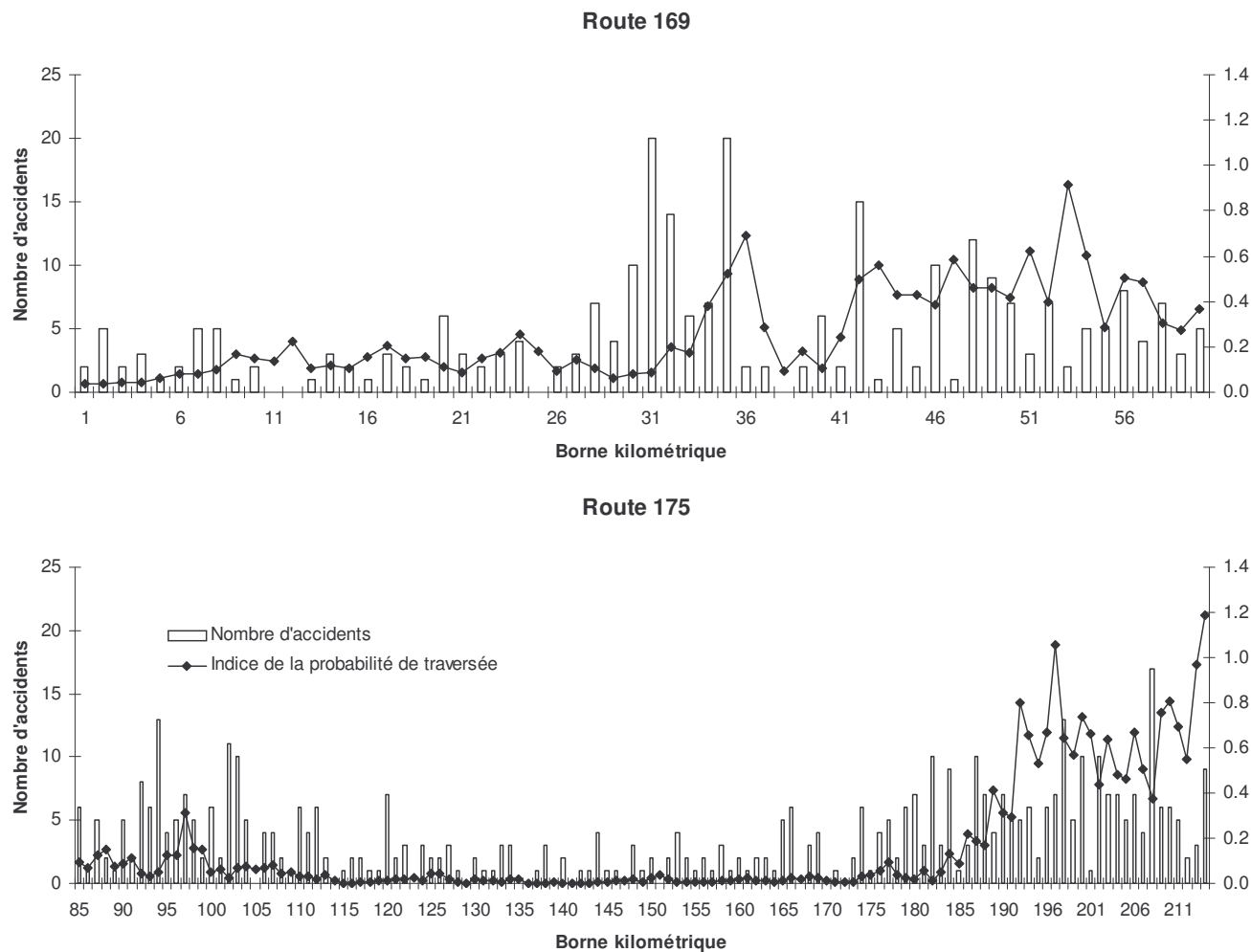


Figure 3.3. Relation entre l'indice de la probabilité de traversée et le nombre d'accidents impliquant un orignal le long des routes 175 et 169 dans la réserve faunique des Laurentides. L'indice de la probabilité de traversée intègre les variables environnementales caractérisant les sites de traversées et la densité locale de l'orignal.

le plus élevé était de loin celui mesuré lors du pas impliquant la traversée de la route. Ceci suggère une forme de planification de la traversée de la part des orignaux. Ceux-ci semblent s'approcher des routes et lorsqu'ils entrent dans la zone de dérangement, ils effectuent un déplacement rapide lorsqu'ils ont pris la décision de traverser. Ceci suggère que les orignaux perçoivent la route comme un environnement risqué. À notre connaissance, nous sommes les premiers à observer un tel changement comportemental d'un cervidé au bord d'une route.

La topographie retrouvée le long d'un trajet parcouru par l'orignal et impliquant la traversée d'une route était surtout caractérisée par des pentes peu variables et, à un moindre degré, par une altitude variable. À notre avis, cela indique que l'orignal circulait davantage le long des vallées (pentes peu variables). Par contre, ce résultat peut sembler en contradiction avec le fait que les trajets étaient aussi caractérisés par une faible proportion de lacs et rivières, puisque les rivières coulent dans les vallées. Cependant, nous expliquons cela simplement par le fait que l'orignal ne se déplace pas dans l'eau, et surtout pas dans les rivières, pour parcourir de grandes distances. L'orignal a plutôt semblé se déplacer dans les flancs d'une vallée, ce qui s'est traduit par une plus grande variabilité de l'altitude le long des trajets observés. D'ailleurs, une analyse faite *a posteriori* a révélé qu'en utilisant une zone tampon de 500 m au lieu de 250 m autour des trajets empruntés par l'orignal, la proportion de lacs et de rivières ne permettait plus de les caractériser. Enfin, nos résultats appuient ceux de Seiler (2005) selon qui la probabilité d'occurrence d'un accident avec l'orignal diminuait en fonction de la densité des cours d'eau. À notre connaissance, aucune étude n'a jusqu'à aujourd'hui démontré par un suivi télémétrique que les orignaux circulaient de préférence dans les vallées. La plupart des études ayant rapporté un effet de la topographie sur les déplacements de

l'orignal ont tiré leurs conclusions de la distribution des accidents routiers impliquant cette espèce (Gundersen et Andreassen 1998, Gundersen et al. 1998, Dussault et al. sous presse). Le loup (relevés de traces, Whittington et al. 2005) et le couguar (télémétrie VHF, Dickson et al. 2005) ont aussi utilisé des trajets traversant des reliefs relativement peu accidentés.

Les sites de traversée d'une route étaient situés dans des secteurs plats, où l'altitude moyenne était peu élevée, et où les lacs et rivières étaient peu présents. Encore une fois, ces caractéristiques de la topographie sont celles d'une vallée. En comparaison avec les trajets, il n'est pas surprenant que les sites de traversée aient été caractérisés par une altitude faible plutôt que par des pentes peu variables. En effet, puisque l'on présume que l'orignal se déplaçait souvent dans une vallée et que les routes elles-mêmes sont souvent situées au fond d'une vallée, les sites de traversée étaient donc souvent situés au croisement de deux vallées donc dans des secteurs relativement plats et bas par rapport aux alentours. En appui à nos résultats, Finder et al. (1999) avaient observé que la présence d'une topographie accidentée dans un rayon de 800 m, confinant les animaux à se déplacer dans des corridors bien précis, augmentait le risque de collisions avec le cerf de Virginie. La présence de vallées a été identifiée comme un facteur augmentant la probabilité de collision avec un orignal dans la réserve faunique des Laurentides (Dussault et al. sous presse) ainsi qu'en Norvège (Gundersen et Andreassen 1998) où les orignaux utilisaient les vallées comme route de migration. En Suède, une augmentation du risque de collision avec l'orignal était associée à des structures linéaires qui canalisait les individus près ou en travers de la route tels que les corridors riverains, les lignes de transport d'électricités et les pentes abruptes (Seiler 2005).

Les sites de traversée d'une route par l'orignal étaient aussi caractérisés par un nombre plus élevé de mares salines que les sites témoins. Dussault et al. (sous presse) rapportent des concentrations moyennes de sodium de l'ordre de 890 ppm dans ces mares salines, ce qui est bien supérieur aux mares salines naturelles (*e.g.* 162 ppm en Indiana (Weeks, Jr et Kirkpatrick 1976) ; 91 ppm sur l'Isle Royale (Risenhoover et Peterson (1986)) et artificielles (*e.g.* 336 ppm en Ontario (Fraser et Thomas 1982) ; 202 ppm en Nouvelle-Angleterre (Pletscher 1987) ; 629 ppm au New-Hampshire (Miller et Litvaitis 1992)) fréquentées par les cervidés. Le sodium est un élément rare dans les écosystèmes continentaux (Botkin et al. 1973) mais non moins nécessaire à plusieurs fonctions vitales chez les mammifères : maintien de l'équilibre du pH, de la pression osmotique et du volume sanguin, fonctionnement des cellules musculaires et nerveuses, croissance, reproduction, lactation, production de poils et maintien de la masse corporelle et de l'appétit (Weeks, Jr. et Kirkpatrick 1976, Belovsky et Jordan 1981, Robbins 1983). Les cervidés sont donc attirés par les mares salines, une source très concentrée en sodium brut. Bien que nous ne puissions pas démontrer que l'orignal a consommé de l'eau riche en sodium aux mares salines lors de leurs déplacements, nos résultats suggèrent que les orignaux risquent de traverser la route pour fréquenter une mare saline, ce qui accentue bien sûr les risques d'accident. De plus, le nombre réel de traversées était probablement supérieur à celui que nous avons observé. Bien que nous ayons utilisé la télémétrie GPS, le meilleur outil disponible pour étudier cette question, la fréquence des repérages n'était peut-être pas suffisante pour toutes les enregistrer. En effet, tel que démontré par Leblond et al. (2006), les visites aux mares salines durent la plupart du temps moins de 15 minutes

et, dans cette étude, nous avons démontré que l'orignal se déplaçait rapidement lorsqu'il effectuait un déplacement impliquant la traversée d'une route.

Il n'est pas surprenant que la proportion de peuplements de nourriture ait été plus élevée le long des trajets empruntés par l'orignal lors d'un déplacement impliquant la traversée d'une route. En effet, la disponibilité de nourriture a souvent été identifiée comme la variable la plus importante pour l'orignal (Puttock et al. 1996, Courtois et al. 2002). L'orignal doit quotidiennement consommer de trois à huit kilogrammes (poids sec) de ramilles ou de feuilles, selon la saison, pour subvenir à ses besoins (Belovsky et Jordan 1978, Hjeljord et al. 1982, Crête et Courtois 1997). Gundersen et al. (1998) et Seiler (2004) ont aussi démontré que la disponibilité de nourriture était un facteur influençant la répartition spatiale des accidents avec l'orignal à une échelle locale. Il est par contre intéressant de noter qu'au site même de la traversée de la route, ce n'étaient pas les peuplements de nourriture mais bien les peuplements de couvert qui étaient recherchés par l'orignal. Tout comme observé par Leblond et al. (2006) dans les mares salines, nous croyons que la présence d'arbres résineux matures, qui procurent une bonne obstruction visuelle latérale, était importante pour l'orignal aux sites de traversée d'une route pour réduire le dérangement dû aux véhicules. L'évitement des routes par le caribou a aussi été rapporté comme étant plus faible là où la forêt était plus dense en Alberta (Dyer et al. 2001). La proportion de couvert forestier était aussi une variable importante à l'échelle du kilomètre pour expliquer l'occurrence des accidents avec le chevreuil (*Caproleus caproleus*) et le sanglier (*Sus scrofa*) en Espagne.

Relation entre la probabilité de traversée et le risque d'accidents

La relation entre la probabilité de traversée et le nombre d'accidents routiers survenus au cours de la période 1990-2002 n'était pas très bonne à une fine échelle spatiale de l'ordre du kilomètre. En effet, le nombre d'accident variait beaucoup le long de chaque route et ce, même d'un kilomètre à l'autre. Par contre, le modèle utilisé a permis de cerner des secteurs relativement grands (environ 10-20 km linéaires) à l'intérieur desquels le risque d'accident était plus élevé. Cette échelle est adéquate pour servir de guide pour l'installation de structures à grandes échelles comme des clôtures ou des panneaux de signalisation, ou encore pour évaluer divers scénarios de tracé pour une nouvelle route. Nous suggérons par contre d'utiliser des données empiriques comme la localisation des accidents routiers pour l'élaboration de mesures d'atténuation à plus fine échelle. Il est important de mentionner que les modèles de régression logistique développés dans cette étude n'expliquaient pas toutes les traversées de route par l'orignal. Les valeurs de ROC (environ 0.75) indiquent un ajustement « acceptable » des modèles (Hosmer et Lemeshow 2000) mais d'autres variables associées à l'habitat ou au comportement de l'orignal sont susceptibles d'intervenir dans les traversées de route et d'influencer la localisation des traversées d'une route par l'orignal.

Recommandations pour la gestion

Cette étude a permis d'améliorer notre compréhension du comportement de l'orignal par rapport aux routes avec un trafic relativement élevé. L'orignal ne semblait pas percevoir les abords des routes comme un habitat intéressant puisqu'il n'y passait pas beaucoup de temps (chapitre 1) et qu'il s'y déplaçait rapidement. Le fait que les taux de déplacement étaient plus élevés aussi bien avant qu'après une traversée de la route suggère que l'orignal ne modifie pas spécifiquement son comportement pour rejoindre

une mare saline en bordure de la route, mais plutôt qu'il existe une zone d'influence de la route (*road effect zone*, Forman 2000) sur l'orignal. L'orignal pourrait ne pas s'attarder près des routes parce qu'il perçoit cet environnement comme risqué et peu intéressant. Ainsi, si l'orignal ne passe pas beaucoup de temps autour des routes, un aménagement de l'habitat en bordure de celles-ci, pour réduire la nourriture disponible par exemple, pourrait ne pas avoir les effets escomptés et ne pas réduire les traversées de l'orignal à un endroit précis. En effet, d'autres variables telles que la présence d'une vallée transversale à la route, permettant à l'orignal de se déplacer tout en minimisant ses dépenses énergétiques, ou la présence d'un bon couvert forestier résineux, pourrait davantage favoriser le passage de l'orignal. Bien entendu, il n'est pas possible d'agir sur la topographie. Mais les segments de route traversés par des vallées transversales pourraient être des endroits stratégiques pour l'installation de mesures d'atténuation (Gundersen et al. 1998). Par contre, il pourrait être souhaitable d'augmenter la largeur de l'emprise afin de réduire le couvert forestier dans les secteurs problématiques (voir aussi Finder et al. 1999, Malo et al. 2004, Seiler 2005).

Conclusion

Les résultats obtenus dans cette étude ainsi que l'ensemble des résultats obtenus à date dans le cadre du projet soutiennent l'hypothèse selon laquelle les routes et leurs abords sont perçus comme des habitats peu intéressants par l'orignal, sauf à l'occasion et dans le but de fréquenter les mares salines. Notamment, il a été démontré que les orignaux 1) évitent de traverser les routes [chapitre 1], 2) évitent généralement de fréquenter les abords des routes jusqu'à environ 500 m [chapitre 1], 3) fréquentent les

abords des routes et les mares salines surtout durant la nuit, 4) utilisent davantage les secteurs caractérisés par la présence d'une mare saline et d'un bon couvert végétal pour traverser la route, et 5) adoptent un taux de déplacement plus élevé pour aller aux mares salines [chapitre 2] ou pour traverser la route [cette étude]. À notre avis, l'absence de couvert sur la route et le dérangement occasionné par le trafic sont les principaux responsables de cet évitement. Un tel comportement d'évitement des routes avait été observé par télémétrie GPS pour le caribou (Dyer et al. 2001) et le wapiti (Rowland et al. 2000), mais c'est la première fois qu'il est démontré pour l'orignal.

Remerciements

Nous remercions Gordon Carl et Jacques Fortin pour leur aide lors des captures d'orignaux et les organismes qui ont subventionné le projet, notamment le Ministère des Transports, le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune et l'Université du Québec à Rimouski.

Références

- Bechtold, J.-P. 1996. Chemical characterisation of natural mineral springs in northern British Columbia, Canada. *Wildlife Society Bulletin* 24: 649-654.
- Bédard, J., M. Crête et E. Audy. 1978. Short-term influence of moose upon woody plants of an early seral wintering site in Gaspé peninsula, Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* 8: 407-415.

- Belovsky, G.E. et P.A. Jordan. 1981. Sodium dynamics and adaptations of a moose population. *Journal of Mammalogy* 62: 613-621.
- Botkin, D.B., P.A. Jordan, A.S. Dominsky, H.S. Lowendorf et G.E. Hutchinson. 1973. Sodium dynamics in a northern forest ecosystem. *Proceedings of Natural Academic Science* 70: 2745-2748.
- Burson, S.L., L.L. Belant, K.A. Fortier et W.C. Tomkiewicz. 2000. The effect of vehicle traffic on wildlife in Denali National Park. *Arctic* 53: 146-151.
- Child, K.N. 1998. Incidental mortality. pp. 275-301 *dans* Ecology and management of the North American moose (A.W. Franzmann et C.C. Schwartz, éd.). Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Child, K.N., S.P. Barry et D.A. Aitken. 1991. Moose mortality on highways and railways in British Columbia. *Alces* 27: 41-49.
- Conover, M.R., W.C. Pitt, K.K. Kesler, T.J. DuBow et D.A. Sanborn. 1995. Review of human injuries, illnesses, and economic losses caused by wildlife in the United States. *Wildlife Society Bulletin* 23: 407-414.
- Courtois, R. 1991. Normes régissant les inventaires aériens de l'orignal. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Québec. 24 p.
- Courtois, R., C. Dussault et F. Potvin. 2002. Habitat selection by moose (*Alces alces*) in clear-cut landscapes. – *Alces* 38: 177-192.
- Couturier, S. 1984. L'utilisation des salines par l'orignal et le cerf de Virginie dans la réserve faunique de Matane. Mémoire de maîtrise, Université Laval. 163 p.
- Crête, M. et R. Courtois. 1997. Limiting factors might obscure population regulation of moose (Cervidae: *Alces alces*) in unproductive boreal forests. *Journal of Zoology* 242: 765-781.

