Analyse spatiale des conditions environnementales propices aux collisions routières impliquant le cerf de virginie

SYSTÈMES DE TRANSPORT

ÉTUDES ET RECHERCHES EN TRANSPORT

Québec

ANALYSE SPATIALE DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES PROPICES AUX COLLISIONS ROUTIÈRES IMPLIQUANT LE CERF DE VIRGINIE

Julien Belvisi
Agence géomatique montérégienne – GéoMont

Réalisé pour le compte du ministère des Transports

Janvier 2011

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports du Québec et a été financée par la Direction de la recherche et de l'environnement.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports du Québec.

Nous tenons à remercier chaleureusement les membres du comité de pilotage du projet, qui ont apporté un soutien crucial, tant en ce qui a trait à la mise à disposition d'information qu'en ce qui concerne leur expertise dans le domaine des transports et de l'éthologie du cerf de Virginie.

Collaborateurs :

Marcel Beaudoin, ministère des Transports, Direction de l'Ouest-de-la-Montérégie
Chantal Hudon, ministère des Transports, Direction de l'Est-de-la-Montérégie
Jean Gagné, ministère des Transports, Direction de l'Estrie
Yves Poulin, ministère des Transports, Direction de l'Estrie
Claude Sirois, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'aménagement de la faune de l'Estrie, de Montréal et de la Montérégie
Éric Jaccard, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'expertise Faune-Forêt-Mines – Territoire de l'Estrie-Montréal-Montérégie et de Laval-Laurentides-Lanaudière

Soucieux de protéger l'environnement, le ministère des Transports du Québec favorise l'utilisation de papier fabriqué à partir de fibres recyclées pour la production de ses imprimés et encourage le téléchargement de cette publication.

© Agence géomatique montérégienne – GéoMont, 2011

ISBN 978-2-550-70519-2 (PDF)

Dépôt légal – 2014
Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Tous droits réservés. La reproduction de ce document par procédé mécanique ou électronique, y compris la microreproduction, et sa traduction, même partielles sont interdites sans l'autorisation écrite des Publications du Québec.

Ministère des Transports Québec

FICHE ANALYTIQUE

Titre et sous-titre du rapport Analyse spatiale des conditions environnementales propices aux collisions routières impliquant le cerf de Virginie	N° du rapport Transports Québec RTQ-14-01 Date de publication du rapport (Année-Mois) 2011-01	
Titre du projet de recherche Analyse spatiale des conditions environnementales propices aux collisions routières impliquant le cerf de Virginie	N° du dossier 4502-08-RG02	N° du projet R635.1
Responsable de recherche Julien Belvisi Auteurs du rapport Julien Belvisi	Date du début de la recherche 2008-10-08	Date de fin de la recherche 2011-02-22
Chargé de projet, direction Marcel Beaudoin, direction de l'Ouest-de-la-Montérégie	Coût total de l'étude 120 000 $	
Étude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme) Agence géomatique montérégienne-GéoMont 1355, rue Gauvin, bureau 3100 Saint-Hyacinthe (Québec) J2S 8W7	Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme) Service de la coordination de la recherche et de l'innovation Direction de l'environnement et de la recherche Ministère des Transports du Québec 930, chemin Sainte-Foy, 6e étage Québec (Québec) G1S 4X9	

Problématique

Au Québec, chaque année, les accidents de la route impliquant le cerf de Virginie causent d'importants dommages matériels et parfois même la perte de vies humaines. Les résultats de plusieurs études ont permis d'identifier des facteurs importants tels que les mois de l'année, les heures de la journée, la présence de boisés, et autres variables pour expliquer les accidents routiers impliquant le cerf de Virginie. Cependant, peu d'études ont pu décrire et caractériser spatialement les sites accidentogènes réels et potentiels de ce type de collisions routières. À cause du grand nombre d'accidents avec le cerf dans certaines régions du Québec, il est souvent acquis qu'il est quasi impossible de discriminer des endroits plus accidentogènes que d'autres. L'étude propose donc un modèle d'analyse de l'ensemble des conditions spatio-temporelles du phénomène des collisions avec le cerf de Virginie sur le territoire de la Montérégie.

Objectifs

Les objectifs généraux sont de diminuer de 20 % sur cinq années le nombre de conflits routiers annuels impliquant le cerf de Virginie sur le réseau supérieur de la Montérégie, et de progresser dans la compréhension du phénomène des conflits routiers impliquant le cerf de Virginie. Les objectifs spécifiques consistent à élaborer un système d'information et d'aide à la décision (SIAD) servant de support à l'interprétation des facteurs explicatifs relatifs aux collisions véhicules / cerfs; à localiser et caractériser spatialement l'environnement des sites accidentogènes ; ainsi qu'à identifier des facteurs spatio-temporels explicatifs à différentes échelles d'observation.

Méthodologie

La méthodologie utilisée visait à déterminer le risque en fonction d'un aléa (le cerf) et de la vulnérabilité (le véhicule). L'Approche utilisée pour l'étude était basée sur une méthodologie inductive. À partir de l'observation des accidents véhicules / cerfs, un modèle théorique a été construit en procédant par inférence et par analogie. Ainsi, par comparaison et extension aux phénomènes semblables à ceux étudiés, il était possible de passer de l'observation à la loi, et des faits à la règle. Des facteurs de vulnérabilités et des critères d'identification des sites accidentogènes ont été définis pour être appliqués, par la suite, à une analyse multiscalaire de risques de collisions véhicules / cerfs. Comme outil exploratoire des premiers résultats, une analyse des correspondances multiples (ACM) a été réalisée et la représentation graphique des résultats a permis de dégager les principaux constats des variables explicatives. La dernière étape méthodologique a été d'utiliser le logiciel SIPINA pour la génération d'un arbre de décision. L'ensemble du projet a été élaboré dans un système d'information géographique.

Résultats et recommandations

Le projet a permis d'effectuer un zonage du risque de concentration de conflits véhicule/cerf (CVC) fondé sur la mise au point d'un modèle prédictif. Ce modèle représente un outil d'aide à la décision utile pour les administrations routières. Conçu en utilisant des données mesurées sur le territoire de la Montérégie, le modèle a aussi été testé sur le territoire de l'Estrie, avec des résultats concluants. Cette étude a mis en évidence la grande variabilité temporelle du risque de collision routière avec le cerf de Virginie à l'échelle annuelle, saisonnière, et horaire. Le zonage du risque pourrait servir de guide pour le positionnement efficace des panneaux de signalisation relatifs à la présence du cerf de Virginie ou être intégré à l'élaboration d'une démarche de contrôle ciblé des populations de cerfs de Virginie.