- De Bellefeuille, S. et M. Poulin. 2003. Mesures de mitigation visant à réduire le nombre de collisions routières avec les cervidés. In Ministère des Transports, Direction générale de Québec et de l'Est, Québec. 117 p.
- Del Frate, G.G. et T.H. Spraker. 1991. Moose vehicle interactions and an associated public awareness program on the Kenai Peninsula, Alaska. *Alces* 27: 1-7.
- Delvaux, H., R. Courtois, L. Breton et R. Patenaude. 1999. Relative efficiency of succinylcholine, xylazine, and carfentanil/xylazine mixtures to immobilize free-ranging moose. *Journal of Wildlife Diseases* 35: 38-48.
- Dickson, B.G., J.S. Jenness et P. Beier. 2005. Influence of vegetation, topography, and roads on cougar movement in southern California. *Journal of Wildlife Management* 69: 264-276.
- Dussault, C. 2002. Influence des contraintes environnementales sur la sélection de l'habitat de l'orignal (*Alces alces*). Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, Québec.
- Dussault, C., R. Courtois, J. Huot et J.-P. Ouellet. 2001. The use of forest maps for the description of wildlife habitats: limits and recommendations. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1227-1234.
- Dussault, C., R. Courtois, J.-P. Ouellet et J. Huot. 2001b. Influence of satellite geometry and differential correction on GPS location accuracy. *Wildlife Society Bulletin* 29: 171-179.
- Dussault, C., M. Poulin, R. Courtois et J.-P. Ouellet. Sous presse. Temporal and spatial distribution of moose-vehicle accidents in the Laurentides Wildlife Reserve, Quebec, Canada. *Wildlife Biology* 2006.

- Dyer, S.J., J.P. O'Neill, S.M. Wasel et S. Boutin. 2001. Avoidance of industrial development by woodland caribou. *Journal of Wildlife Management* 65: 531-542.
- Farrell, T.M., J.E. Sutton, D.E. Clark, W.R. Horner, K.I. Morris, K.S. Finison, G.E. Menchen et K.H. Cohn. 1996. Moose-motor vehicle collisions. An increasing hazard in northern New England. *Archives of Surgery* 131: 377-381.
- Finder, R.A., L.L. Roseberry et A. Woolf. 1999. Site and landscape conditions at white-tailed deer vehicle collision locations in Illinois. *Landscape and Urban Planning* 44: 77-85.
- Forman, T.R. 2000. Estimate of the Area Affected Ecologically by the Road System in the United States. *Conservation Biology* 14: 31-35.
- Forman, R.T.T. et L.E. Alexander. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29: 207-231.
- Forman, R.T.T. et R.D. Deblinger. 2000. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (U.S.A.) suburban highway. *Conservation Biology* 14: 36-46.
- Fraser, D. et E.R. Thomas. 1982. Moose-vehicle accidents in Ontario: relation to highway salt. *Wildlife Society Bulletin* 10: 261-265.
- Fraser, D., B.K. Thompson et D. Arthur. 1982. Aquatic feeding by moose: seasonal variation in relation to plant chemical composition and use of mineral licks. *Canadian Journal of Zoology* 60: 3121-3126.
- Grenier, P.A. 1974. Orignaux tués sur la route dans le parc des Laurentides, Québec, de 1962 à 1972. *Naturaliste Canadien* 101: 737-754.
- Groot Bruinderink, G.W.T.A. et E. Hazebroek. 1996. Ungulate traffic collisions in Europe. *Conservation Biology* 10: 1059-1067.

- Gundersen, H. et H.P. Andreassen. 1998. The risk of moose *Alces alces* collision: a predictive logistic model for moose-train accidents. *Wildlife Biology* 4: 103-110.
- Gundersen, H., H.P. Andreassen et T. Storaas. 1998. Spatial and temporal correlates to Norwegian moose-train collisions. *Alces* 34: 385-394.
- Hjeljord, O., F. Sundstol et H. Haagenrud. 1982. The nutritional value of browse to moose. *Journal of Wildlife Management* 46: 333-343.
- Hosmer, D.W. et S. Lemeshow. 2000. *Applied Logistic Regression*: 2nd Edition. Wiley, New York.
- James, A.R.C. et A.K. Stuart-Smith. 2000. Distribution of caribou and wolves in relation to linear corridors. *Journal of Wildlife Management* 64: 154-159.
- Jolicoeur, H. et M. Crête. 1994. Failure to reduce moose-vehicle accidents after a partial drainage of roadside salt pools in Quebec. *Alces* 30: 81-89.
- Lamontagne, G. et D. Jean, 1999. Plan de gestion de l'orignal 1999-2003. Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la faune et des habitats. 178 p.
- Leblond, M., C. Dussault, J.-P. Ouellet, M. Poulin, R. Courtois et J. Fortin. 2006. Évaluation de l'aménagement des mares salines comme mesure de mitigation des accidents routiers impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides – Rapport final. Université du Québec à Rimouski, Rimouski. 55 p.
- Malo, J.E., F. Suárez et A. Díez. 2004. Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models? *Journal of Applied Ecology* 41: 701-710.
- Miller, B.K. et J.A. Litvaitis. 1992. Use of roadside salt licks by moose, *Alces alces*, in Northern New Hampshire. *Canadian Field-Naturalist* 106: 112-117.

- Munro, D., L. Gignac, G. Lamontagne et D. Jean. 2001. Gros gibier au Québec en 1999 (exploitation par la chasse et mortalités par des causes diverses). Société de la faune et des parcs du Québec. 64 p.
- Nielsen, C.K., R.G. Anderson et M.D. Grund. 2003. Landscape influences on deer-vehicle accident areas in an urban environment. *Journal of Wildlife Management* 67: 46-51.
- Pletscher, D.H. 1987. Nutrient budgets for white-tailed deer in New England with special reference to sodium. *Journal of Mammalogy* 68: 330-336.
- Puttock, G.D., P. Shakotko et J.G. Rasaputra. 1996. An empirical habitat model for moose, *Alces alces*, in Algonquin park, Ontario. *Forest Ecology and Management* 81: 169-178.
- Risenhoover, K.L. et R.O. Peterson. 1986. Mineral licks as a sodium source for Isle Royale moose. *Oecologia* 71: 121-126.
- Robbins, C.T. 1993. Wildlife feeding and nutrition. Academic Press, San Diego, California.
- Rodgers, A.R., R.S. Rempel et K.F. Abraham. 1996. A GPS-based telemetry system. *Wildlife Society Bulletin* 24: 559-566.
- Romin, L.A. et J.A. Bissonette. 1996. Deer-vehicle collisions: Status of state monitoring activities and mitigation efforts. *Wildlife Society Bulletin* 24: 276-283.
- Rowland, M.M., M.J. Wisdom, B.K. Johnson et J.G. Kie. 2000. Elk distribution and modeling in relation to roads. *Journal of Wildlife Management* 64: 672-684.
- Seiler, A. 2005. Predicting locations of moose-vehicle collisions in Sweden. *Journal of Applied Ecology* 42: 371-382.

- Seiler, A. et I.M. Eriksson. 1997. Habitat fragmentation, infrastructure and the role of ecological engineering, Maastricht & DenHauge.
- Seiler, A., J.O. Helldin et C. Seiler. 2004. Road mortality in Swedish wildlife: results of a drivers' questionnaire. *Wildlife Biology* 10: 225-233.
- Spellerberg, I.F. 1998. Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology and Biogeography Letter* 7: 317-333.
- St-Onge, S., R. Courtois et D. Banville. 1995. Inventaires aériens de l'orignal dans les réserves fauniques du Québec. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la Faune et des Habitats, Service de la faune terrestre. 109 p.
- Weeks Jr., H.P. et C.M. Kirkpatrick. 1976. Adaptations of white-tailed deer to naturally occurring sodium deficiencies. *Journal of Wildlife Management* 40: 610-625.
- Whittington, J., C.C. St-Clair et G. Mercer. 2005. Spatial responses of wolves to roads and trails in mountain valleys. *Ecological Applications* 15: 543-553.
- Yost, A.C. et R.G. Wright. 2001. Moose, caribou, and grizzly bear distribution in relation to road traffic in Denali National Park, Alaska. *Arctic* 54: 41-48.

4. Comportement de l'original en bordure d'une clôture électrique

Mathieu Leblond, Christian Dussault, Jean-Pierre Ouellet, Marius Poulin,

Réhaume Courtois et Jacques Fortin

Résumé

La clôture électrique a été testée comme nouvelle mesure d'atténuation des collisions routières impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides où il survient en moyenne environ 65 accidents de ce type chaque année. Deux clôtures électriques (175C = 5 km et 169C = 10 km) ont été installées le long de tronçons particulièrement problématiques. Un passage à faune fut également installé le long de chaque clôture électrique. Nous avons munis 47 orignaux adultes de colliers de télémétrie GPS dans le nord de la réserve, ce qui nous a permis d'étudier les déplacements de quelques individus en bordure des clôtures. Nous avons également effectué des visites hebdomadaires aux clôtures pour nous assurer de leur bon fonctionnement et en mesurer le voltage. Les clôtures électriques étaient opérationnelles lors de 35 des 41 visites hebdomadaires (85%) et elles affichaient un voltage supérieur ou égal à la valeur recommandée dans 71% des lectures lorsqu'elles étaient fonctionnelles. La clôture électrique a empêché 78 % (7/9) des orignaux marqués de traverser la route dans les secteurs clôturés. Nous avons observé une réduction importante du nombre total de traversées de la route dans le secteur clôturé de la route 169 après l'installation de la clôture (2 traversées en 2005 *versus* 18 et 19 en 2003 et 2004). Bien que peu d'individus aient finalement été directement affectés par la clôture, nous illustrons les déplacements de ces animaux sur des cartes puisqu'il s'agit d'une information inédite.

Introduction

C'est dans la réserve faunique des Laurentides que les accidents routiers impliquant l'orignal sont les plus nombreux au Québec. L'orignal y a été impliqué dans 40 à 70 accidents par année entre 1990 et 2002, ce qui représente près de 92 % de tous les accidents recensés impliquant la grande faune qui y sont survenus (Poulin 1999, Poulin et Fortin 2005). Dans cette réserve, les 310 accidents impliquant l'orignal survenus entre 2000 et 2004 ont causé plus de 6,7 millions CAN\$ en dommages. La réduction de l'incidence des accidents routiers impliquant la grande faune sur ce territoire est un objectif important pour le Ministère des Transports.

Plusieurs études ont été réalisées afin d'évaluer différentes mesures d'atténuation des accidents routiers impliquant la grande faune. La clôture métallique, associée ou non à des passages à faune, a été testée dans plusieurs régions. Son efficacité est généralement reconnue (Falk *et al.* 1978, Ward 1982, Ludwig et Bremicker 1983, Clevenger *et al.* 2001, mais voir Feldhamer *et al.* 1986) bien que son prix élevé puisse être prohibitif dans certaines situations. D'autres mesures de mitigation se sont également avérées efficaces, comme l'utilisation des grilles d'exclusion (Belant *et al.* 1998, Peterson *et al.* 2003), les substances chimiques repoussantes (Fraser et Hristienko 1982) et la gestion adaptée de la végétation en bordure des routes (Rea 2003). D'autres méthodes ont procuré des résultats peu convaincants ou mitigés, tel l'éclairage des routes (Reed 1981), l'utilisation de miroirs (Queal 1967, Beauchamp 1970, Gilbert 1982) ou de réflecteurs (Waring *et al.* 1991, Reeve et Anderson 1993, Ujvári *et al.* 1998, mais voir Schafer et Penland 1985), les sifflets à ultrasons (Romin et Dalton 1992, mais voir Muzzi et Bisset 1990), les dispositifs sonores actionnés au passage des voitures (Ujvári *et al.* 2004), les

panneaux de signalisation dynamique (Pojar *et al.* 1975, Gordon *et al.* 2004) et la diminution de la vitesse des voitures (Bertwistle 1999).

Dans la réserve faunique des Laurentides, le Ministère des Transports du Québec (MTQ) a opté pour l'installation de clôtures électriques dans les secteurs à risque élevé où les mares salines n'étaient pas à l'origine du problème. La clôture électrique est une méthode présentant de multiples avantages potentiels mais son utilisation comme mesure d'atténuation des accidents routiers impliquant la grande faune est encore très récente et relativement peu répandue. Cette méthode fut testée au Nouveau-Brunswick, où un seul accident impliquant l'orignal est survenu depuis son installation en 2000 sur un segment d'autoroute à haut risque (Redmond 2005). Elle est aussi utilisée comme mesure de mitigation des accidents routiers en Arizona depuis 2004, et le sera bientôt au Nouveau-Mexique, au Montana et en Alaska (Redmond 2005). La plupart des études réalisées au sujet de la clôture électrique ont testé son efficacité à restreindre l'accès de diverses espèces animales à des champs de culture, des plantations ou des proies sessiles. Ces clôtures électriques entouraient généralement une aire relativement petite. McKillop et Sibly (1988), dans leur revue de littérature sur l'utilisation de la clôture électrique, citent 86 études traitant de plus de 42 espèces animales, domestiques et sauvages, dont les déplacements ont été entravés par ce type de clôture. De plus, la clôture électrique s'est avérée efficace pour bloquer le passage de l'orignal dans un contexte d'interférence à la ressource (Wicks 2002). Toutefois, aucune étude complétée à ce jour n'a évalué la clôture électrique dans un contexte de mitigation des accidents routiers au Québec, une région où les conditions climatiques sont particulièrement difficiles.

Dans ce chapitre, nous présentons les observations réalisées sur le comportement des orignaux suivis par télémétrie GPS, sur une période de 3 ans, en bordure des clôtures électriques dans la réserve faunique des Laurentides. Bien que les colliers n'aient pas été posés dans ce but au début du projet, certains animaux marqués ont fréquenté les abords des routes dans les secteurs clôturés, et la clôture a même traversé le domaine vital de quelques individus. Il s'agit d'une opportunité unique de documenter l'impact d'une clôture électrique sur le comportement d'animaux suivis par télémétrie.

Site d'étude

La recherche a été effectuée le long des routes provinciales 175 et 169 dans la réserve faunique des Laurentides, un territoire naturel de 7 861 km² situé entre les villes de Québec et Saguenay, Québec, Canada (Figure 4.1). Ces routes offrent une seule voie de circulation dans chaque direction, sauf dans les secteurs à forte pente où des voies de dépassement sont disponibles. La vitesse maximale permise est fixée à 90 km/h et le débit journalier moyen est de 1 460 voitures sur la route 169 et de 2 800 voitures dans le nord de la route 175 (Dussault et al., sous presse). La réserve faunique des Laurentides est composée de peuplements de conifères ou mélangés typiques de la région boréale (Dussault et al. 2001). Le dernier inventaire aérien réalisé dans la région a permis d'estimer la densité de l'orignal à 2,2 orignaux / 10 km² en moyenne, avec des secteurs propices atteignant 8 orignaux / 10 km² (St-Onge et al. 1995).

Deux clôtures électriques furent érigées dans la réserve faunique des Laurentides. La première, d'une longueur de 5 km, fut construite à l'automne 2002 sur la route 175; la seconde, d'une longueur de 10 km, fut installée à l'automne 2004 sur la route 169. Les clôtures électriques,

fabriquées par *Electrobraid™*, étaient composées de cinq câbles en fibre de polyester entourés de torons de cuivre et tendus le long de poteaux en fibre de verre. Les câbles étaient espacés de 30 cm et le câble supérieur était tendu à 1,5 m du sol. Le courant électrique était obtenu à partir d'une ligne électrique conventionnelle (110 V) et d'un transformateur Panther 36 000 (Speedrite TRU-TEST). Un des câbles (4^{ième} câble à partir du sol) était relié à des poteaux de métal plantés dans le sol à tous les 400-800 m, servant de mises à la terre. Les clôtures électriques étaient reliées à un disjoncteur ou « *fence minder* » (*Electrobraid™*, 125 V, 60 Hz, 100 W) permettant d'interrompre le courant en cas de chute de tension importante et de signaler automatiquement le problème à un opérateur téléphonique. La clôture électrique de la route 175 (175C) était mise sous tension au printemps, tôt après la fonte des neiges, et était déconnectée à la mi-décembre pour l'hiver. Celle de la route 169 (169C) a été laissée en fonction (seulement le câble supérieur) au cours de l'hiver 2004-2005.



La clôture électrique 175C.



L'équipement électrique nécessaire au fonctionnement de la clôture électrique.

Un passage à faune a été aménagé sous un pont de la route 175, près du centre du secteur clôturé (2,5 km de l'extrémité sud de la clôture électrique). Ses dimensions étaient de 23 m de largeur, 16 m de profondeur et 7 m de hauteur. La présence d'une rivière au centre du passage à faune contraignait les orignaux à utiliser un des deux sentiers d'une largeur de 2 m aménagés de part et d'autre de la rivière. Un passage à faune a aussi été installé le long de la 169C à 1 km de l'extrémité sud de la clôture électrique. Il s'agissait d'un passage sur la chaussée à un endroit où une ouverture dans la clôture avait été laissée de part et d'autre de la route. Des panneaux de signalisation dynamique déclenchés par un système de détection au laser permettaient d'avertir les automobilistes lorsqu'un orignal s'engageait dans le passage.

Le passage à faune sous un pont de la route 175.



Méthodes

Afin de réaliser un des principaux objectifs du projet qui était d'étudier le comportement de l'orignal par rapport aux axes routiers, nous avons suivi 47 orignaux adultes ($\geq 2,5$ ans) avec des colliers de télémétrie GPS. Les orignaux ont été capturés entre le début de Février et la fin de mars et suivis pendant un ($n = 23$), deux (15), ou trois ans (9). Les captures ont été réalisées selon les méthodes approuvées par le comité de bons soins aux animaux du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (certificat no. 97-05). Les orignaux étaient immobilisés avec un mélange de carfentanil et de xylazine (Delvaux et al. 1999). Les colliers étaient programmés pour enregistrer une localisation à toutes les 2 ou 3 heures.

Des visites hebdomadaires étaient faites aux clôtures électriques afin de vérifier leur bon fonctionnement. Le voltage était mesuré sur les quatre câbles conducteurs de la clôture électrique avec un voltmètre (Speedrite TRU-TEST) à chaque borne kilométrique (10 stations d'échantillonnage par clôture). Les défauts de la clôture électrique et les chutes de voltage étaient habituellement réparés sur-le-champ.

Le nombre d'individus porteurs d'un collier et qui ont été directement influencés par les clôtures électriques était trop faible pour réaliser des analyses statistiques. Nous avons seulement fait des statistiques descriptives sur le nombre de traversées avant et après l'installation des clôtures, et avons illustré les déplacements de ces orignaux par rapport aux clôtures électriques sur des cartes numérisées en utilisant ArcGIS 9.0 (ESRI, Redlands, USA).

Résultats

Fonctionnement de la clôture électrique

Les clôtures électriques étaient opérationnelles lors de 35 des 41 visites hebdomadaires (85%). Les six cas problématiques ont eu lieu à la 175C, soit lors de trois inventaires en 2004 et trois en 2005. Lorsque les clôtures électriques étaient opérationnelles, de grandes variations de voltage ont été enregistrées entre les visites ainsi qu'entre les différentes stations de mesure lors d'une même visite (min.=0,2 kV, max.=10,0 kV; Figure 4.2). Cependant, la norme requise pour un fonctionnement normal (5,0 kV selon le fabricant ElectrobraidTM) était atteinte ou dépassée dans 71 % (963 / 1352) des lectures réalisées lorsque les clôtures électriques étaient opérationnelles.

Télémétrie

Seulement 9 des 47 originaux munis d'un collier GPS ont potentiellement pu être influencé par les clôtures électriques; les autres originaux ont fréquenté des secteurs trop loin des clôtures. Parmi ces 9 originaux, 2 ont traversé la clôture, 5 se sont rapproché de la clôture (<100 m) sans la traverser et 2 sont demeurés à une certaine distance (>500 m) sans s'en approcher. Les originaux L42 et L51 ont traversé la clôture sur la route 169 une fois chacun en 2005 (Figure 4.2). L'original L42 a vraisemblablement utilisé le passage à faune dans la section sud de la clôture sur la route 169. L'original L51 s'est apparemment introduit à l'intérieur du corridor clôturé en passant par une ouverture dans la clôture à la hauteur d'un lac, et il a traversé la clôture électrique de l'autre côté de la route. Des exemples typiques d'originaux dont les déplacements de part et d'autre de la route ont été interrompus par la clôture électrique sont les originaux L30 et L29 (Figure 4.2). La clôture a empêché ces originaux de traverser la route dans les secteurs clôturés

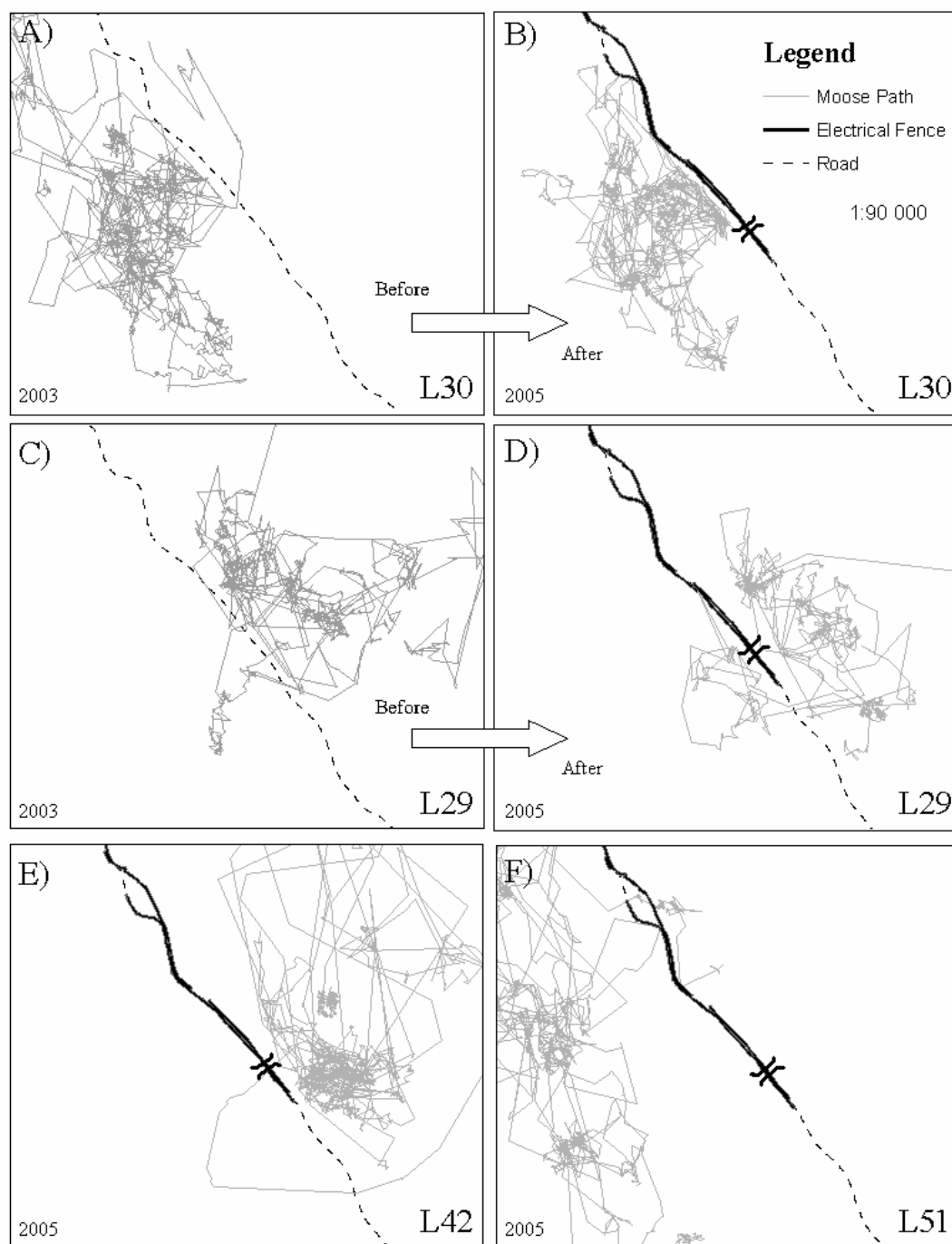


Figure 4.2. Déplacements annuels des orignaux munis d'un collier de télémétrie GPS à proximité de la clôture électrique sur la route 169 dans la réserve faunique des Laurentides. A) l'original L30 a traversé la route 1 fois en 2003, avant l'installation de la clôture. B) l'original L30 a été stoppé par la clôture électrique en 2005, son domaine vital ayant été confiné à un seul côté de la route. C) l'original L29 a traversé la route 5 fois en 2003, avant l'installation de la clôture. D) l'original L29 s'est approché de la clôture en 2005 mais ne l'a apparemment pas traversée. Cet individu a traversé la route au sud du secteur clôturé. E) l'original L42 a traversé la clôture en 2005, et a possiblement utilisé le passage à faune disponible dans ce secteur. F) l'original L51 s'est introduit à l'intérieur du corridor clôturé en 2005 par une ouverture laissée dans la clôture en face d'un lac et il a apparemment traversé la clôture du côté opposé de la route.

(par exemple, L30 qui avait traversé la route une fois par année avant l'installation de la clôture). L'original L29 a apparemment contourné la clôture pour accéder à l'autre côté de la route (cet individu avait traversé la route 5 fois en 2003 avant l'installation de la clôture). Seulement un original est demeuré quelque temps dans le secteur clôturé sur la route 175, mais il ne s'est jamais approché de la clôture.

Nous avons observé une réduction importante du nombre total de traversées de la route dans le secteur clôturé sur la route 169 après l'installation de la clôture: seulement 2 traversées ont été observées en 2005, comparativement à 18 et 19 en 2003 et 2004, respectivement. Ailleurs dans le secteur d'étude, les originaux ont continué de traverser la route à un niveau similaire à celui observé avant l'installation des clôtures. Trente-neuf pourcent (7/18), 33 % (7/21), et 36 % (8/22) des originaux ont traversé la route en 2003, 2004, et 2005, respectivement, pour un total de plus de 48, 45, et 43 traversées en 2003, 2004, et 2005, respectivement.

Discussion et conclusion

Le modèle de clôture électrique utilisé dans cette étude n'est pas une barrière physique infranchissable. Elle est faite de câbles flexibles, tendus à une hauteur aisément franchissable par un original. L'efficacité de la clôture électrique repose plutôt sur le conditionnement des animaux qui la touchent. Elle peut entraîner un comportement d'évitement à long terme chez l'animal si l'expérience est suffisamment déplaisante (Poole *et al.* 2004). Un changement drastique et de longue durée du comportement d'un animal ne peut être obtenu que s'il reçoit un choc électrique de forte intensité dès sa première rencontre avec la clôture électrique (McKillop et Sibly 1988). Si un animal apprend à traverser la clôture électrique alors qu'elle n'est pas opérationnelle, de

futures traversées par cet individu sont plus probables, même si le courant est rétabli (Poole *et al.* 2004). L'animal ayant appris à traverser la clôture électrique touchera alors les câbles avec son corps recouvert de poils, isolant l'animal contre un choc électrique important (McKillop et Sibly 1988). Les interruptions du courant doivent donc être évitées et les bris doivent être réparés rapidement afin d'assurer l'efficacité de la clôture électrique. Ce problème peut survenir lorsque les câbles sont sectionnés ou lorsque l'alimentation en énergie est interrompue à la source. La deuxième situation est survenue à six reprises au cours de cette étude sur la route 175 et elles ont été causées à chaque fois par le disjoncteur. Cet appareil a semblé trop sensible et a causé l'interruption du courant dans des situations qui ne le nécessitaient probablement pas. Un nouveau disjoncteur amélioré a été utilisé à la 169C et il a semblé efficace puisqu'il n'a pas fait défaut au cours de l'été 2005.

Le suivi d'originaux par télémétrie GPS nous a permis d'observer les déplacements de l'original par rapport à une clôture électrique, ce qui n'avait jamais été fait auparavant. La plupart des individus se sont aventurés près de la clôture sans toutefois la traverser. Même s'il nous est impossible de le vérifier, ces individus sont vraisemblablement venus en contact avec la clôture. Nous désirons souligner que très peu d'individus parmi ceux marqués ont été influencés par une des clôtures (des données avant / après l'installation des clôtures n'étaient disponibles que pour 4 des 47 originaux). Nos observations suggèrent que l'original évite généralement les abords des routes tel que le démontre le faible nombre de traversées de route dans les secteurs non clôturés. Mais même si les observations n'étaient pas assez nombreuses pour en permettre une analyse statistique, les localisations fréquentes obtenues par la télémétrie GPS procurent une source d'information additionnelle indiquant que les originaux évitent de traverser la clôture électrique.

Ce résultat est complémentaire à ceux obtenus par un suivi de pistes dans le même secteur (Leblond et al., en préparation).

Remerciements

Nous tenons à remercier M.-C. Bélair, M.-F. Gévry et M. Lavoie pour leur assistance sur le terrain. Nous remercions également A. Caron pour son aide avec les analyses statistiques, ainsi que L. Breton et C. Laurian pour leur participation à la capture des orignaux. Cette étude a été réalisée conjointement avec le Ministère des Transports du Québec, le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et l'Université du Québec à Rimouski. M. Leblond tient à remercier le Fonds Québécois de Recherche sur la Nature et les Technologies pour leur financement.

Références

- Belant, J.L., T.W. Seamans et C.P. Dwyer. 1998. Cattle guards reduce white-tailed deer crossing through fence openings. *International Journal of Pest Management* 44: 247-249.
- Beauchamp, D.E. 1970. Deer mirror evaluation. California Department of Fish and Game, California. 8 p.
- Bertwistle, J. 1999. The effects of reduced speed zones on reducing bighorn sheep and elk collisions with vehicles on the Yellowhead highway in Jasper National Park. *Proceedings of the Third International Conference on Wildlife Ecology and Transportation*, FL-ER-73-99, Florida Department of Transportation, Tallahassee, 1999.

- Clevenger, A.P., B. Chruszcz et K.E. Gunson. 2001. Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin* 29: 646-653.
- Delvaux, H., R. Courtois, L. Breton et R. Patenaude. 1999. Relative efficiency of succinylcholine, xylazine, and carfentanil/xylazine mixtures to immobilize free-ranging moose. *Journal of Wildlife Diseases* 35: 38-48.
- Dussault, C., R. Courtois, J. Huot et J.-P. Ouellet. 2001. The use of forest maps for the description of wildlife habitats: limits and recommendations. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1227-1234.
- Dussault, C., M. Poulin, R. Courtois et J.-P. Ouellet. Sous presse. Temporal and spatial distribution of moose-vehicle accidents in the Laurentides Wildlife Reserve, Quebec, Canada. *Wildlife Biology* 2006.
- Falk, N.W., H.B. Graves et E.D. Bellis. 1978. Highway right-of-way fences as deer deterrents. *Journal of Wildlife Management* 42: 646-650.
- Feldhamer, G.A., J.E. Gates, D.M. Harman, A.J. Loranger et K.R. Dixon. 1986. Effects of interstate highway fencing on white-tailed deer activity. *Journal of Wildlife Management* 50: 497-503.
- Fraser, D. et H. Hristienko. 1982. Moose-vehicle accidents in Ontario: a repugnant solution ? *Wildlife Society Bulletin* 10: 266-270.
- Gilbert, J.R. 1982. Evaluation of deer mirrors for reducing deer-vehicle collisions. United States Department of Transportation, Federal Highway Administration Report FHWA-RD-82-061.
- Gordon, K.M., M.C. McKinstry et S.H. Anderson. 2004. Motorist response to a deer-sensing warning system. *Wildlife Society Bulletin* 32: 565-573.
- Leblond, M., C. Dussault, J.-P. Ouellet, M. Poulin, R. Courtois et J. Fortin. En préparation. Évaluation de la clôture électrique comme mesure de mitigation des accidents routiers

- impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides - Rapport final. Université du Québec à Rimouski, Rimouski. 53 p.
- Ludwig, J. et T. Bremicker. 1983. Evaluation of 2.4-m fences and one-way gates for reducing deer-vehicle collisions in Minnesota. *Transportation Research Record* 913: 19-22.
- McKillop, I.G. et R.M. Sibly. 1988. Animal behavior at electric fences and the implications for management. *Mammal Review* 18: 91-103.
- Muzzi, P.D. et A.R. Bisset. 1990. The effectiveness of ultrasonic wildlife warning devices to reduce moose fatalities along railway corridors. *Alces* 26: 37-43.
- Peterson, M.N., R.R. Lopez, N.J. Silvy, C.B. Owen, P.A. Frank et A.W. Braden. 2003. Evaluation of deer-exclusion grates in urban areas. *Wildlife Society Bulletin* 31: 1198-1204.
- Pojar, T.M., R.A. Prosen, D.F. Reed et T.N. Woodard. 1975. Effectiveness of a lighted, animated deer crossing sign. *Journal of Wildlife Management* 39: 87-91.
- Poole, D.W., G. Western et I.G. McKillop. 2004. The effects of fence voltage and the type of conducting wire on the efficacy of an electric fence to exclude badgers (*Meles meles*). *Crop Protection* 23: 27-33.
- Poulin, M. 1999. Les accidents de la circulation impliquant la grande faune sur le territoire de la Direction de Québec et à l'intérieur des limites de la réserve faunique des Laurentides, Bilan statistique 1990 à 1997, Ministère des Transports du Québec, Direction de Québec, Service des inventaires et du plan, 27 p. + annexes.
- Poulin, M. et J. Fortin. 2005. Les accidents de la circulation occasionnés par la grande faune dans la réserve faunique des Laurentides, 2000 à 2004. Ministère des Transports du Québec, Direction générale de Québec et de l'est, Service du soutien technique, 28 p.
- Queal, L.M. 1967. Effectiveness of roadside mirrors in controlling deer-car accidents. Michigan Department of Conservation, Research Division Report 103, 7 p.

- Rea, R.V. 2003. Modifying roadside vegetation management practices to reduce vehicular collisions with moose *Alces alces*. *Wildlife Biology* 9: 81-91.
- Redmond, G. 2005. Experimental electric moose fence study: measures to reduce moose-vehicle collisions in Northeast New Brunswick. Maritime College of Forest Technology, Hugh John Flemming Forestry Center, New Brunswick, 61 p.
- Reed, D.F. 1981. Effectiveness of highway lighting in reducing deer-vehicle accidents. *Journal of Wildlife Management* 45: 721-726.
- Reeve, A.F. et S.H. Anderson. 1993. Ineffectiveness of Swareflex reflectors at reducing deer-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin* 21: 127-132.
- Romin, L.A. et L.B. Dalton. 1992. Lack of response by mule deer to wildlife warning whistles. *Wildlife Society Bulletin* 20: 382-384.
- Schafer, J.A. et S.T. Penland. 1985. Effectiveness of Swareflex reflectors in reducing deer-vehicle accidents. *Journal of Wildlife Management* 49: 774-776.
- St-Onge, S., R. Courtois et D. Banville. 1995. Inventaires aériens de l'orignal dans les réserves fauniques du Québec. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, Service de la faune terrestre, Québec.
- Ujvári, M., H.J. Baagøe et A.B. Madsen. 1998. Effectiveness of wildlife warning reflectors in reducing deer-vehicle collisions: a behavioral study. *Journal of Wildlife Management* 62: 1094-1099.
- Ujvári, M., H.J. Baagøe et A.B. Madsen. 2004. Effectiveness of acoustic road markings in reducing deer-vehicle collisions: a behavioral study. *Wildlife Biology* 10: 155-159.
- Ward, A.L. 1982. Mule deer behavior in relation to fencing and underpasses on Interstate 80 in Wyoming. *Transportation Research Record* 859: 8-13.

- Waring, G.H., J.L. Griffis et M.E. Vaughn. 1991. White-tailed deer roadside behavior, wildlife warning reflectors, and highway mortality. *Applied Animal Behavior Science* 29: 215-223.
- Wicks, G. 2002. Moose exclusion with Electrobraid fence, 2000-2001. Newfoundland Department of Agriculture, Crop insurance agency, [en ligne], <http://www.electrobraid.com/wildlife/reports/wicksreport2.html>

5. Synthèse des connaissances et implications pour la gestion

Christian Dussault, Jean-Pierre Ouellet et Réhaume Courtois

Les objectifs généraux de cette étude étaient de : 1) décrire le comportement des orignaux adultes en bordure des routes asphaltées et déterminer les variables environnementales pouvant les influencer et 2) tester l'efficacité de deux mesures d'atténuation des accidents routiers avec l'orignal, soit l'aménagement des mares salines et l'installation de clôtures électriques. L'étude s'est déroulée dans la réserve faunique des Laurentides et les travaux de terrain ont été réalisés entre 2003 et 2005. Ce territoire, traversé par les routes provinciales 175 et 169, présente une problématique reconnue d'accidents routiers impliquant l'orignal.

Pour répondre aux besoins de l'étude, nous avons muni un total de 47 orignaux différents d'un collier GPS dans le nord de la réserve faunique des Laurentides. Nous avons également étudié la fréquentation d'un réseau de mares salines dont certaines ont été aménagées par drainage et empierrement afin de réduire l'achalandage par l'orignal. Nous avons aussi évalué, par pistage, l'efficacité de la clôture électrique à réduire la probabilité que la route soit traversée par l'orignal. Deux segments de route clôturés, un sur la 175 (5 km) et un sur la 169 (10 km), étaient disponibles à cet effet. Finalement, nous avons effectué une analyse des sites où se sont produits les accidents impliquant l'orignal au cours de l'étude.