Mots clés	Nombre de pages	Nombre de références bibliographiques	Langue du document
Cerf de virginie, collisions routières, accidents routiers, grande faune, système d'information géographique, zonage du risque de collisions	113	26	☒ Français ☐ Anglais Autre (spécifier) :

RÉSUMÉ

Cette étude fondée sur l'analyse de données à référence spatiale à différentes échelles d'observation propose d'aller plus avant dans la compréhension du phénomène des conflits routiers impliquant le cerf de Virginie dans le contexte spécifique de la Montérégie et, subsidiairement, de l'Estrie.

Le zonage du risque de concentration de conflits véhicule/cerf (CVC) fondé sur la mise au point d'un modèle prédictif, qui est une des résultantes principales de l'étude, peut constituer un outil d'aide à la décision utile pour le ministère des Transports du Québec (MTQ). Par là même, ce zonage donne une vision du phénomène des CVC qui gagne en permanence par rapport à la seule prise en compte des sites accidentogènes (zone de concentration spatiotemporelle anormalement élevée de CVC).

Pour le MTQ, une application concrète de ce zonage du risque pourrait consister en un positionnement efficace des panneaux de signalisation relatifs à la présence du cerf de Virginie. Aussi, compte tenu du coût important accompagnant d'éventuels aménagements et dispositifs techniques de mitigation, on pourrait concevoir une autre utilité de ce zonage. Il s'agirait, par exemple, de réserver ces installations pour des secteurs dont on est pratiquement assuré qu'ils sont touchés par une certaine permanence sur le plan de l'importance du phénomène, ce qui ne serait pas le cas en se fondant uniquement sur le fait qu'un site est accidentogène.

Toujours au sujet des mesures de mitigation, et dans une optique de concertation avec d'autres partenaires comme le ministère des Ressources naturelles et de la Faune, ce zonage pourrait entrer en ligne de compte dans une démarche de contrôle ciblé des populations de cerfs de Virginie et, plus particulièrement, par une meilleure focalisation des secteurs de chasse intensive ou d'abattage professionnel.

Concernant l'établissement des variables explicatives du risque de CVC, il apparaît que le principal défi ne réside pas dans l'élaboration d'une variable de vulnérabilité, traduisant l'exposition au risque dans la mesure où le débit journalier moyen annuel (DJMA) remplit parfaitement cette fonction. L'essentiel du travail relatif à l'établissement des variables explicatives du risque de CVC a, de ce fait, porté sur les facteurs d'aléa, donc sur les différents paramètres expliquant la présence d'un cerf sur le réseau routier à un moment donné, et en un lieu donné. Pour la Montérégie, l'information utile (récolte sportive, inventaires aériens) sur la présence du cerf et sur ses mouvements saisonniers s'est révélée trop parcellaire pour être prise en compte exclusivement. Il a donc été nécessaire de produire des indices indirects à base environnementale et, dans cette optique, il est clair que la géomatique a constitué un outil de prédilection.

Concernant les données sources permettant de renseigner les variables explicatives, l'utilisation de la photo-interprétation et le recours aux vidéographies routières témoignent de notre préoccupation en matière de qualité et de précision de l'information. Cependant, dans la perspective d'une application à l'échelle régionale, nous avons été conduits à nous appuyer sur des données sources comme celles regroupées dans la base fédérale de données CanVec pour décrire l'occupation du territoire tout en ayant à l'esprit les limites inhérentes à cette information (précision, actualisation). Dans le cas où un projet comparable devrait être reproduit, il serait important, au préalable, de bien considérer la disponibilité de données contextuelles actualisées, en particulier celles concernant le milieu forestier. Dans le même ordre d'idées, il nous paraît évident que tout processus visant une meilleure localisation des accidents routiers en général et des CVC en particulier aurait pour conséquence d'améliorer de façon importante l'efficacité de la mise au point d'un modèle prédictif du risque de concentration de CVC.

Cette étude nous a conduits à aborder le phénomène des conflits véhicule/cerf non pas sous le seul angle spatial, mais aussi dans une optique double et complémentaire dans laquelle étaient également pris en compte les critères temporels. Ainsi, nous avons mis en évidence la grande variabilité temporelle du risque, variabilité annuelle, saisonnière et horaire. Si cette prise en compte des facteurs spatiotemporels avait déjà été le fait de précédentes études, l'intérêt de notre travail a été de documenter ces facteurs à l'échelle du territoire montérégien et de les avoir transcrits dans des formes aisément accessibles et reproductibles.

TABLE DES MATIÈRES

1. CONTEXTE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE 15

1.1 Contexte général 15
1.2 Les objectifs 15
1.3 Les partenaires du projet 16

2. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE 17

2.1 Le risque de conflits véhicule/cerf (CVC) 17
2.1.1 Le cerf de Virginie en Montérégie 17
2.1.2 Les facteurs d'aléa 22
2.1.3 Les facteurs de vulnérabilité 23
2.1.4 Facteurs non étudiés 24

2.2 Méthode d'analyse 24

3. SITUATION RÉGIONALE 27

3.1 Les conflits véhicule/cerf 27
3.1.1 Description de la donnée 27

3.2 Les accidents véhicule/cerf dans une approche spatiale 29
3.2.1 La région dans un contexte provincial 29
3.2.2 Prévalence dans les directions territoriales 30
3.2.3 Prévalence dans les MRC 33
3.2.4 Prévalence dans les municipalités 37
3.2.5 Niveau des routes du réseau supérieur 37
3.2.6 Répartition des CVC selon le milieu paysager dominant 37

3.3 Les conflits véhicule/cerf dans une approche temporelle 43
3.3.1 Relation saisons – période du jour 43
3.3.2 Relation entre le patron saisonnier et le milieu paysager dominant 47
3.3.3 Relation entre les CVC hivernaux et les aires de confinement 48

4. DÉTERMINATION DES SITES ACCIDENTOGÈNES 51

4.1 Les sites accidentogènes 51
4.1.1 Choix des critères de détermination des sites accidentogènes 51

4.2 Utilisation de la technique de l'échelle mobile 52
4.3 Localisation des sites accidentogènes 53
4.3.1 Le nombre-seuil retenu 53
4.3.2 Les sites accidentogènes retenus 54

4.4 Détermination d'un groupe témoin de sites non accidentogènes 57

5. ANALYSE MULTISCALAIRE DES FACTEURS DE RISQUE DE CVC 59

5.1 Échelle macroscopique 59
5.1.1 Les données existantes 59
5.1.2 L'indice forestier 64

5.2 Échelle intermédiaire 71
5.2.1 Les variables étudiées 71
5.2.2 Interprétation des résultats 76

5.3 Échelle locale 87
5.3.1 Les variables étudiées 87
5.3.2 Interprétation des résultats 89

5.4 Synthèse de l'analyse multiscalaire du risque de CVC 96

6. APPLICATION D'UN MODÈLE PRÉDICTIF DU RISQUE DE CVC 99

6.1 Description synthétique de la technique de l'arbre de décision 101
6.1.1 Définition 101
6.1.2 Utilisation du logiciel SIPINA pour la génération d'un arbre de décision 102
6.1.3 Lecture d'un arbre de décision 102
6.1.4 Les algorithmes d'apprentissage 104
6.1.5 La fiabilité du modèle 105

6.2. Construction de l'arbre de décision 106
6.2.1 Les données d'apprentissage 106
6.2.2 Intégration des données 107
6.2.3 Détermination de la méthode optimale d'apprentissage 108

6.3 Raffinement spatial du modèle prédictif 116
6.4 Déploiement du modèle prédictif sur le réseau routier de la Montérégie 118
6.3.1 Création d'indices spatiaux 118
6.3.2 Segmentation du réseau routier en unités spatiales d'analyse 119
6.3.3 Résultats 120

6.4 Déploiement du modèle prédictif sur l'Estrie 126
6.4.1 Application du modèle prédictif 126
6.4.2 Comparaison avec la localisation des sites accidentogènes 126

7. DISCUSSION ET PROSPECTIVES 131

7.1 Sur l'intérêt du projet dans un contexte décisionnel 131
7.2 Sur certains aspects de la méthodologie 132

BIBLIOGRAPHIE 135
Annexe 1 Description des sites accidentogènes de la Montérégie 139
Annexe 2 Description des sites témoins de la Montérégie 145
Annexe 3 Graphes de répartition des variables à l'échelle intermédiaire 151
Annexe 4 Graphes de répartition des variables à l'échelle locale 157

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Approche partenariale du projet 16
Figure 2 : L'équation du risque de conflit véhicule/cerf 17
Figure 3 : Occupation du sol et découpage territorial de la Montérégie 19
Figure 4 : Répartition mensuelle des CVC sur le réseau supérieur 22
Figure 5 : Répartition horaire des CVC sur le réseau supérieur 23
Figure 6 : Proportion de CVC par rapport aux accidents toutes catégories 35
Figure 7 : Proportion de CVC par rapport aux accidents toutes catégories 39
Figure 8 : Proportion de CVC par rapport aux accidents toutes catégories sur le réseau supérieur entre 2003 et 2007 40
Figure 9 : Classification du territoire régional selon le milieu paysager dominant 41
Figure 10 : Localisation des concentrations de CVC par échelle mobile 53
Figure 11 : Localisation des sites accidentogènes et des sites témoins 55
Figure 12 : Influence locale du parc national de la Yamaska 63
Figure 13 : La grille du filtre de convolution moyen 5 x 5 65
Figure 14 : Indice forestier (pourcentage de couvert forestier selon un filtre de convolution moyen de 5 x 5 km) 67
Figure 15 : Relation inverse de l'indice forestier avec le DJMA 70
Figure 16 : Zone d'analyse intermédiaire autour d'un site accidentogène 72
Figure 17 : Photo-interprétation de l'occupation du sol 73
Figure 18 : Illustration de la notion de connectivité forestière bilatérale 75
Figure 19 : Graphe de synthèse issu de l'ACM à l'échelle intermédiaire 83
Figure 20 : Graphe de synthèse issu de l'ACM à l'échelle locale 93
Figure 21 : Principe de l'arbre de décision 103
Figure 22 : Interface graphique du logiciel SIPINA 108
Figure 23 : Les différents algorithmes proposés dans SIPINA 109
Figure 24 : Arbre de décision avec la méthode « One-vs-All » 110
Figure 25 : Exemple de segmentation excessive de l'algorithme Assistant 86 111
Figure 26 : Segmentation fondée sur l'indice forestier 113
Figure 27: Segmentation fondée sur le patron forestier 113
Figure 28 : Segmentation fondée sur le coût différentiel 114
Figure 29 : Exemple de segmentation erronée sur le DJMA avec C4.5 114
Figure 30 : Exemple de segmentation erronée sur la connectivité forestière bilatérale avec Assistant 86 115
Figure 31 : Arbre de décision issu des tests algorithmiques 116
Figure 32 : Arbre de décision du modèle prédictif de la présence d'un site accidentogène 117
Figure 33 : Répartition des longueurs des sites accidentogènes 120
Figure 34 : Carte du risque de concentration de CVC en Montérégie 124
Figure 35 : Carte du risque de concentration de CVC en Estrie 129
Figure 36 : Le milieu paysager dominant 153
Figure 37 : L'emprise humaine 153
Figure 38 : Le patron forestier 154
Figure 39 : Connectivité forestière bilatérale 154
Figure 40 : Le DJMA 155
Figure 41 : La limite de vitesse 155
Figure 42 : La classification fonctionnelle 156

Figure 43 : Occupation du sol dans les premiers 100 mètres (gauche et droite)..... 159
Figure 44 : Largeur de l'emprise 160
Figure 45 : Distance latérale de dégagement 160

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau comparatif des directions territoriales 30
Tableau 2 : Comparatif régional des conflits véhicules/cerf tous réseaux confondus entre 1989 et 2007* 31
Tableau 3 : Comparatif des conflits véhicules/cerf par MRC entre 2003 et 2007 33
Tableau 4 : Répartition des CVC selon le milieu paysager dominant 43
Tableau 5 : Tableau croisé de répartition des conflits véhicule/cerf par plage horaire selon les saisons 45
Tableau 6 : Répartition des CVC saisonniers selon le milieu paysager dominant 47
Tableau 7 : Récapitulatif des variables utilisées à l'échelle intermédiaire 75
Tableau 8 : Récapitulatif des variables utilisées à l'échelle locale 88