L'orignal et la route

Bien que nous ayons concentré les efforts de marquage en bordure des routes 169 et 175, ces routes asphaltées et leurs abords furent évités par les orignaux munis d'un collier. Seulement 25 des 47 (53%) orignaux ont traversé la route au moins une fois. Sur l'ensemble des 196 710 pas (ligne droite reliant deux repérages successifs), nous n'avons enregistré que 328 traversées de route. Le nombre de traversées était 16,5 fois plus faible que si les déplacements avaient été faits

au hasard. Le nombre maximal de traversées enregistrées pour un même animal a été de 60. Ce nombre élevé montre que les traversées de routes sont effectuées par un nombre limité d'individus. Même si certains individus ont fréquenté la bande 0-50 m (i.e. excluant une bande de 20 m correspondant à la route elle-même) présente en bordure des routes asphaltées, la majorité des orignaux ont évité les abords des routes jusqu'à environ 500 m. L'ensemble de ces résultats suggère que la route en particulier, mais aussi ses abords, sont perçus par l'orignal comme un habitat de qualité inférieure par rapport au milieu avoisinant. D'ailleurs, le fait que les orignaux se déplacent à une plus grande vitesse le long d'un pas impliquant la traversée d'une route, supporte cette conclusion.

Parmi les 25 orignaux ayant traversé la route au moins une fois, un individu est mort dans un accident routier durant l'étude. Cela démontre que même si chaque individu ne traverse que rarement la route, la probabilité d'une collision fatale est relativement élevée (4 % des traversées). Puisqu'au début du projet nous avons démontré que la répartition spatiale des accidents impliquant l'orignal n'était pas aléatoire le long des routes, nous avons raffiné cette analyse en déterminant les caractéristiques des sites où les orignaux munis d'un collier GPS ont traversé la route. Cette analyse a révélé que les sites de traversée étaient généralement situés dans une vallée où il y avait une bonne proportion de peuplements offrant du couvert (i.e. >25% de la strate arborescente composée d'arbres résineux matures) et la présence de mares salines.

Même si l'orignal évite de façon générale les routes, il les traverse et fréquente leurs abords à l'occasion. Parmi les facteurs susceptibles d'influencer l'utilisation des routes et de leurs abords par l'orignal, nous avons vérifié le harcèlement par les insectes hématophages, ainsi que la présence de nourriture riche en sodium et la présence de mares salines. Nos résultats indiquent

que la fréquentation n'était pas liée au harcèlement par les insectes puisque les orignaux n'étaient pas plus souvent au bord des routes lors des périodes d'abondance des insectes hématophages. Cependant, la présence de sodium (un élément essentiel et potentiellement limitatif chez l'orignal) dans les plantes et dans les mares d'eau stagnante a semblé exercer un effet attractif sur l'orignal. L'analyse chimique des feuilles de trois espèces végétales consommées par l'orignal a révélé que la concentration en sodium était plus élevée en bordure des routes asphaltées que dans un milieu semblable ne recevant pas un apport de sel de déglacage. Or, bien que les routes aient été évitées par l'orignal, la proportion des ramilles décidues broutées dans l'écotone proche des routes était comparable à celle des autres types d'habitats. De plus, les orignaux fréquentaient 8 fois plus souvent les plans d'eau que les abords des routes, ce qui suggère que les plantes aquatiques sont une source de sodium plus intéressante que les plantes en bordure des routes. Toutefois, aussi bien les localisations GPS que les relevés effectués aux mares salines prouvent que les orignaux se rendent parfois au bord des routes pour fréquenter les mares salines. Ce comportement pourrait d'ailleurs expliquer la préférence relative de certains individus pour la zone 0-50 m le long des routes. Il est important de spécifier que les orignaux effectuent parfois de grands déplacements pour accéder aux mares salines bien qu'ils n'y demeurent généralement pas longtemps (<15 minutes). La fréquentation des mares salines est sans contredit un élément important augmentant l'achalandage des orignaux en bordure des routes et, par le fait même, le risque de collision impliquant un orignal. D'ailleurs, le patron saisonnier et circadien de la fréquentation de l'orignal aux mares salines reflétait assez bien le patron temporel des accidents routiers. Ainsi, les orignaux fréquentaient davantage les mares salines durant la nuit et entre la mi-juin et la mi-juillet. L'analyse des accidents routiers que nous avons réalisée a d'ailleurs démontré que la probabilité d'occurrence des accidents routiers impliquant l'orignal augmentait le long des segments de route avec présence d'une mare saline.

Le dérangement occasionné par le trafic et l'absence de couvert végétal sur la route pourraient, en partie du moins, être à l'origine de l'évitement des routes par l'orignal. Plusieurs observations réalisées au cours de cette étude nous permettent d'émettre cette hypothèse. En effet, tout comme les routes asphaltées, les chemins forestiers étaient aussi évités par l'orignal. Cependant, la fréquence de traversée des routes asphaltées était 1,7 fois plus faible que pour les chemins forestiers. Les chemins forestiers sont moins larges et les voitures y sont moins nombreuses et roulent moins vite. De plus, la fréquentation des mares salines en bordure des routes par l'orignal était plus élevée durant la nuit, alors que le trafic routier était le plus faible sur une base quotidienne. Or, cette différence de fréquentation entre le jour et la nuit n'a pas été observée dans les mares salines de compensation qui étaient situées à plusieurs centaines de mètres des routes. Enfin, certaines mares salines aux abords des routes ont été fréquentées davantage que d'autres, notamment celles où il y avait une bonne obstruction visuelle entre la mare et la route. Le dérangement dans ces sites était probablement inférieur par rapport aux autres mares salines. Cependant, le dérangement ne peut expliquer à lui seul le comportement de l'orignal en bordure des routes puisque c'est à l'été que cette zone est la plus fréquentée, période de l'année où le trafic est aussi le plus élevé.

L'ensemble des connaissances acquises indique que les routes ont une influence marquée sur le comportement des orignaux. De plus, nous avons démontré que le risque de collision était plus élevé à certains endroits. La première variable devant être considérée est, bien entendu, l'abondance des orignaux. En effet, le risque de collision augmente le long des segments où la densité de l'orignal est élevée. Ensuite, les caractéristiques du milieu à une échelle locale avaient une influence sur la probabilité qu'un segment de route soit traversé par l'orignal. La présence

d'une vallée, de peuplements offrant un couvert à l'orignal et de mares salines étaient positivement associées à la probabilité de traversée. Parmi les mesures d'atténuation envisageables par le MTQ, nos résultats suggèrent de considérer 1) l'utilisation de clôtures, associées à des passages à faune, dans les secteurs à haut risque de collision et 2) la réduction de l'accessibilité du sodium aux orignaux le long des routes, notamment par l'aménagement des mares salines et 3) réduire la végétation dans l'emprise de la route.

Les mesures d'atténuation

La clôture électrique

Aussi bien les données de pistage que les repérages télémétriques suggèrent que la clôture électrique s'avère une mesure efficace d'atténuation pour réduire le risque d'accident routier impliquant l'orignal. D'ailleurs, aucun accident n'est survenu dans les secteurs clôturés au cours de l'étude, alors que ces secteurs étaient considérés à haut risque avant l'installation des clôtures.

Toutefois, nos résultats indiquent qu'afin d'obtenir un rendement optimal de la clôture électrique, il faut s'assurer de corriger les interruptions de courant rapidement et éviter de laisser des ouvertures le long de celle-ci. Dans le cas où de telles ouvertures sont inévitables, d'autres structures pourraient être utilisées pour empêcher les orignaux d'accéder au corridor clôturé (e.g., grilles d'exclusion « Texas gates » aux intersections avec les chemins forestiers, barrières électriques, etc.). De plus, l'utilisation d'un disjoncteur fonctionnel devrait être une priorité afin de simplifier l'entretien et de permettre de libérer rapidement les orignaux qui demeurent pris dans la clôture électrique. En procédant de la sorte, nous croyons que la clôture électrique pourrait avoir un rendement comparable à celui de la clôture métallique conventionnelle, tout en

étant moins dispendieuse et plus discrète. Elle devrait, à tout le moins, être considérée comme une mesure d'atténuation efficace des accidents routiers impliquant l'orignal.

Le suivi des orignaux par télémétrie a révélé que la clôture électrique réduisait le nombre de traversées de la route dans le secteur clôturé. Cependant, quelques individus ont continué à voyager entre les deux côtés de la route en contournant la clôture par ses extrémités. À notre avis, il serait souhaitable de poursuivre le suivi des clôtures électriques au cours des prochaines années afin de mieux juger de leur durabilité mais aussi de mieux évaluer si le contournement des extrémités de la clôture par les orignaux pourrait en réduire l'efficacité. En outre, cette étude était relativement courte pour évaluer avec précision le changement du nombre d'accidents routiers impliquant l'orignal, cette variable étant sujette à une variabilité interannuelle importante. Le suivi des accidents routiers avec l'orignal et la poursuite des inventaires de pistes dans et autour des secteurs clôturés permettraient au MTQ de mieux évaluer ces paramètres. Enfin, il pourrait aussi s'avérer intéressant d'évaluer les performances d'une clôture électrique qui aurait été installée selon les indications proposées dans ce document (p. ex. sans ouvertures le long de celle-ci, passages canadiens aux intersections avec des chemins forestiers, équipement électronique plus fiable, etc.).

L'aménagement des mares salines

De façon générale, l'effet des aménagements des mares salines s'est surtout manifesté par une réduction de la durée des visites des orignaux aux mares salines. Le nombre de visites a diminué durant la nuit mais pas durant le jour. Ce résultat suggère que l'aménagement des mares salines pourrait réduire l'intérêt des orignaux envers celles-ci et ce, peut-être même davantage au cours des étés subséquents. Cette étude a mesuré l'effet des aménagements seulement un an après

leur réalisation, mais nous pourrions nous attendre à ce que la fréquentation baisse davantage au cours des étés suivants. En effet, un orignal doit retourner à une mare saline au moins une fois pour constater qu'elle a été détruite.

Nos résultats indiquent aussi qu'une autre méthode d'intervention, alternative ou complémentaire, devrait être envisagée. Puisque la fréquentation des mares salines est plus élevée lorsque l'obstruction visuelle latérale vers la route est élevée, il pourrait être efficace de retirer la végétation entre les mares salines et la route afin d'augmenter le dérangement causé par les automobiles et les camions lourds. Cette mesure pourrait aussi permettre aux automobilistes de mieux voir les orignaux dans les mares salines, et de pouvoir les effrayer en klaxonnant afin de les dissuader de s'approcher davantage de la route. Cette mesure pourrait être utilisée aux endroits où l'empierrement des mares salines est difficile ou impossible.

Un suivi à long terme des mares salines permettrait de mieux connaître la durabilité des aménagements et leur efficacité afin de réduire l'occurrence des collisions. L'efficacité des aménagements devrait s'accroître pendant quelques années mais il n'est pas exclu qu'à long terme l'érosion des fossés et la croissance de la végétation à travers les roches réduisent l'efficacité de cette méthode. Un nouveau traitement pourrait alors s'avérer nécessaire. Néanmoins, nos résultats suggèrent que cette mesure de mitigation pourrait réduire le risque d'accidents dans les régions où des mares salines près des routes sont à la source de la problématique d'accidents routiers avec l'orignal.

Annexes

Annexe 1. Dates de captures, de re-captures ou récupération des colliers des orignaux marqués dans la réserve faunique des Laurentides.

ANIMAL	2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	Remarque
L01	24 janv.	29 sept. 2003			Animal mort
L02	24 janv.				Collier défectueux
L03	27 janv.	29 mars 2004	18 janv. 2005		Animal mort
L04	27 janv.	11 janv. 2004	18 janv. 2005		Animal mort
L05	27 janv.	24 mars 2004			
L06	27 janv.	20 déc. 2003	20 janv. 2005	24 oct. 2005	
L07	28 janv.	11 juin 2003			Animal mort
L08	28 janv.				Collier défectueux
L09	28 janv.				Collier défectueux
L10	6 fév.		20 sept. 2004		Animal mort
L11	6 fév.	16 avril 2004			
L12	6 fév.	29 mars 2004	17 janv. 2005	14 avril 2005	Animal mort
L13	6 fév.	17 sept. 2003			Animal mort
L14	7 fév.	20 déc. 2003	16 janv. 2005	14 oct. 2005	
L15	7 fév.				Collier défectueux
L16	7 fév.				Collier défectueux
L17	8 fév.	10 janv. 2004	21 janv. 2005		Animal mort
L18	8 fév.	16 avril 2004	16 janv. 2005	28 mars 2006	
L19	17 mars	30 mars 2004	16 janv. 2005	28 mars 2006	
L20	9 fév.	30 mars 2004			Collier défectueux
L21	10 fév.	22 janv. 2004	20 janv. 2005	24 mai 2005	
L22	10 fév.	29 mars 2004			Animal mort
L23	15 mars	8 janv. 2004			Animal mort
L24	15 mars	9 janv. 2004			Collier défectueux
L25	16 mars			29 nov. 2005	Collier défectueux
L26	16 mars	4 oct. 2003			Animal mort
L27	16 mars	21 janv. 2004	19 janv. 2005	17 janv. 2006	
L28	16 mars	7 janv. 2004	19 janv. 2005	7 juin 2005	
L29	17 mars	29 mars 2004	17 janv. 2005	14 oct. 2005	Animal mort
L30	18 mars	21 janv. 2004	17 janv. 2005	29 nov. 2005	
L31		8 janv. 2004	3 oct. 2004		Animal mort
L32		9 janv. 2004	15 nov. 2004		Animal mort
L33		11 janv. 2004	22 sept. 2004		Animal mort
L34		12 janv. 2004	17 janv. 2005	16 nov. 2005	Animal mort
L35		21 janv. 2004	20 janv. 2005	23 déc. 2005	
L36		9 mars 2004	18 janv. 2005	17 janv. 2006	
L37		29 mars 2004	21 janv. 2005		
L38		30 mars 2004		15 mai 2005	Animal mort
L39		31 mars 2004	21 janv. 2005		Animal mort

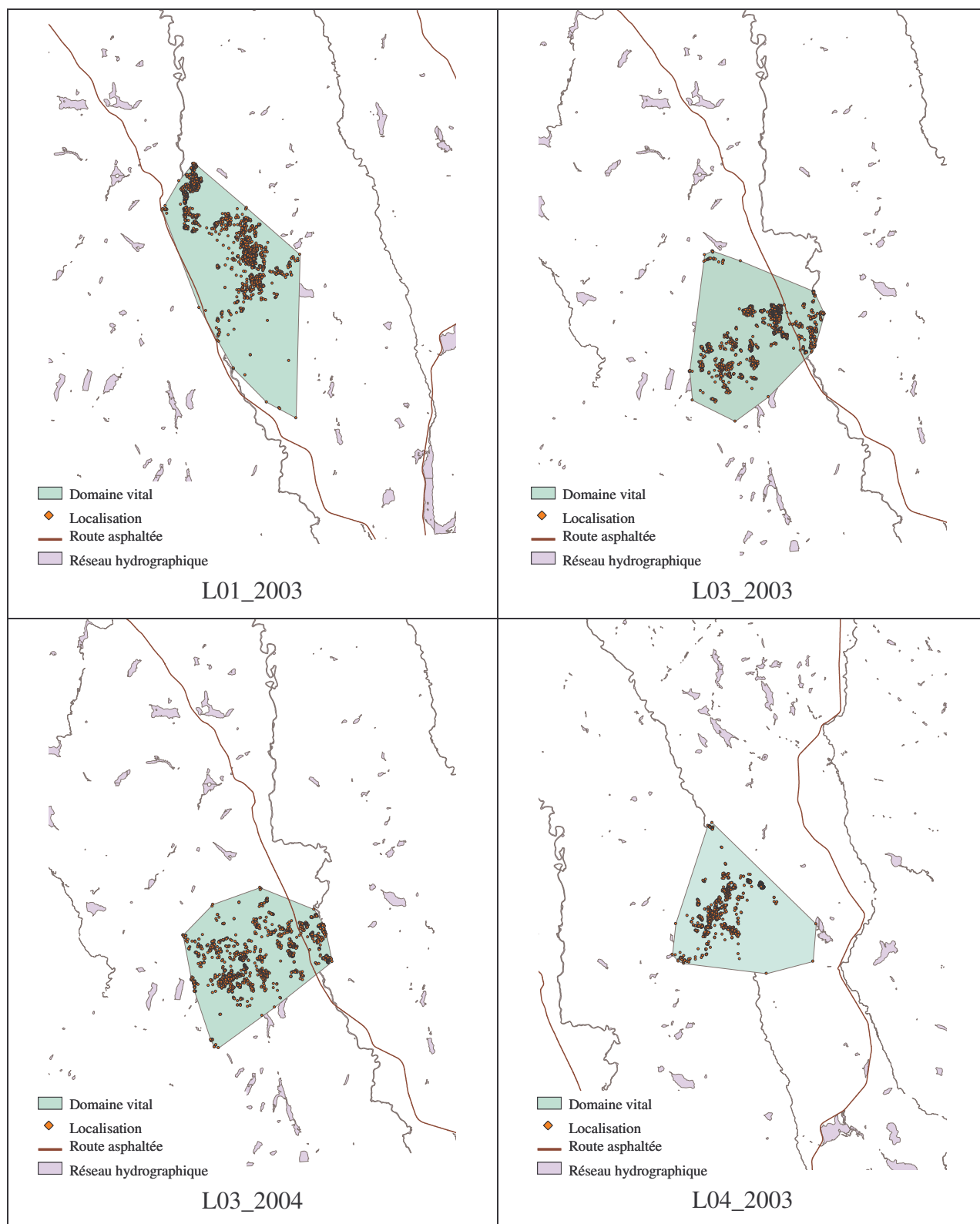
Annexe 1 (suite). Dates de captures et de re-captures des originaux marqués dans la réserve faunique des Laurentides.