LISTE DES ACRONYMES

AFM :	Agence forestière de la Montérégie
CVC :	Conflit véhicule/cerf
MRNF :	ministère des Ressources naturelles et de la Faune
MTQ :	ministère des Transports du Québec
DOM :	Direction de l'Ouest-de-la-Montérégie
DEM :	Direction de l'Est-de-la-Montérégie
DE :	Direction de l'Estrie
SAAQ :	Société de l'assurance automobile du Québec

1. CONTEXTE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE

1.1 Contexte général

En tout premier lieu, rappelons qu'une des missions fondamentales de service public du MTQ est d'assurer la mobilité des personnes et des marchandises par des systèmes de transport efficaces et sécuritaires. Dans son acception élargie, cette mission implique de développer des orientations et des politiques en matière de sécurité routière et d'assurer un environnement sécuritaire aux usagers du réseau routier (MTQ et SAAQ, 2001).

Parmi les orientations et les enjeux de la Politique de sécurité en transport 2001-2005 - Volet routier, l'enjeu 23 met l'accent sur les travaux de recherche et développement en les considérant comme un outil essentiel pour améliorer la sécurité routière dans la mesure où ils visent à résoudre des problèmes particuliers, à déterminer quels facteurs causent les accidents et à évaluer l'efficacité des mesures mises en place. À ce titre, le MTQ finance ou est associé à de nombreuses études dans le cadre de ses divers programmes de recherche.

Dans cette lignée, la Direction de l'Ouest-de-la-Montérégie du MTQ a mis en œuvre la présente étude qui vise à améliorer la compréhension du phénomène des conflits routiers avec le cerf de Virginie en dégageant des facteurs spatiotemporels tangibles et mesurables. Cette étude s'inscrit dans la lignée de précédents travaux de recherche (Beaudoin et Roberge, 2006) qui ont abouti à une série de constats sur l'existence de relations spatiotemporelles entre la fréquence et la répartition des conflits véhicule/cerf (CVC) et, notamment, l'occupation du sol, la densité du cheptel, les caractéristiques forestières, la période du jour et de l'année, etc.

1.2 Les objectifs

Objectifs généraux :

1. Diminuer de 20 % sur 5 années le nombre de conflits routiers annuels impliquant le cerf de Virginie sur le réseau supérieur de la Montérégie;
2. Progresser dans la compréhension du phénomène des conflits routiers impliquant le cerf de Virginie;
3. Améliorer le ciblage et la mise en place de mesures de mitigation.

Objectifs spécifiques :

1. Élaborer un système d'information et d'aide à la décision (SIAD) servant de soutien à l'interprétation des facteurs explicatifs relatifs aux CVC;

2. Localiser et caractériser spatialement l'environnement des sites accidentogènes;
3. Dégager des facteurs spatiotemporels explicatifs à différentes échelles d'observation.

1.3 Les partenaires du projet

Une des caractéristiques de la problématique à l'étude réside dans sa dimension transversale. D'une part, la compréhension et l'analyse du phénomène des conflits routiers avec le cerf de Virginie font appel à des champs de compétences multidisciplinaires ainsi qu'à des technologies qui ne se concentrent pas dans une seule organisation. D'autre part, la mise en œuvre des solutions qui pourraient découler de cette étude ne peut s'envisager qu'à travers une approche multipartite à laquelle les intervenants clés concernés par cette problématique prendraient part. Le graphique ci-dessous présente de manière synthétique les principaux intervenants du projet tout en reflétant le caractère partenarial de l'approche préconisée.

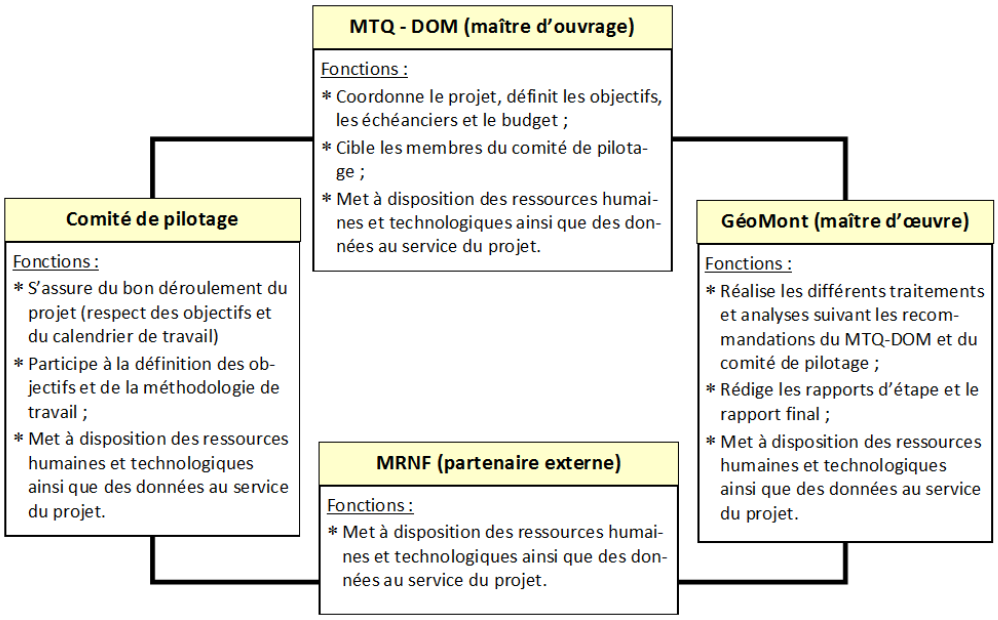


Figure 1 : Approche partenariale du projet

2. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

2.1 Le risque de conflits véhicule/cerf (CVC)

Selon la définition usuelle, le risque est la confrontation d'un ***aléa*** (phénomène d'ordre naturel) et d'une zone géographique où résident des enjeux (humains, économiques, environnementaux), les ***enjeux*** et la ***vulnérabilité*** étant, eux, liés à la présence humaine. Le risque est donc considéré comme **une mesure de la situation dangereuse qui résulte de la confrontation de l'aléa et des enjeux** (Brilhac, 2006). Nous poserons ainsi l'équation du risque de conflit routier avec le cerf de Virginie :

Figure 2 : L'équation du risque de conflit véhicule/cerf

Par *vulnérabilité*, nous entendons ce qui a trait aux enjeux humains et matériels centrés sur le véhicule. La vulnérabilité est, de ce fait, délicate à évaluer, car elle est complexe dans la mesure où elle dépend de plusieurs composantes intrinsèques et environnementales. Parmi les composantes intrinsèques, on retrouve la nature des éléments exposés (ex. : type de véhicule, nombre de passagers, position dans le véhicule, etc.), de leurs résistances (équipements de sécurité intérieurs et extérieurs), et comportements (respect des signalisations et limites de vitesses, aptitudes du conducteur, etc.). Quant aux composantes environnementales de la vulnérabilité, il s'agit d'éléments indépendants du véhicule (volume du trafic, visibilité, heure du jour, conditions météorologiques, etc.).

Par *aléa*, nous entendons ce qui se rapporte aux populations de cerfs de Virginie : localisations et densités, mœurs et déplacements en fonction des saisons et de l'heure. Dans le présent contexte, l'aléa – cerf de Virginie – peut être appréhendé selon le principe d'occurrence spatiale (où?) et temporelle (quand?). Plus spécifiquement, l'aléa peut être apprécié selon une probabilité d'occurrence spatiale et une probabilité d'occurrence temporelle.

2.1.1 Le cerf de Virginie en Montérégie

C'est dans le sud et l'est de la région que se situent les plus vastes superficies forestières qui constituent l'habitat naturel du cerf de Virginie. Pour illustrer notre propos, nous relèverons que c'est dans l'est que trois MRC (Acton, La Haute-Yamaska et Brome-Missisquoi) présentent la plus grande proportion de couvert forestier au regard de la superficie totale. Cependant, l'important déboisement – dont l'essentiel s'est effectué en zone agricole entre 1990 et

2004 a entraîné une perte notable des superficies forestières. Ainsi, dans 12 des 15 MRC de la Montérégie, les superficies boisées ont basculé sous le seuil critique de 30 %. Neuf de ces 12 MRC ont elles-mêmes chuté sous le seuil de 20 % de superficies forestières (Soucy-Gonthier et coll., 2004).

La Montérégie se trouve dans la partie méridionale de l'aire de répartition du cerf de Virginie; selon les statistiques du ministère des Ressources naturelles et de la Faune, sur les quelque 270 000 cerfs de Virginie qui peuplent le Québec (Île d'Anticosti exclue), la Montérégie en abrite près de 28 000. Dans les deux principales subdivisions de chasse de la Montérégie, la densité de population du cerf de Virginie serait de 7,86 cerfs/km^2 (environ 9 412 cerfs) pour la zone 8, contre 12,2 cerfs/km^2 (environ 19 000 cerfs) pour la zone 5 (ministère des Ressources naturelles et de la Faune). Or, toujours selon le MRNF, une population de cerfs de Virginie est excédentaire lorsqu'elle a une densité supérieure à six au kilomètre carré. Il résulte de ces fortes densités une présence accrue des cerfs en territoire agricole ainsi qu'un nombre élevé de CVC (sources : SAAQ et MTQ, 2009). Si 68 % de la superficie des aires de confinement du cerf de Virginie sont situés dans la partie sud et sud-est de la région, la présence d'aires de confinement dans les secteurs de la première couronne montréalaise (bois de Verchères, Brossard, La Prairie, Mont Rigaud) rappelle le caractère omniprésent de l'espèce.

Figure 3 : Occupation du sol et découpage territorial de la Montérégie

Transports Québec

RAPPORT FINAL

Analyse spatiale des conditions environnementales propices aux collisions routières impliquant le cerf de Virginie

Région de la Montérégie

Produit par

GÉOMONT

Janvier 2011
Saint-Hyacinthe

On se trouve donc en Montérégie en présence d'une fragmentation et d'une rétraction de l'habitat naturel du cerf de Virginie. Conjuguée à un maintien de fortes densités pour l'espèce, elle conduit le cerf en surnombre à rechercher des compléments de nourriture sur les surfaces agricoles environnantes. Il paraît important de préciser ici que ce ne serait pas la rareté de la ressource naturelle en milieu forestier, mais la compétition induite par le grand nombre qui déterminerait ce type de comportement. C'est ainsi que, dans la région, on a de plus en plus affaire au **cerf agroforestier**, ou cerf rural, dont les comportements diffèrent sensiblement de ceux des cerfs forestiers : si les pics d'activité demeurent identiques (aube et crépuscule), les cerfs ruraux qui, à l'instar de leurs congénères forestiers, consacrent 95 % de leur temps d'activité à se nourrir (Beier et McCullough, 1990, dans Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2006), intensifient leur usage des ressources agricoles.

Ils parcourent des distances moindres, mais se déplacent plus fréquemment et à des vitesses plus élevées, passant la journée sous le couvert forestier et se déplaçant la nuit vers les champs cultivés (Montgomery, Nixon et coll., *ibidem*). Le domaine de déplacement du cerf rural passe de 95 hectares avant la récolte à 135 hectares après celle-ci, car il doit rechercher d'autres sources de nourriture (Vercantoren et Hygnstrom, 1994). Ainsi, on retrouve de plus en plus fréquemment le cerf dans des espaces où l'emprise humaine est forte, dans les vergers, les exploitations agricoles et même en lisière de milieux urbains où il ne dédaignera pas brouter une haie de cèdres.

Leur présence accrue en dehors du couvert, expose les cerfs de Virginie à des risques auxquels ils sont particulièrement vulnérables. En effet, comparativement à d'autres cervidés, comme le cerf hémione ou cerf à queue noire, ils détectent le danger à une distance plus réduite et montrent des difficultés à en localiser la source dans un paysage de champs ouverts (Lesage et coll., 2000, *ibidem*). On comprendra d'ailleurs que dans le contexte de notre étude, c'est le cerf **en mouvement** qui s'inscrit dans la problématique des conflits avec les véhicules.

Il s'agit donc de mouvements quotidiens, dont nous avons vu plus haut qu'ils obéissent à la recherche de nourriture, et de mouvements saisonniers qui caractérisent l'ensemble de l'espèce :

- Au printemps, avec la dispersion des jeunes nés l'année précédente en quête d'un nouveau territoire;
- À l'automne, avec la période de reproduction ;
- Au début de l'hiver avec les déplacements parfois très longs (jusqu'à 20 kilomètres) vers les ravages, souvent les mêmes que les années précédentes, où les cerfs trouvent abri et nourriture.