ANIMAL	2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	Remarque
L40		31 mars 2004	19 janv. 2005	23 déc. 2005	
L41		31 mars 2004	29 mai 2005		Animal mort
L42		31 mars 2004	17 janv. 2005	12 janv. 2006	
L43			16 janv. 2005	13 oct. 2005	Animal mort
L44			19 janv. 2005	23 déc. 2005	
L45			19 janv. 2005	7 oct. 2005	Animal mort
L46			26 janv. 2005	28 mars 2006	
L47			23 mars 2005	13 oct. 2005	Animal mort
L48			23 mars 2005	23 déc. 2005	
L49			23 mars 2005	23 déc. 2005	
L50			23 mars 2005	18 janv. 2006	
L51			23 mars 2005	23 déc. 2005	
L52			23 mars 2005		Collier défectueux
L53			23 mars 2005	22 juin 2005	Animal mort
L54			24 mars 2005	23 déc. 2005	
L55			14 avril 2005	14 oct. 2005	Animal mort

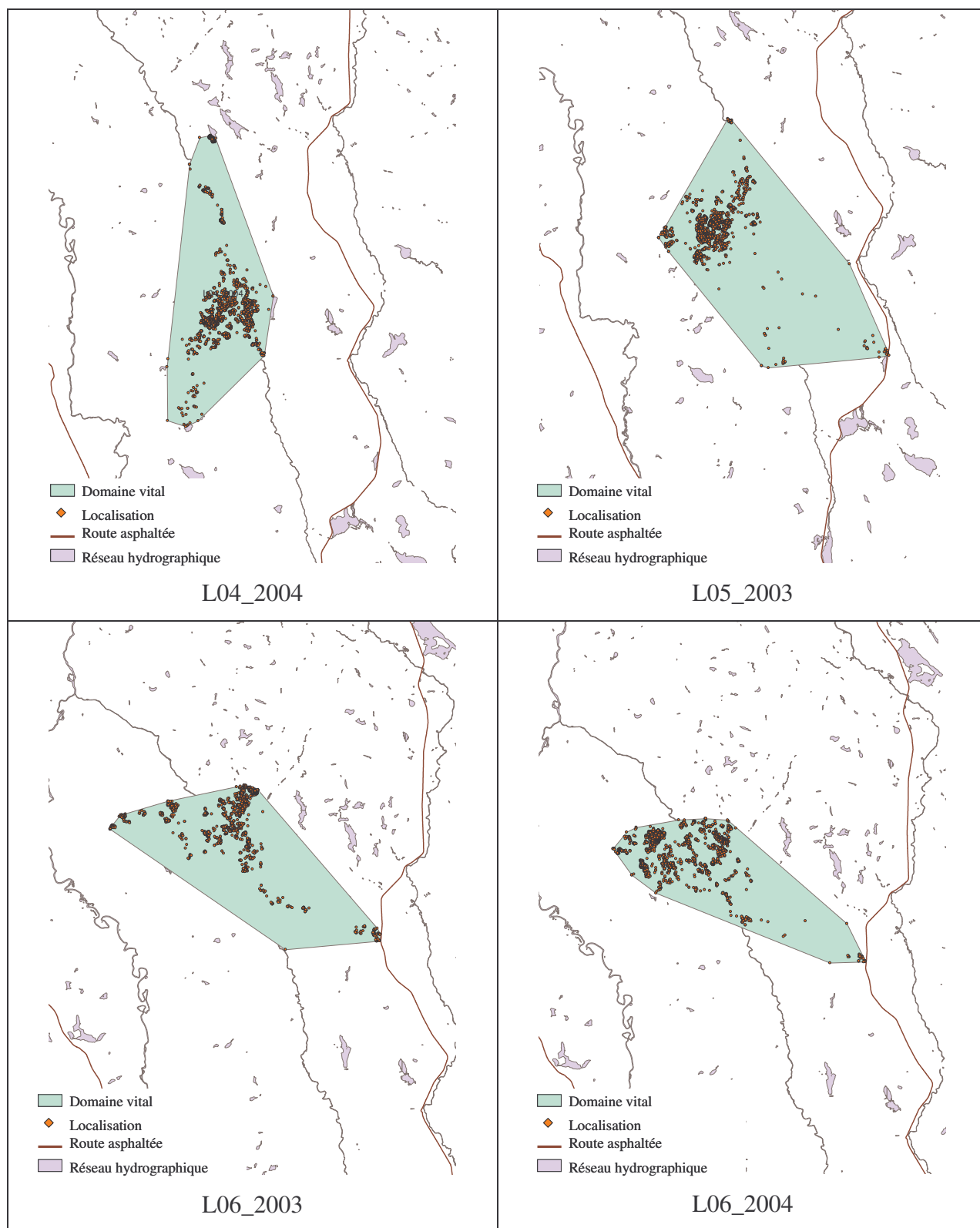
Annexe 2 (suite). Nombre de localisations mensuelles enregistrées par animal.

Animal	Année	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
L28	2003			181	347	366	321	129	178					1 522
L28	2004	230	340	341	321	309	283	200	215	297	349	333	330	3 548
L28	2005	354	332	365	354	121								1 526
L29	2003			150	344	342	306	278	290	223	304	350	366	2 953
L29	2004	149												149
L29	2005	169	327	367	330	339	297	278	272	251				2 630
L30	2003			158	358	359	339	332	309	345	336	313	113	2 962
L30	2004	159	346	371	358	369	355	369	370	357	370	358	371	4 153
L30	2005	367	328	369	350	360	332	205	267	347	213	194		3 332
L31	2004	266	332	338	352	363	333	327	331	292	23			2 957
L32	2004	260	318	325	330	351	314	304	340	346	311	164		3 363
L33	2004	232	331	340	326	361	332	337	340	203				2 802
L34	2004	221	341	244	216	253	191	114						1 580
L34	2005	150	322	363	290	353	324	317	294	282	145			2 840
L35	2004	120	348	372	359	370	359	335	82	119	161	8	16	2 649
L35	2005	131	317	337	233	337	291	32						1 678
L36	2004			255	358	371	352	359	367	361	367	313	366	3 469
L36	2005	359	292	313	259	309	294	285	304	335	337	335	352	3 774
L36	2006	167												167
L37	2004			10	291	344	326	331	341	333	362	271		2 609
L37	2005	12	124											136
L38	2004			8	323	368	345	340	335	244	26			1 989
L39	2004				354	349	309	319	305	310	354	355	367	3 022
L39	2005	237												237
L40	2004				353	364	345	341	351	350	363	350	366	3 183
L40	2005	366	290	359	351	366	338	348	344	347	364	343	213	4 029
L41	2004				353	193								546
L42	2004				339	359	332	319	320	259	353	345	349	2 975
L42	2005	358	316	364	328	349	242	81	47	203	333	335	356	3 312
L42	2006	111												111
L43	2005	179	315	345	276	324	261	266	267	93				2 326
L44	2005	148	320	362	345	359	347	353	354	342	364	354	245	3 893
L45	2005	140	287	328	273	307	272	273	178	98	49			2 205
L46	2005	60	324	358	305	334	300	298	309	341	352	350	358	3 689
L46	2006	300	272	281										853
L47	2005			95	341	363	309	341	329	203				1 981
L48	2005			103	360	372	359	371	371	359	371	361	235	3 262
L49	2005			98	347	365	338	345	348	329	342	350	234	3 096
L50	2005			95	332	358	328	322	343	333	351	328	359	3 149
L50	2006	188												188
L51	2005			101	360	371	359	372	372	360	371	360	247	3 273
L53	2005			99	358	365	93							915
L54	2005			80	336	355	317	319	303	320	344	305	241	2 920
L55	2005				190	359	347	352	345	242				1 835

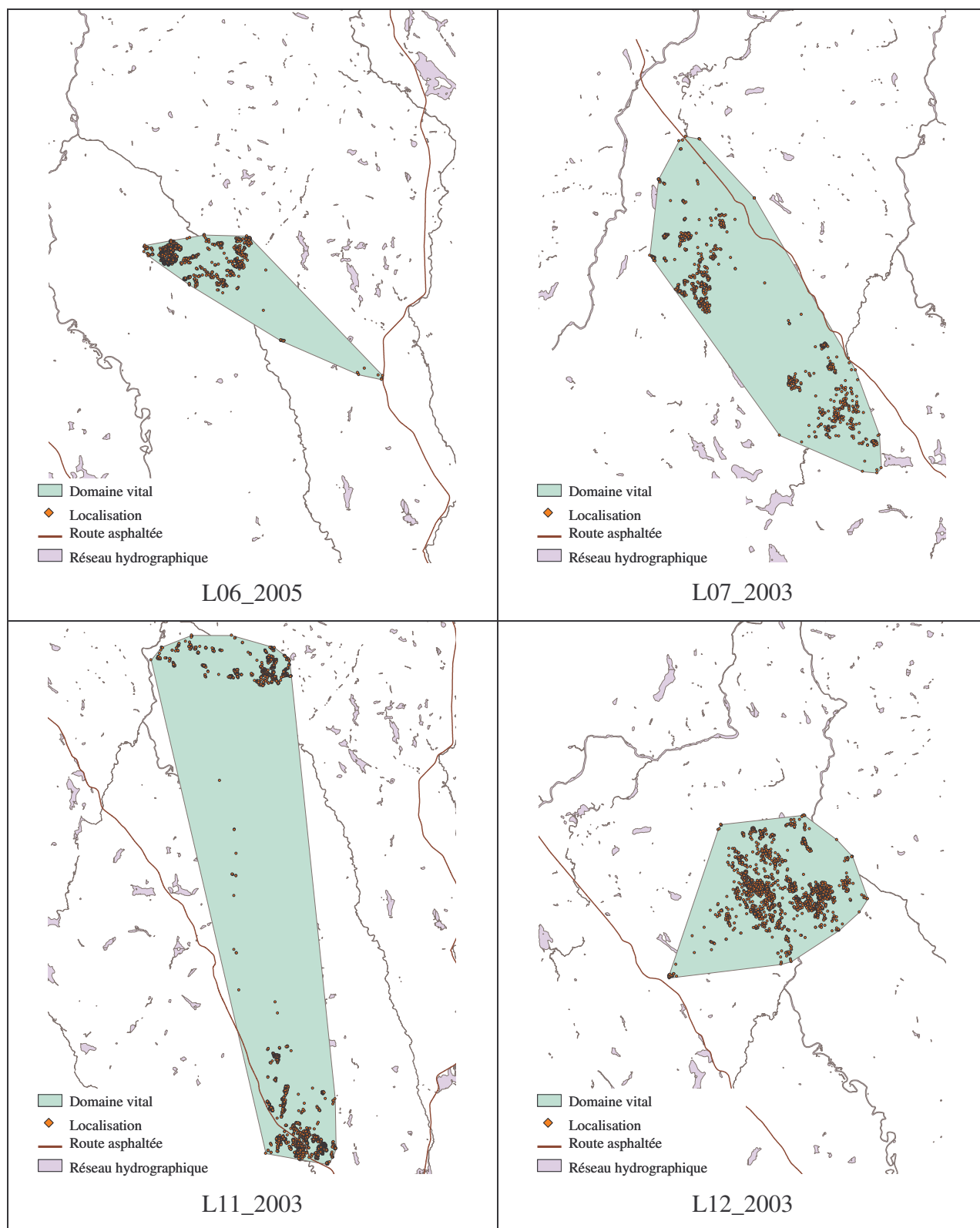
Annexe 3. Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original (échelle au 1 : 100 000).



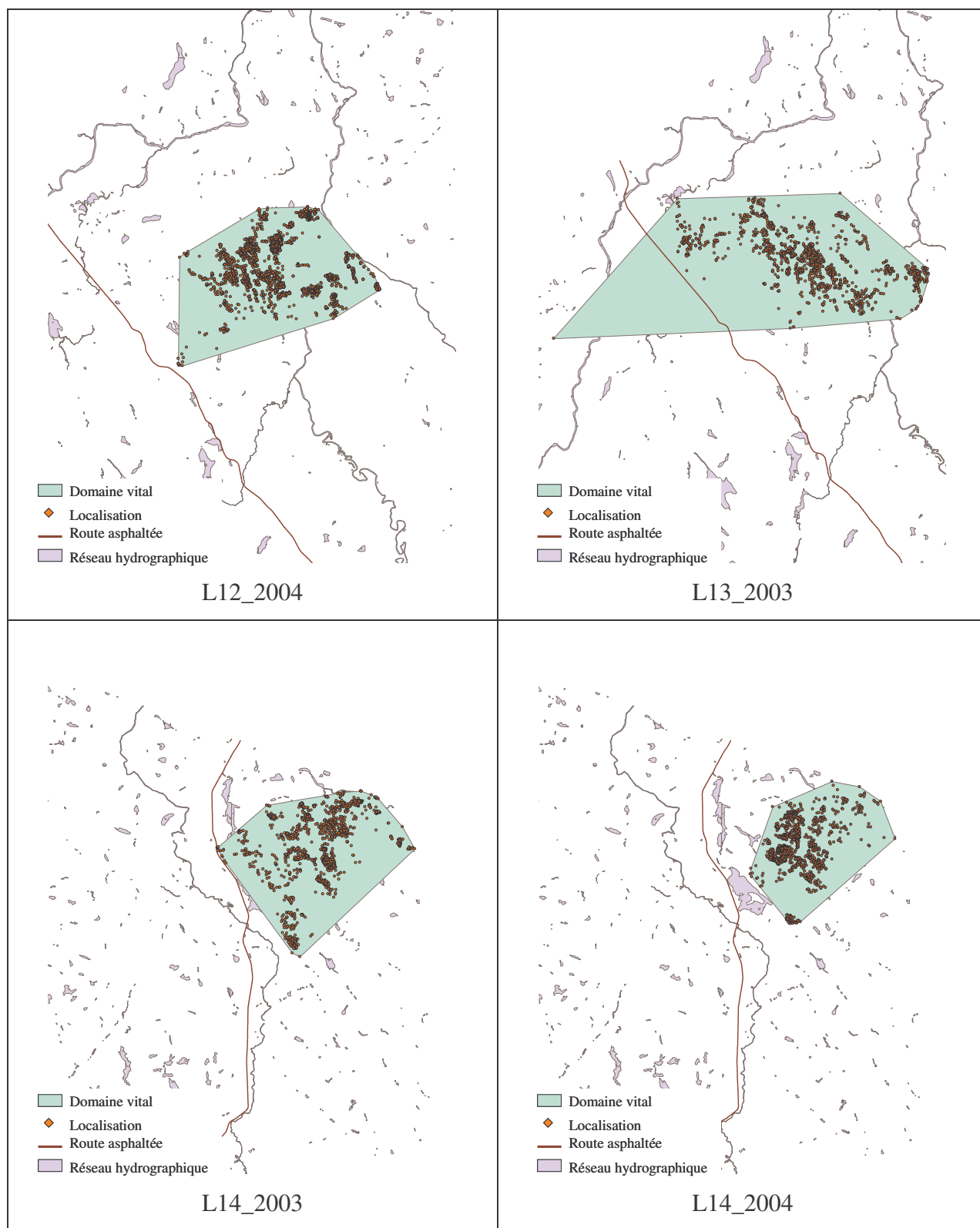
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



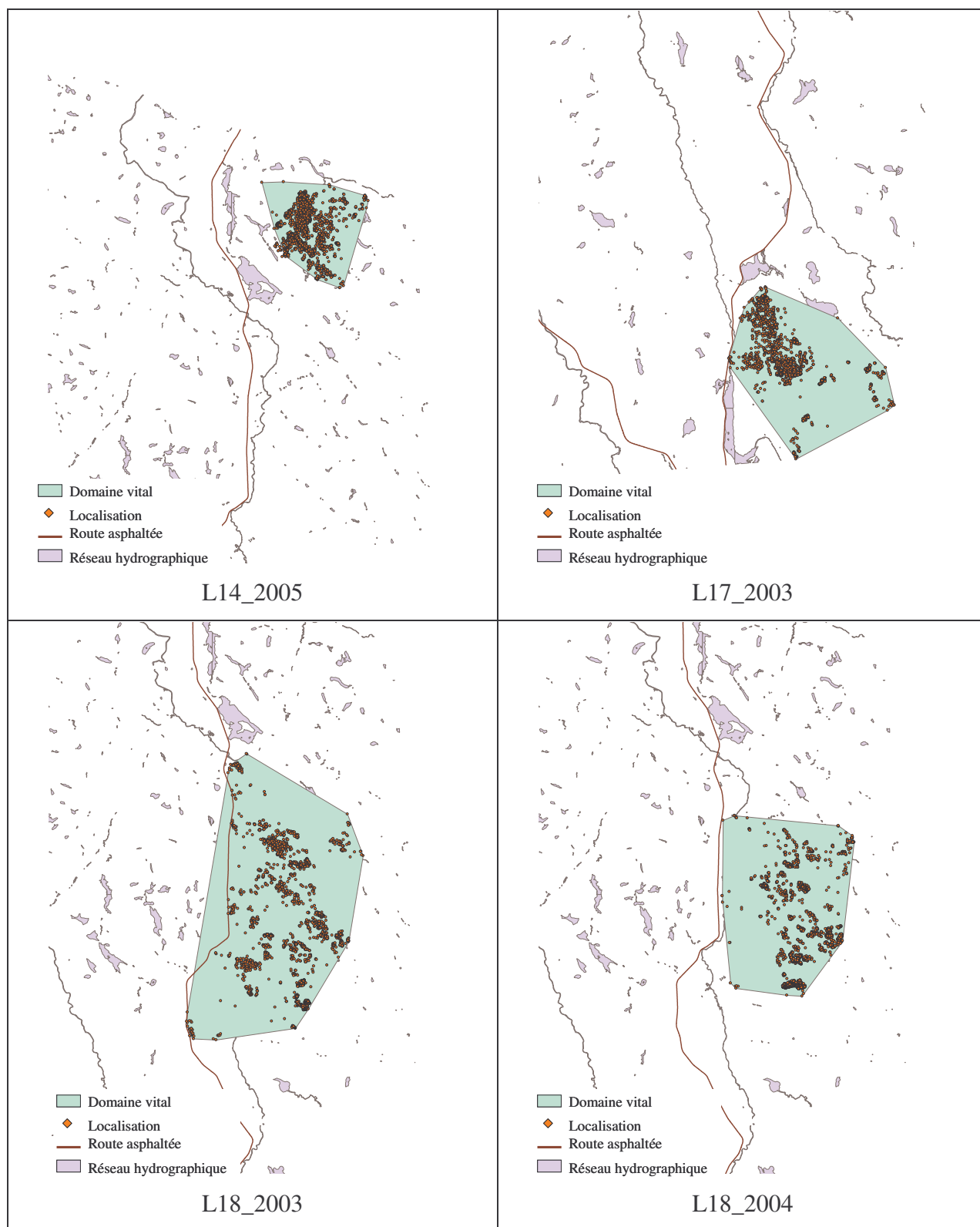
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



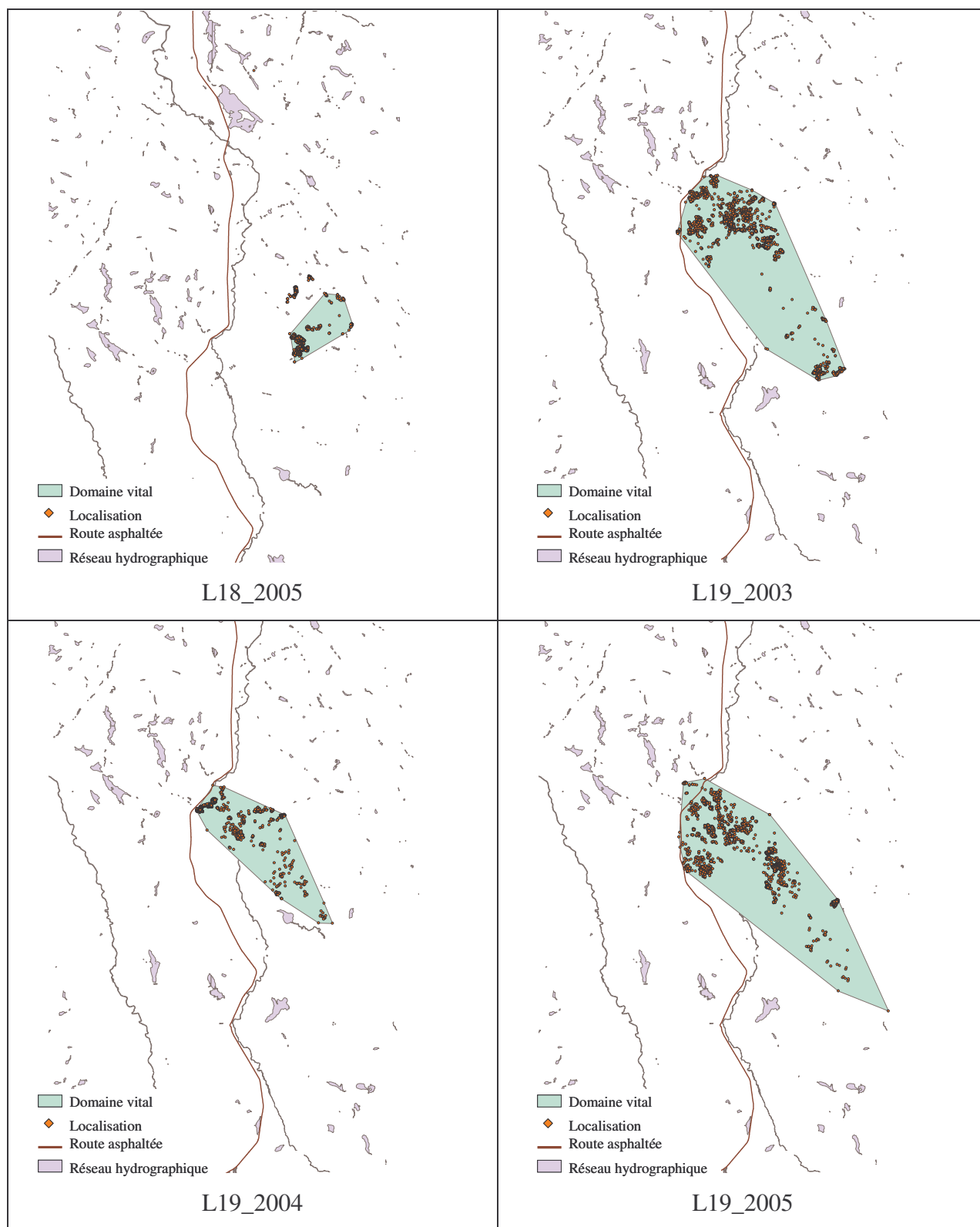
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



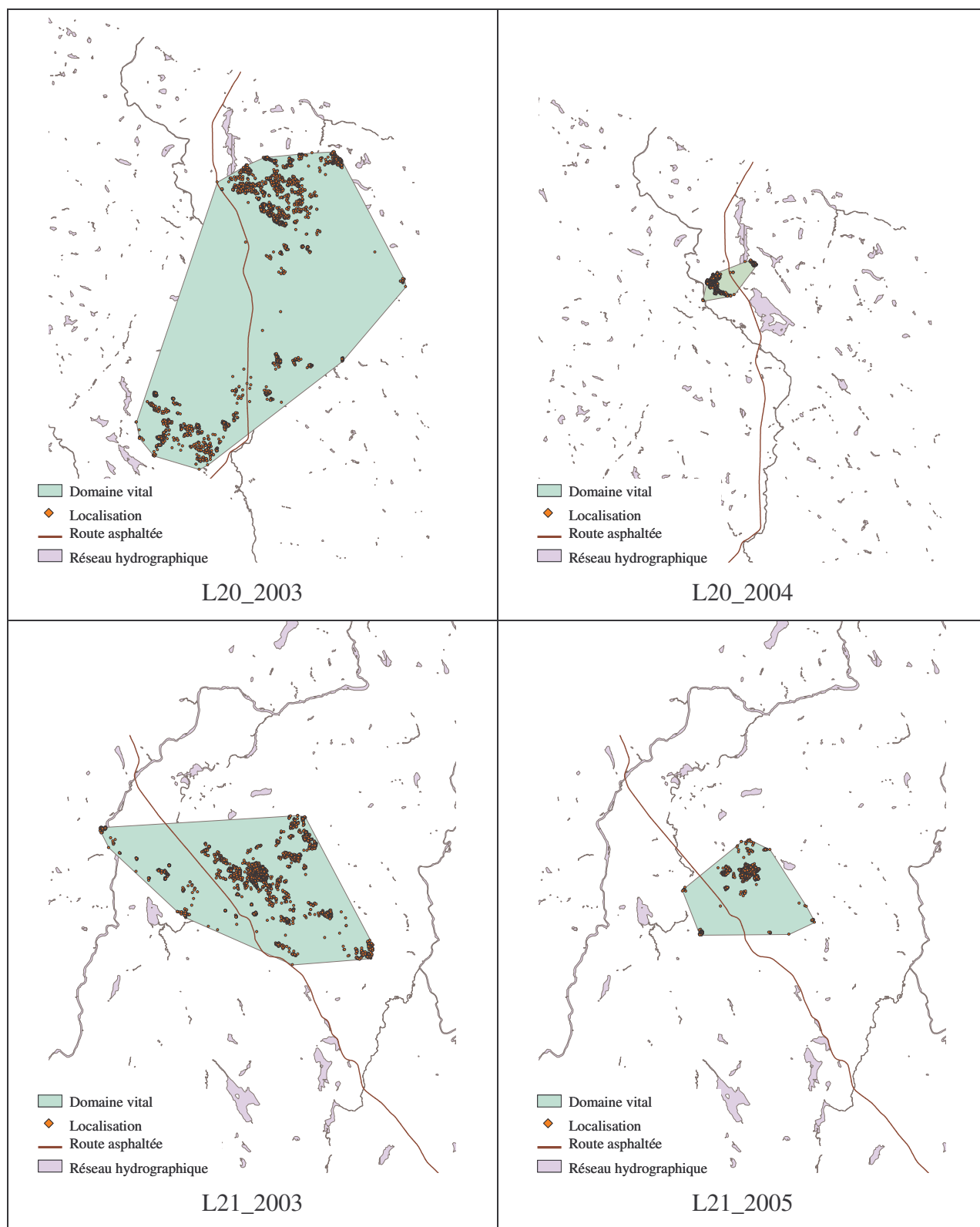
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



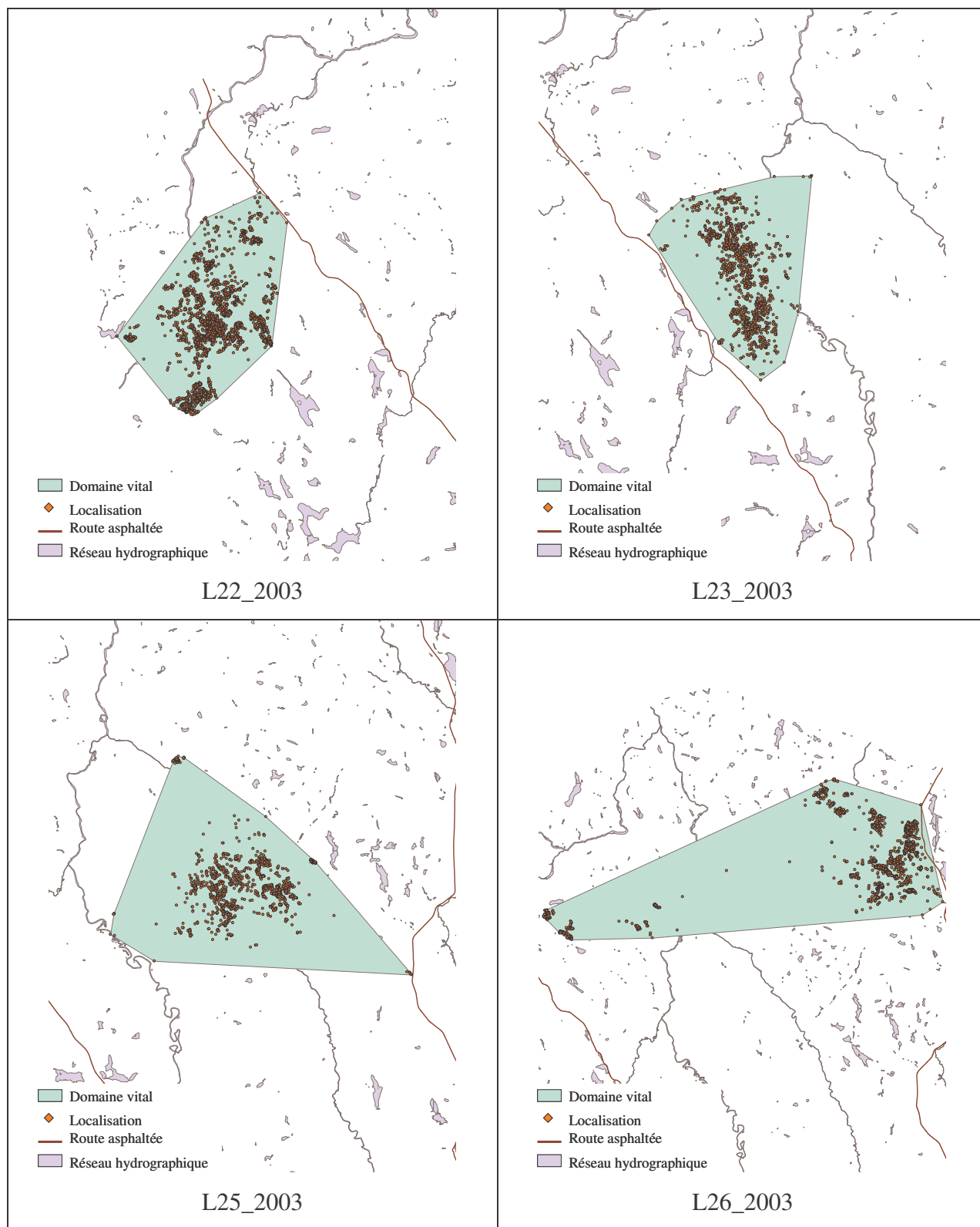
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



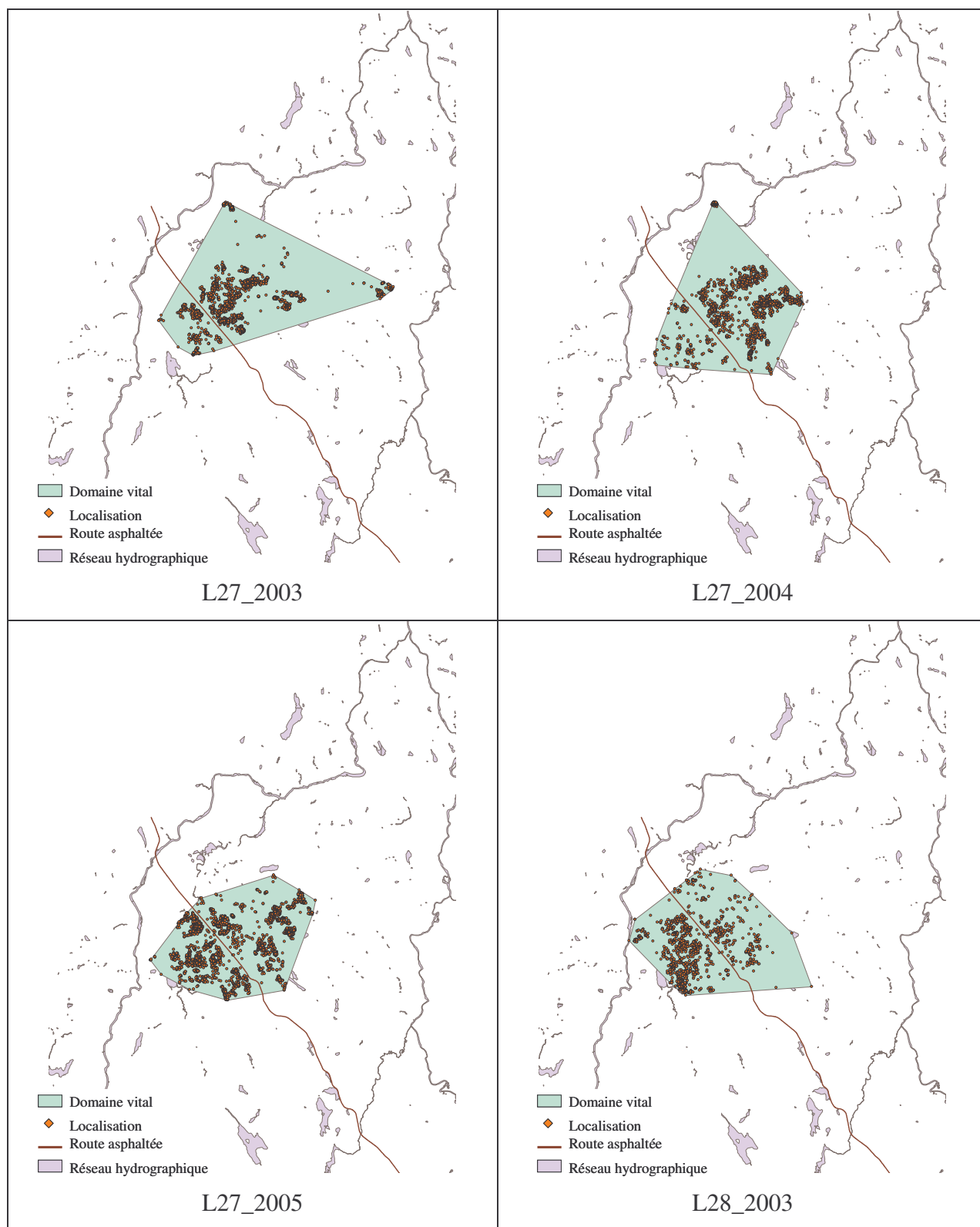
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



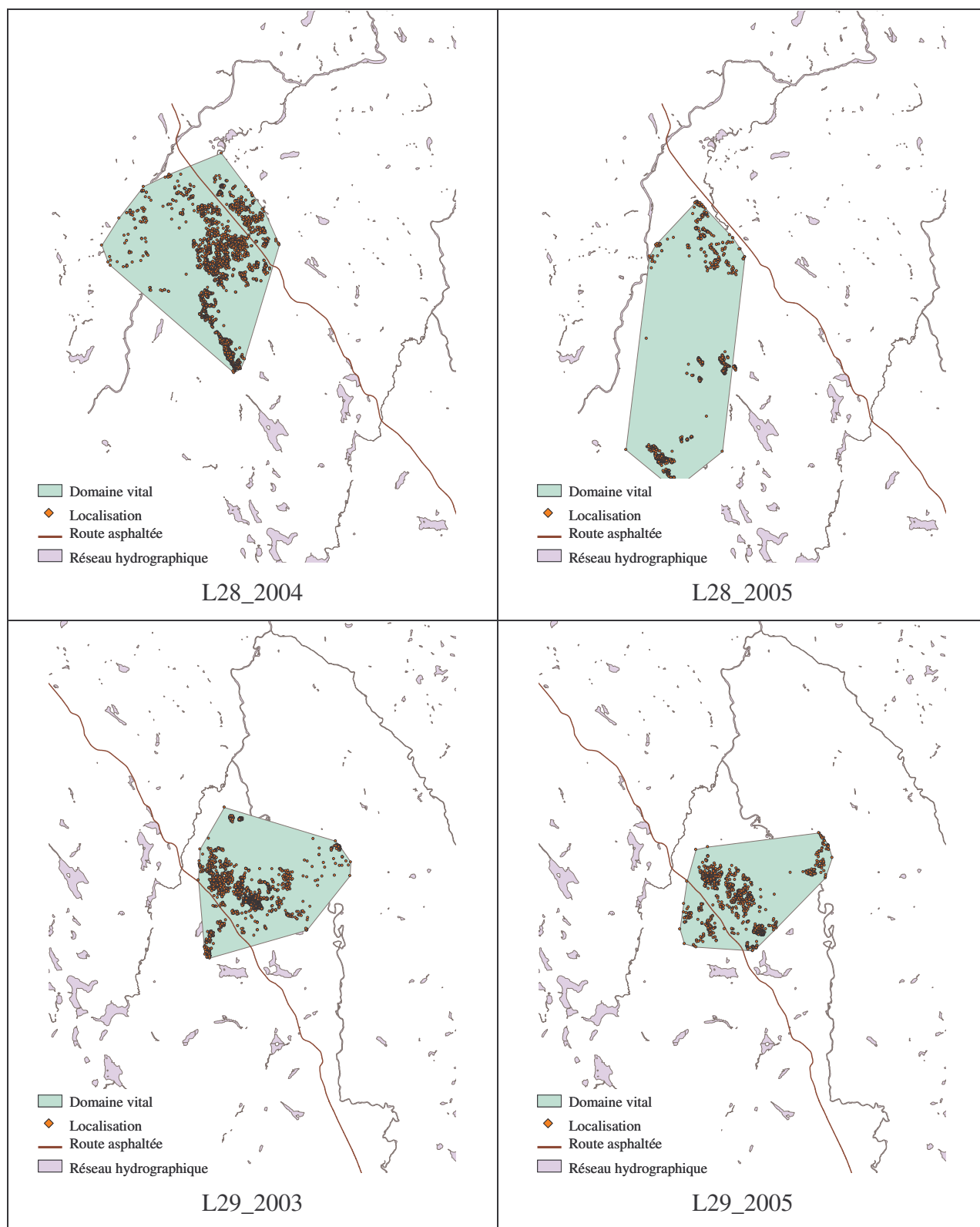
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