La durée relative d'activité des deux sexes atteint un maximum au printemps et à l'automne, puis des minima en janvier et février, de même qu'en juin et juillet (Beier et McCullough, 1990, *ibidem*). Pendant les périodes d'activité intense, le cerf peut être amené à sortir d'un espace vital moyen estimé à 260 hectares et, de ce fait, à devoir traverser des espaces réservés à la circulation automobile. Il n'est pas superflu de rappeler à ce moment de notre propos qu'un cerf de Virginie apeuré peut atteindre une vitesse de 65 km/h et effectuer des bonds de près de 10 mètres, ce qui en fait un intrus-projectile potentiellement dangereux.

Avec la raréfaction des continuums forestiers et l'extension de l'emprise humaine sur le territoire (croissance de la population et augmentation des flux de circulation qui en découlent), on voit s'accroître, pour le cerf de Virginie, la probabilité d'une confrontation dramatique et, la plupart du temps, létale avec un véhicule.

2.1.2 Les facteurs d'aléa

Les différents auteurs de travaux sur les CVC s'accordent sur leur relation étroite avec la croissance continue de l'occupation humaine sur le territoire et la fragmentation des habitats fauniques qui en découle (De Bellefeuille et Poulin, 2004; Dussault, Poulin, Courtois et Ouellet, 2004; Meyer, 2006). De même, parmi les facteurs explicatifs des CVC, certains font consensus : c'est le cas de la densité de population de cervidés (De Bellefeuille et Poulin, 2004; Dussault et coll. 2005; Myers et coll. 2008) qui varie selon un patron saisonnier (figure 4). Le patron journalier (pénombre de l'aube et du crépuscule, période nocturne) joue également un rôle déterminant dans l'occurrence des CVC (figure 5) en raison de l'effet combiné du taux d'activité du cerf de Virginie et de la visibilité réduite pour les automobilistes (Dussault et coll. 2005).

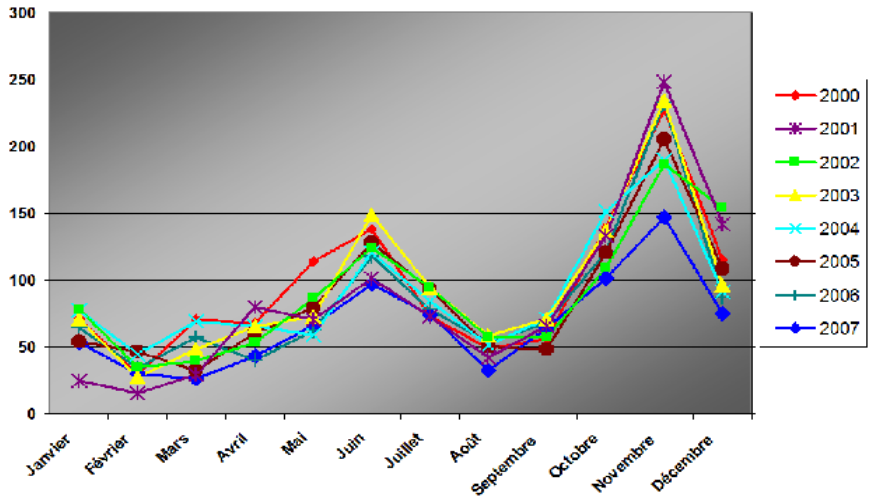


Figure 4 : Répartition mensuelle des CVC sur le réseau supérieur de la Montérégie entre 2000 et 2007 (source : MTQ, 2008)

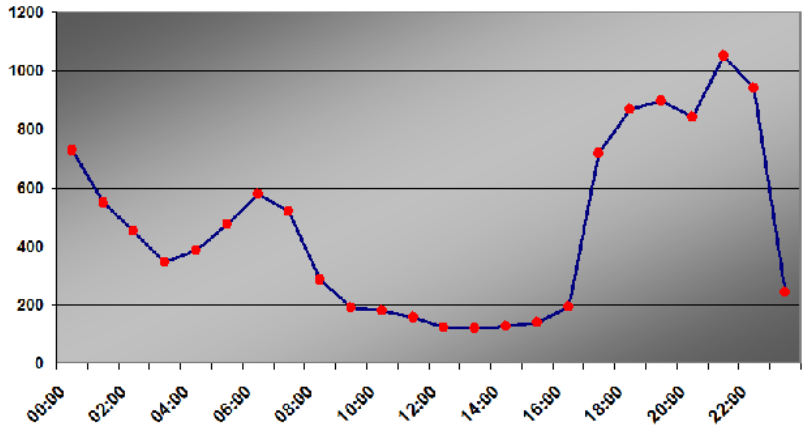


Figure 5 : Répartition horaire des CVC sur le réseau supérieur de la Montérégie, de 1997 à 2007 (source : MTQ, 2008)

La littérature propose par ailleurs une série de facteurs dérivés du type d'occupation du sol (situation et importance des zones d'activités humaines, situation et composition du couvert végétal, des productions agricoles, présence de cours d'eau ou de plans d'eau, présence de mares salines, etc.).

2.1.3 Les facteurs de vulnérabilité

L'évaluation des créneaux horaires pendant lesquels le risque de survenue d'un accident est aggravé est, par nature, étroitement dépendante de la saison. En effet, les pics d'activité du cerf de Virginie se situent, comme nous l'avons noté précédemment, à l'aube et au crépuscule, au printemps et à l'automne. Or, selon la saison, ces intermèdes caractérisés par une faible luminosité, et donc une visibilité insuffisante, ne se déroulent pas dans le même créneau horaire.

Selon le milieu concerné et, bien sûr, la saison, les flux de circulation peuvent être plus importants dans ces plages horaires parce qu'ils correspondent aux heures de pointe des migrations pendulaires (domicile-travail, travail-domicile). On assiste dès lors à une superposition ou, plutôt, un empilement des facteurs de risque de conflit.

Ces facteurs sont eux-mêmes aggravés par la vitesse du véhicule au moment de la confrontation. Dans le cas des accidents véhicule/cerf, comme la vitesse des véhicules au moment de l'impact ne peut généralement être établie que sur la foi du témoignage du conducteur (le tiers impliqué n'étant pas en mesure de donner sa version des faits), nous ne retiendrons que les vitesses maximales autorisées sur les tronçons de route concernés.

Elles sont indicatives de la distance moyenne parcourue à compter de l'instant où le conducteur a aperçu le cerf. Sur la base de l'équation : distance totale = distance de réaction (DR) + distance de freinage (DF) avec des facteurs de pondération éventuels, comme l'état de la chaussée lors des intempéries.

Or, le temps de réaction du conducteur est lui-même étroitement dépendant de ce que nous appellerons la ***lisibilité*** de l'environnement immédiat du véhicule. Il est évident

qu'à heure et saison équivalentes, cette lisibilité sera bien plus importante en rase campagne que pour la traversée d'un secteur boisé. Dans ce type d'environnement, la distance de la route au boisé constitue en elle-même un paramètre à prendre en compte dans l'évaluation des risques de CVC.

2.1.4 Facteurs non étudiés

Nous avons écarté certains facteurs, non pas parce qu'à un degré ou un autre, pris séparément ou ensemble, ils n'interviennent pas dans le risque d'accident, mais parce que leur prise en compte dans l'étude des CVC ne nous semble pas réalisable. D'abord, parce qu'un émiettement des facteurs de risque serait préjudiciable à la compréhension globale du phénomène. Ensuite, parce que la trop grande variabilité de ces composantes les rend difficilement modélisables, d'autant plus qu'on ne dispose pas, à ce jour, de données fiables sur ces sujets. Parmi les principaux facteurs non étudiés, nous citons les composantes suivantes dans une liste non exhaustive :

a) Celles qui se rapportent au véhicule (marque, type, âge, mode de traction, nombre de roues motrices, équipements de sécurité active et passive);

b) Celles qui se rapportent aux occupants du véhicule (âge, état de santé ou de vigilance du conducteur, ancienneté du permis de conduire, comportements [respect des signalisations et des limites de vitesse], nombre et place des passagers au moment du conflit);

c) Celles qui se rapportent à la météorologie (pluie, brouillard, verglas, poudrerie, etc.);

d) Celles qui se rapportent à une information trop focalisée (ex. : mares salines, pistes de cerfs, zones de nourrissage, etc.).

En d'autres termes, le phénomène étudié étant par nature aléatoire, un des postulats de départ sera de considérer que tous les conflits routiers ne peuvent être totalement expliqués (donc prévisibles) par un modèle déterministe. Il serait en effet présomptueux d'avancer qu'en utilisant, pour chaque portion du réseau routier, une grille de facteurs explicatifs dans laquelle on sous-estimerait la part inhérente du hasard, on puisse faire de l'accidentologie spécifique que représentent les CVC, une science exacte.

2.2 Méthode d'analyse

Pour mener notre étude, nous aurons recours à une démarche méthodologique ***inductive*** qui nous permettra, à partir de l'observation des accidents véhicule/cerf, de construire un modèle théorique, en procédant par inférence et par analogie, c'est-à-dire, par comparaison et par extension aux phénomènes semblables à celui étudié, de passer « de l'observation à la loi » (J. S. Mill), des faits à la règle (dans Mathieu Guidère, les *méthodes d'analyse*, 2004).

À partir de la base de données à référence spatiale sur les CVC, notre objectif sera de comprendre pourquoi certains endroits du territoire de la Montérégie présentent une **concentration anormalement élevée de CVC qui en fait des sites accidentogènes**. Nous aurons alors à établir pour ces sites des facteurs explicatifs de risque discriminants (facteurs d'aléa liés aux cerfs de Virginie et facteurs de vulnérabilité liés aux véhicules).

Notre hypothèse *a posteriori* pour tenter de comprendre (une fois prise en compte la part du hasard) cette concentration de CVC sur les sites recensés est qu'il existe des conditions « environnementales » propices. Nous entendons par là le type d'occupation du sol, la distance route-boisé, la saison et l'heure, etc., qui favorisent la survenue des CVC.

Notre étude s'appuiera sur une somme de données spatiales, temporelles et statistiques concernant le réseau routier et l'occupation du sol en Montérégie comme sur l'abondante littérature qui traite du cerf dans son biome en général et dans l'espace montérégien en particulier.

Après la mise en relation des différentes données, nous procéderons à des tests de validation en appliquant les facteurs explicatifs de risque de CVC à un groupe témoin de sites non accidentogènes. Ces sites témoins ont été choisis de manière aléatoire. Pour être admissibles, la condition est qu'ils n'entrent pas dans la définition du site accidentogène énoncée plus haut et que nous développerons plus loin. Les résultats de ces tests de validation nous amèneront dès lors à confirmer (ou à infirmer) nos hypothèses et, dans le premier cas, à construire un modèle « prédictif » des niveaux de risque de CVC.

Nous considérons d'emblée que cette approche nécessite de combiner plusieurs niveaux d'analyse à travers différentes mesures du temps (année, jour, heure) et de l'espace (macroscopique, intermédiaire et locale). Cette **démarche multiscalaire**, fondée sur le principe d'emboîtement d'échelles s'applique aux facteurs explicatifs des CVC qui s'observent et s'analysent à différentes échelles.

Comme nous l'avons vu précédemment, la Montérégie est une région particulièrement affectée par les CVC parce qu'elle se situe à l'intérieur de l'aire de répartition du cerf de Virginie, en plus d'être le cadre d'une emprise humaine importante. À l'échelle régionale, nous observons des variations dans la distribution des CVC. Ces variations sont corrélées de manière évidente à la présence de zones forestières et agroforestières situées au sud/sud-est par contraste avec les zones de forte densité urbaine de la première couronne montréalaise. De même, selon que l'on étudie la problématique à l'échelle des années, des mois de l'année ou des heures du jour, les facteurs mis en évidence diffèrent, mais ne sont pas moins complémentaires dans la compréhension globale du phénomène.

En ce sens, notre objectif est de choisir des unités spatiales et temporelles qui soient adaptées à l'analyse de la problématique, tout en considérant que ce qui s'y passe peut dépendre de ce qui se déroule à l'extérieur, à une échelle (spatiale ou temporelle) plus globale.