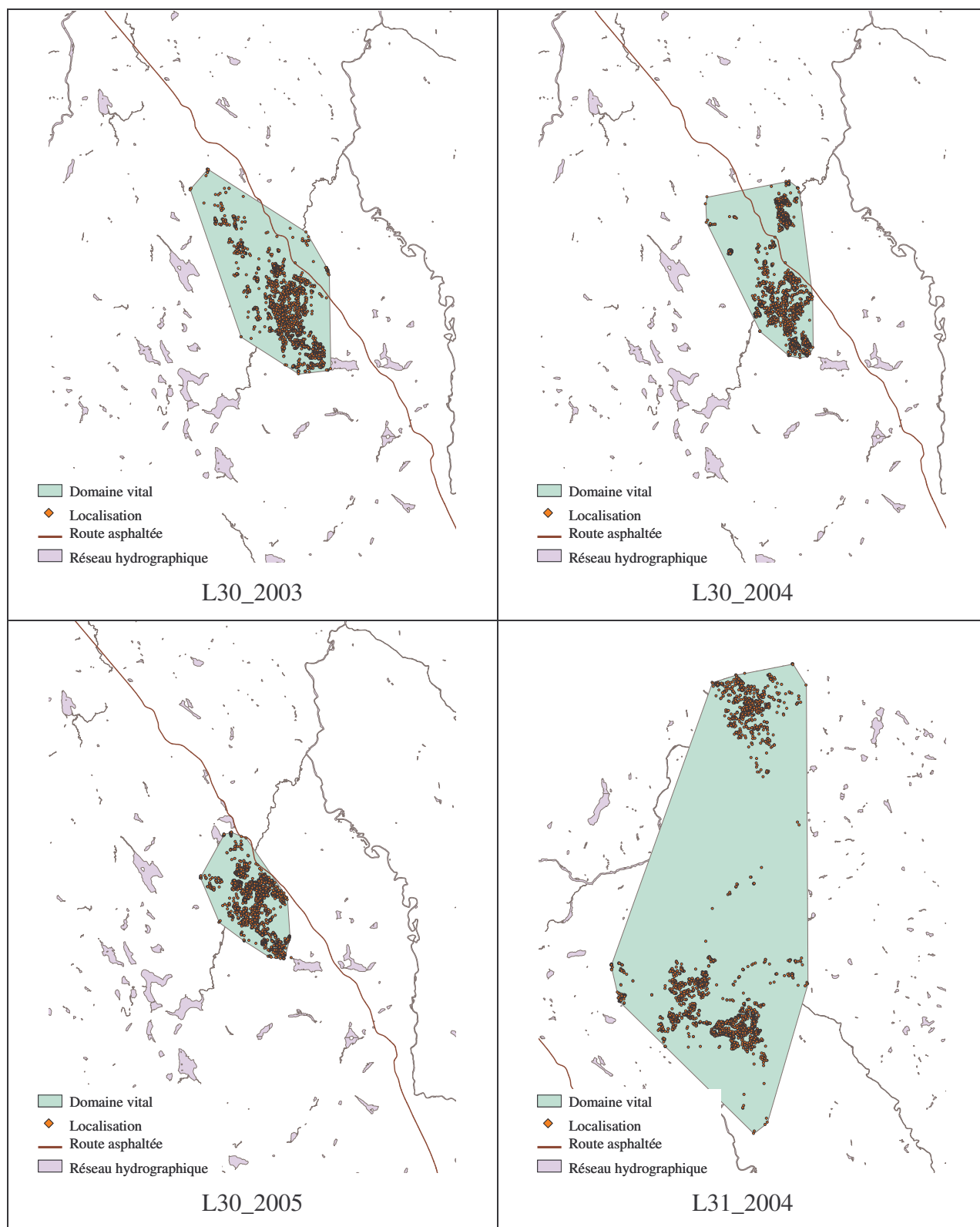
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



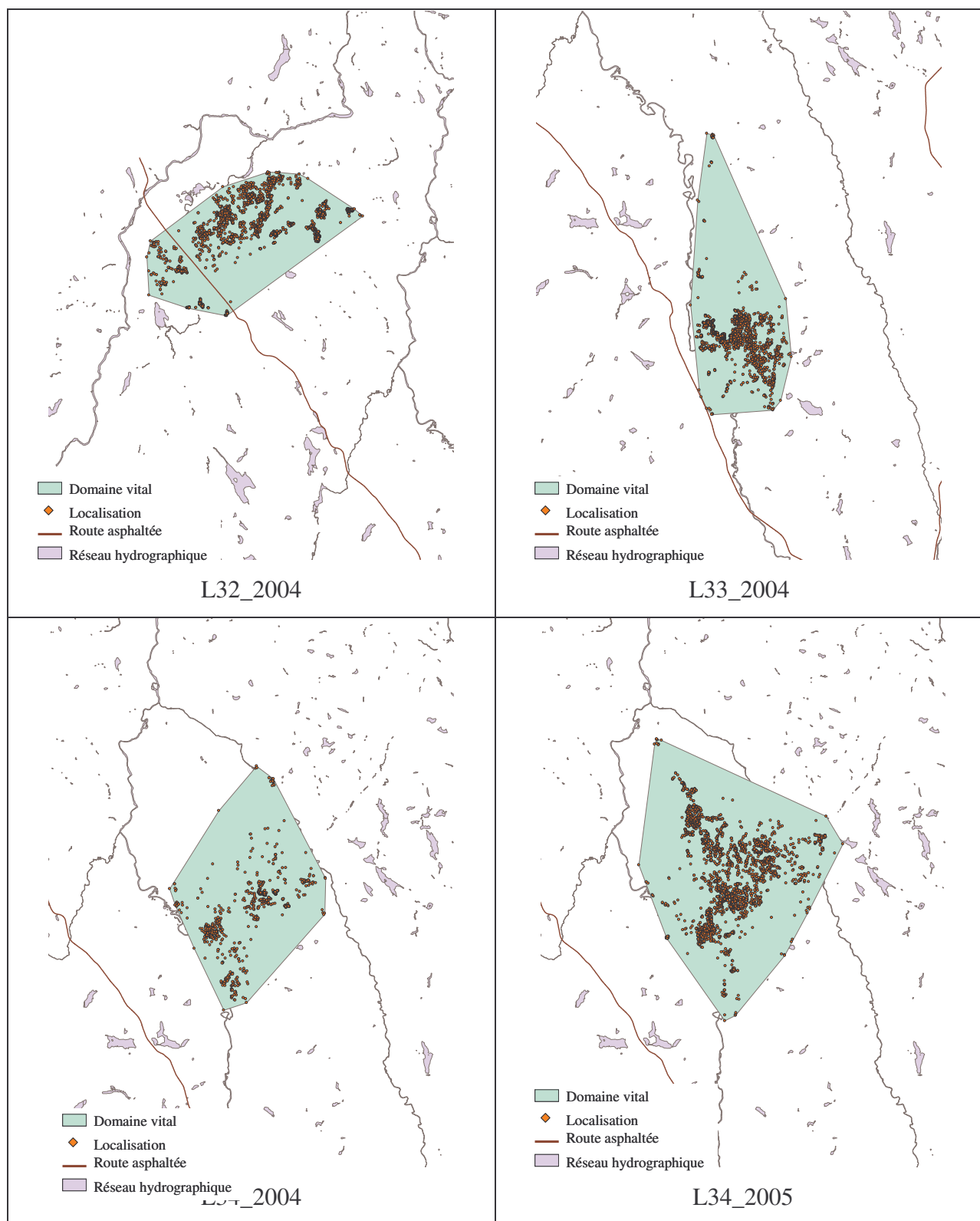
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



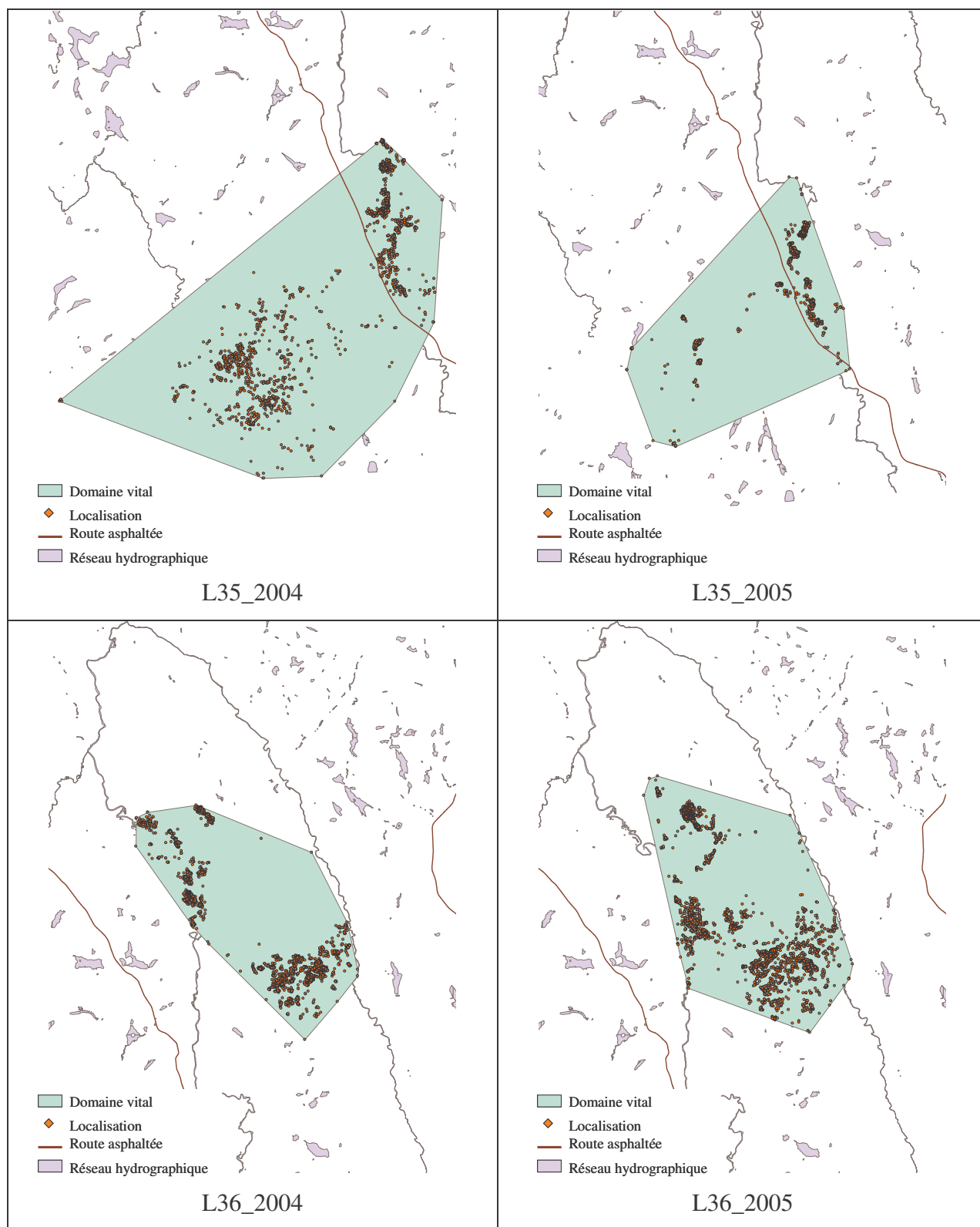
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



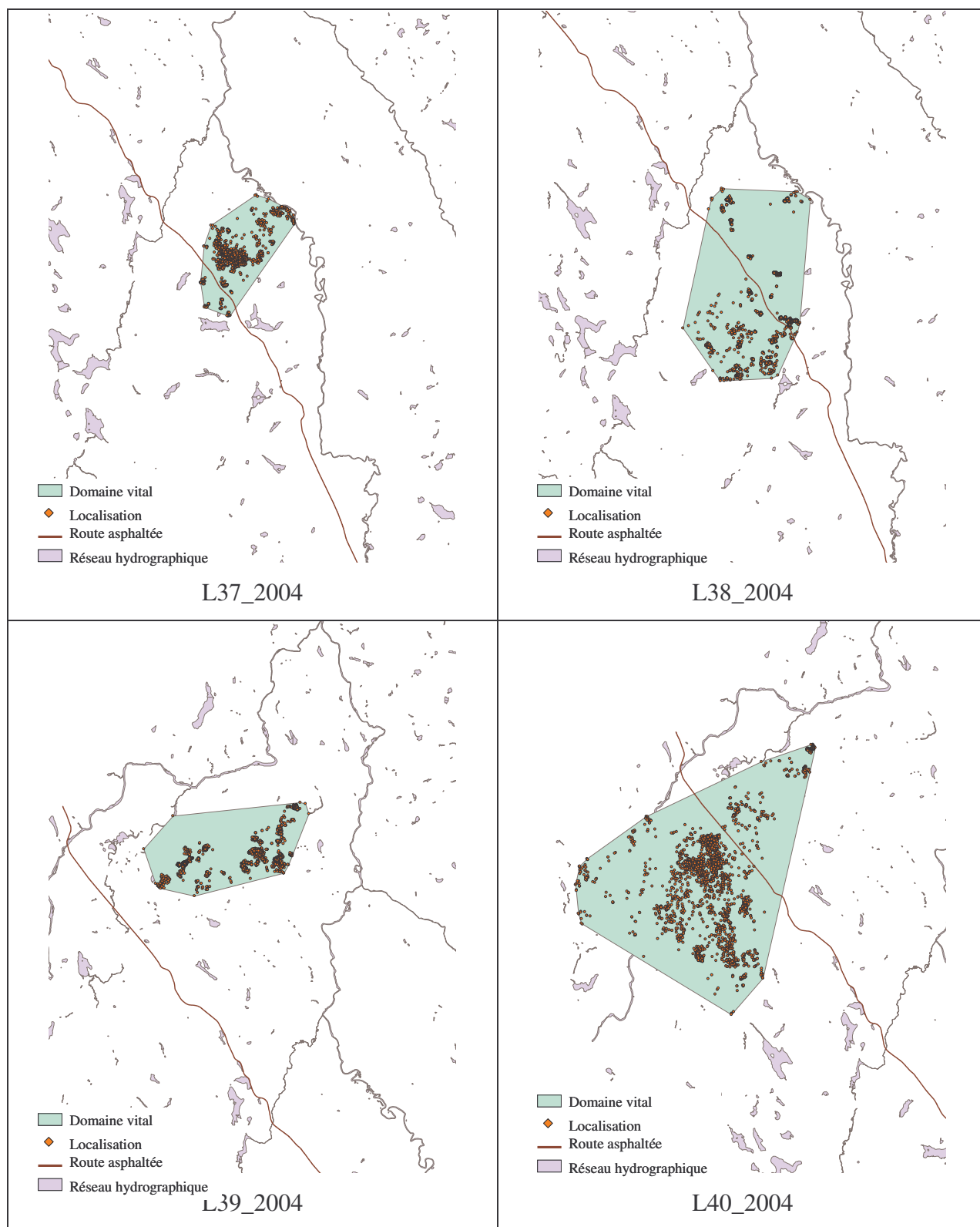
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



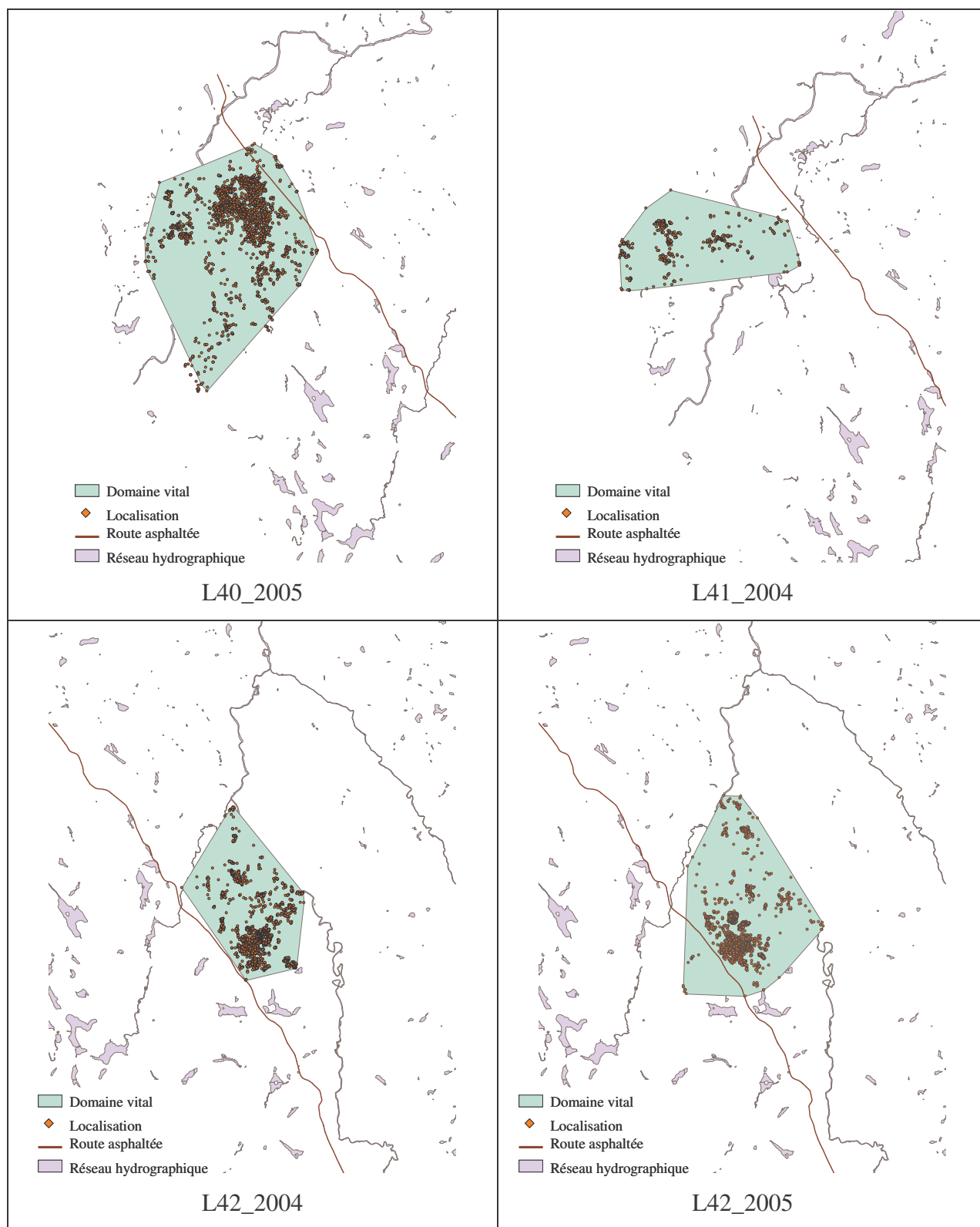
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



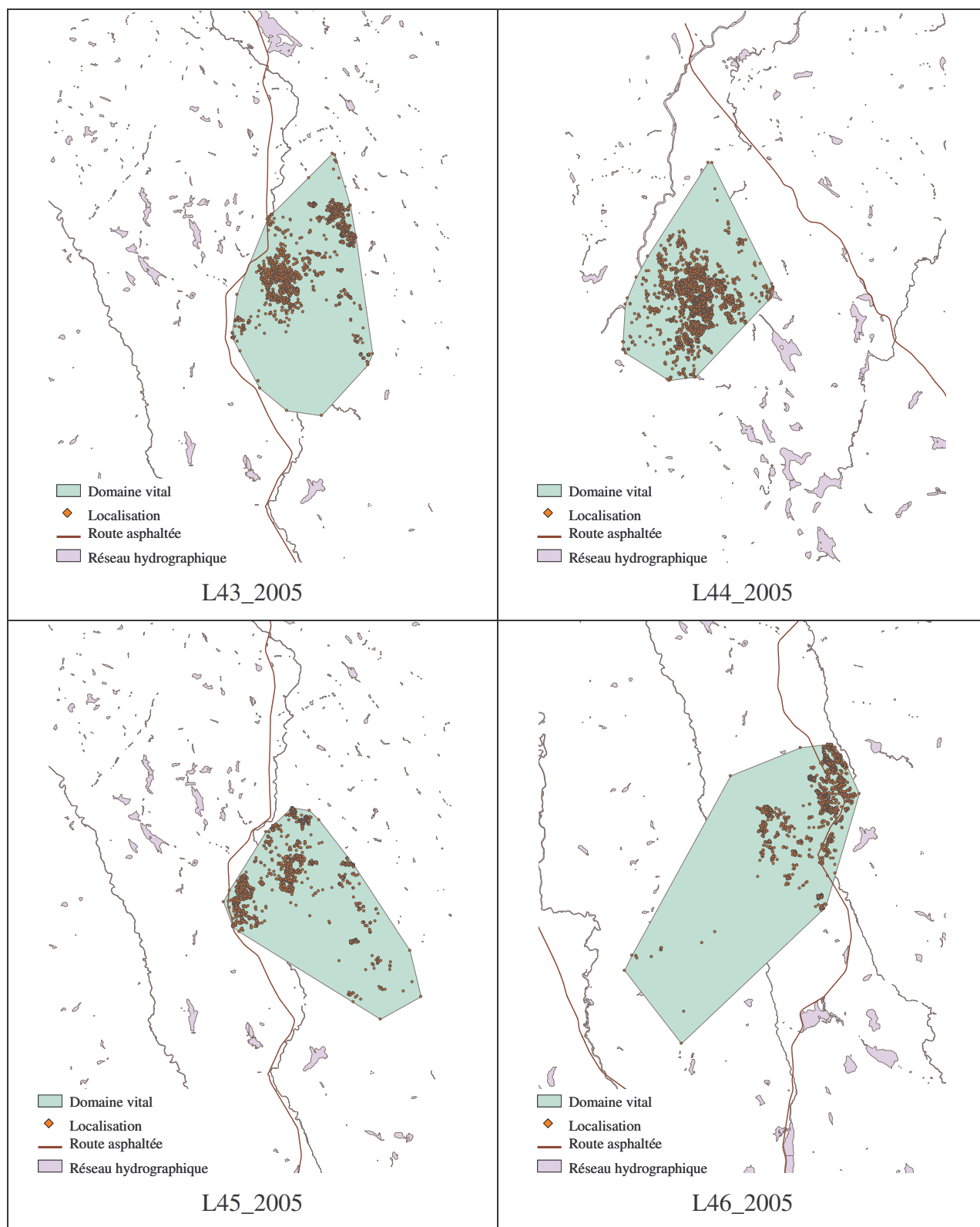
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



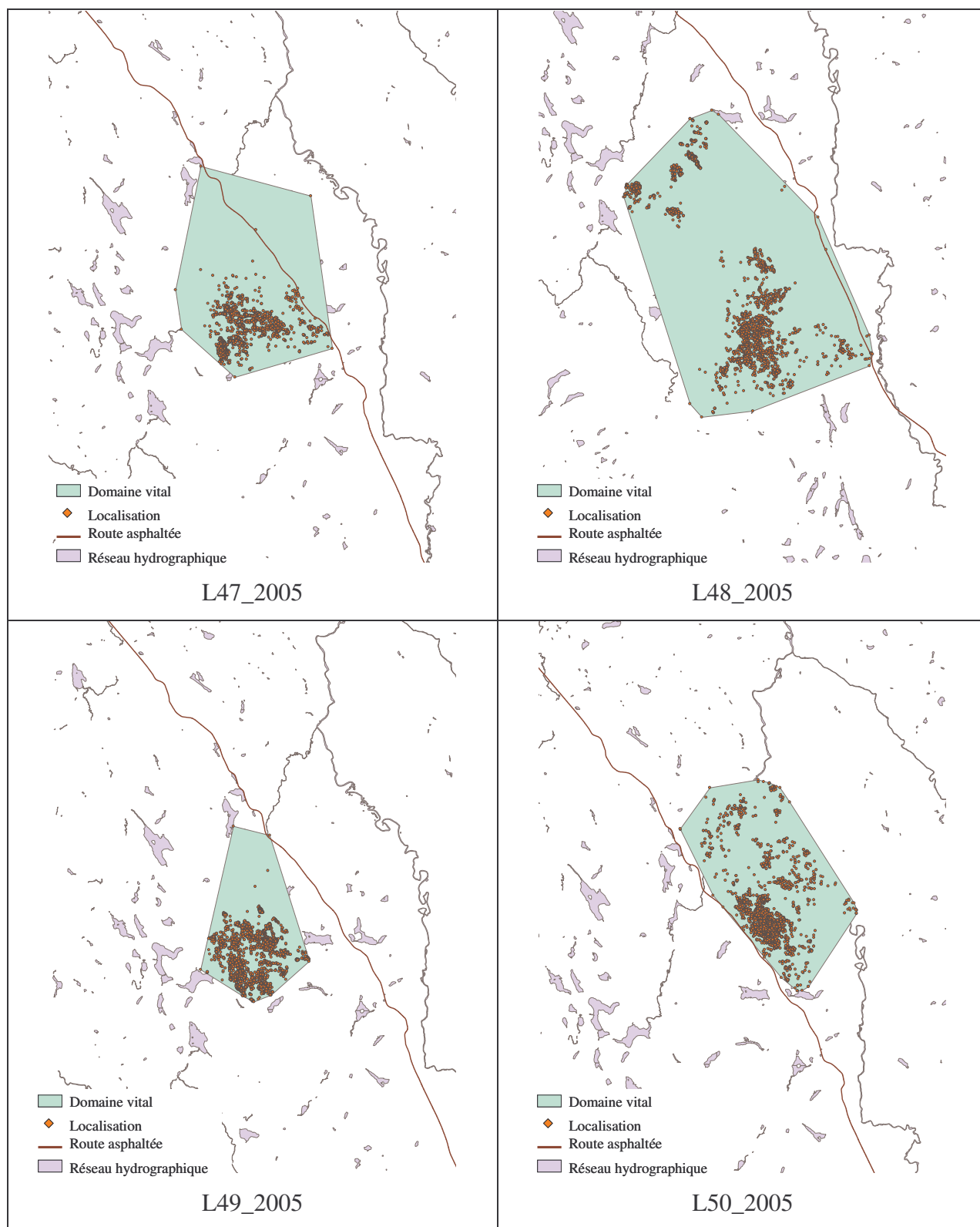
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



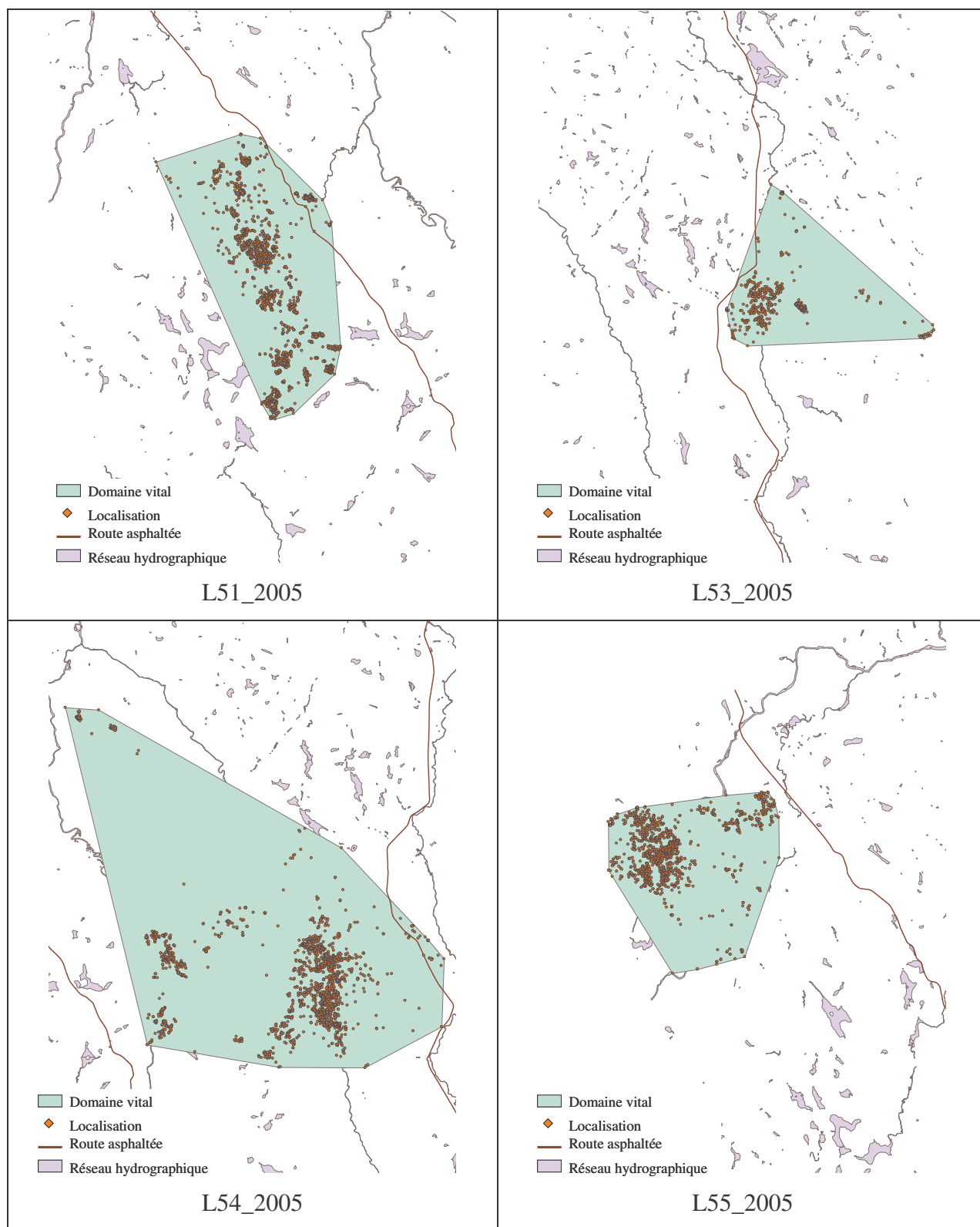
Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.



Annexe 3 (suite). Domaines vitaux annuels et localisations de chaque original.

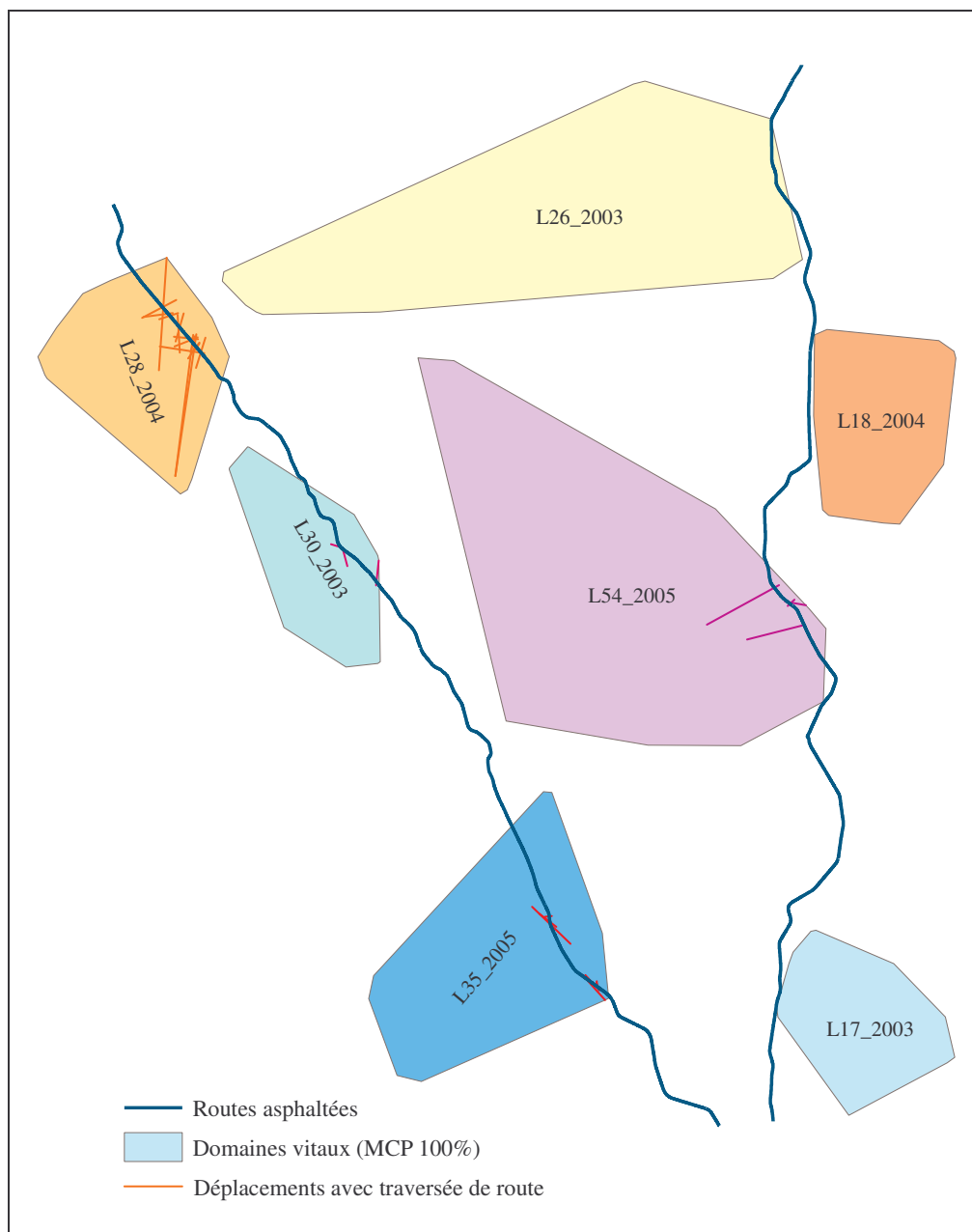


Annexe 4. Longueur (m) des axes routiers dans les domaines vitaux des orignaux.

Animal	Année	Route	Chemin
L01	2003	3 495,63	65,17
L03	2003	4 293,11	12 485,28
L03	2004	3 749,92	12 653,05
L04	2003	0	8 657,70
L04	2004	0	8 474,31
L05	2003	148,16	11 827,72
L06	2003	0	3 165,89
L06	2004	0	3 633,88
L06	2005	0	1 958,22
L07	2003	9 543,33	14 249,43
L11	2003	9 352,43	14 701,76
L12	2003	0	6 916,02
L12	2004	0	5 396,90
L13	2003	5 963,65	14 593,35
L14	2003	0	0
L14	2004	0	0
L14	2005	0	0
L17	2003	0	7 960,57
L18	2003	9 723,18	6 565,72
L18	2004	0	391,94
L18	2005	0	0
L19	2003	813,69	0
L19	2004	516,33	0
L19	2005	3 284,03	148,92
L20	2003	12 155,79	13 349,08
L20	2004	1 067,74	0
L21	2003	7 381,54	8 260,81
L21	2005	3 173,23	1 593,19
L22	2003	0	18 813,57
L23	2003	0	4 267,30
L25	2003	0	9 323,45
L26	2003	3 813,63	18 338,80
L27	2003	3 838,54	9 921,32
L27	2004	5 151,20	9 371,97
L27	2005	5 269,30	8 444,19
L28	2003	5 993,93	7 631,24
L28	2004	6 042,08	14 685,34
L28	2005	0	8 913,70

Animal	Année	Route	Chemin
L29	2003	3 864,27	1 148,13
L29	2005	4 159,12	0
L30	2003	5 659,99	6 257,62
L30	2004	5 801,73	4 576,07
L30	2005	1 659,70	0
L31	2004	0	21 134,87
L32	2004	4 934,29	10 463,82
L33	2004	0	0
L34	2004	0	6 772,43
L34	2005	0	12 770,25
L35	2004	8 729,44	35 630,92
L35	2005	8 639,16	23 779,41
L36	2004	0	12 707,73
L36	2005	0	14 794,85
L37	2004	2 663,71	0
L38	2004	6 957,53	5 433,98
L39	2004	0	8 040,02
L40	2004	6 296,59	22 131,58
L40	2005	4 624,53	19 793,63
L41	2004	0	3 485,93
L42	2004	0	4 281,05
L42	2005	4 556,76	3 241,83
L43	2005	2 400,73	0
L44	2005	0	9 916,16
L45	2005	1 613,03	0
L46	2005	7 302,92	9 295,01
L47	2005	10 160,32	10 302,24
L48	2005	7 285,57	32 126,97
L49	2005	313,63	2 609,62
L50	2005	2 467,61	5 035,13
L51	2005	6 047,81	12 637,12
L53	2005	3 469,94	0
L54	2005	5 056,51	29 001,00
L55	2005	0	17 771,63

Annexe 5. Exemples de domaines vitaux établis par les orignaux suivis dans la réserve faunique des Laurentides.



Certains orignaux ont traversé l'une des routes asphaltées (L28_2004, L30_2003, L35_2005, L54_2005) alors que d'autres ne les ont jamais traversées, bien qu'ayant utilisé leurs abords (L17_2003, L18_2004, L26_2006). Dans le cas de L26, la méthode de calcul du domaine vital fait apparaître une section de route dans celui-ci, mais l'animal n'a jamais traversé la route, du moins si l'on se réfère aux 2 279 localisations enregistrées.