3. SITUATION RÉGIONALE

3.1 Les conflits véhicule/cerf

3.1.1 Description de la donnée

Les données de localisation des conflits véhicule/cerf (CVC) constituent, bien entendu, un élément indispensable dans le contexte de l'étude en cours. C'est pourquoi il est nécessaire de revenir sur la manière dont cette source d'information est produite afin de pouvoir l'utiliser de façon pertinente.

En Montérégie, cette localisation géographique est réalisée par les directions territoriales (DT) régionales du MTQ sur la base des banques de données provenant de la SAAQ (rapports d'accidents produits par les différents services de police œuvrant en région). Cependant, l'exactitude des données recueillies dans les rapports d'accident semble variable et, dans l'ensemble, les renseignements sur **l'espèce impliquée et sur la localisation de l'accident** sont parfois négligés (Ménard et Bédard, 2009).

Pour réaliser notre étude, nous utilisons une couche d'information des CVC compilés par le MTQ pour l'ensemble de la Montérégie (DEM et DOM) sur une période de 11 ans (1997 à 2007 inclusivement). Les 11 649 CVC positionnés sous forme de points sont accompagnés de plusieurs attributs descriptifs, dont les principaux sont :

- RTSS : numéro de route, tronçon, section et chaînage
- Date de l'accident : jour, mois, année
- Heure de l'accident

3.1.1.1 Sur l'espèce impliquée

Nous savons qu'en raison de la faible représentation de l'orignal en Montérégie (Lamontagne et Lefort, 2004), la grande majorité des accidents impliquant la grande faune sont effectivement en lien avec le cerf de Virginie. Nous avons par ailleurs connaissance que dans des cas isolés, des conflits impliquant des animaux de petite taille (chiens, coyotes) peuvent être rapportés. Dans le même ordre d'idées, Poulin (2001) estime que de 1996 à 2000, 92 % des 3 615 accidents occasionnés par la grande faune sur le réseau routier supérieur de la région Chaudière-Appalaches (région comportant des similitudes bioclimatiques avec la Montérégie) impliquaient effectivement le cerf de Virginie.

Nous avons par ailleurs profité de l'existence d'un projet de géolocalisation du ramassage de carcasses de cerfs de Virginie par GPS, compilé depuis le printemps 2006 sur le territoire du centre de services de Napierville (DOM), pour les comparer avec les chiffres de CVC. Il en ressort que pour l'année 2007, 83 carcasses de cerfs ont été ramassées, alors que dans le même temps, 87 CVC avaient été compilés. Ainsi, on peut en déduire que près de 95 % des accidents ayant fait l'objet d'un rapport de police impliquaient bien un cerf de Virginie, ce qui vient confirmer les chiffres avancés précédemment.

Dans ces conditions, nous pouvons considérer que la marge d'erreur inhérente à l'espèce impliquée n'influence pas de manière importante les analyses et les conclusions qui pourraient être tirées de cette source d'information. *A contrario*, cela pourrait expliquer la position géographique pour le moins surprenante de certains CVC

situés, par exemple, en plein milieu du centre-ville d'une agglomération, et vraisemblablement reliés à un conflit véhicule/chien.

3.1.1.2 Sur la localisation des accidents

Comme énoncé précédemment, la localisation des CVC provient à l'origine d'éléments d'information contenus dans les rapports de police compilés par la SAAQ. Plus cette information est exacte et détaillée, plus la localisation des CVC réalisée par le MTQ a des chances d'être précise. Or, il existe manifestement une grande hétérogénéité dans l'établissement des localisations effectuées lors de la rédaction des rapports de police, de sorte qu'un nombre non négligeable de CVC est mal positionné par rapport au lieu réel de l'accident.

Ce problème de précision a pour origines principales les facteurs suivants :

- Localisation approximative des CVC dans le rapport de police par référence à un point de repère géographique (ex. : à proximité de l'échangeur, non loin de l'intersection, à la sortie du village, etc.);
- Interprétation de l'information issue du rapport de police soumise à la subjectivité de la personne responsable de la géolocalisation des CVC pour le MTQ;
- Imprécision dans la localisation automatique des CVC (géocodage à la borne postale la plus proche);
- Situation géographique (absence de point de repère observable), heure (pénombre) ou conditions météorologiques (neige abondante) particulières ayant empêché le policier d'établir un repérage précis;
- Absence ou non-utilisation de l'équipement de repérage (GPS);
- Collisions non rapportées (c'est-à-dire des collisions pour lesquelles il n'y a pas eu production de rapports).

Parmi les problèmes énoncés plus haut, Roberge (2006) a observé une tendance à la localisation des CVC aux intersections. Pour étayer cette hypothèse, nous avons analysé la proportion de CVC localisés aux intersections (X) et aux jonctions (⊥) de routes du réseau supérieur. Il en ressort que sur les 11 649 CVC compilés entre 1997 et 2007, 698 sont situés dans un rayon de 5 mètres autour des intersections et jonctions, ce qui représente 6 % du total des CVC. Or, la portion du réseau concernée (52 kilomètres) ne représente que 1,25 % du réseau supérieur total (4 153 kilomètres). Considérant *a priori* qu'il n'y a pas d'éléments tangibles qui puissent faire de ces portions de route des lieux propices aux CVC, leur surreprésentation à ces endroits semble confirmer le constat de Roberge.

Nous remarquons en outre que cette tendance est plus marquée si l'on prend en compte les CVC survenus entre 1997 et 1999 (277 CVC sur 3 364, soit 8,2 %) en les comparant aux données de la période 2004 à 2007 (179 CVC sur 3 917, soit 4,6 %). Cela viendrait confirmer le fait que le protocole de localisation des CVC s'est peu à peu affiné à partir des années 2000 grâce, en particulier, à l'arrivée des GPS embarqués et au développement du partenariat dans ce domaine entre le MTQ et les services de police.

Nous avons par ailleurs comparé le positionnement GPS des sites de ramassage de carcasses de cerfs de Virginie sur le territoire du centre de services de Napierville avec la localisation des CVC correspondant au même secteur à la même période. Considérant que le positionnement des carcasses s'appuie sur un relevé GPS, notre hypothèse est qu'il est plus précis que celui des CVC. Nous avons relevé que pour l'année 2007, sur 83 carcasses de cerfs compilées, 67 ont été effectivement retrouvées. Nous avons calculé la moyenne, la médiane et l'écart-type de la distance entre chacune des 67 carcasses et le CVC le plus proche.

Il en ressort que la distance moyenne est de 809 mètres avec un minimum de 28 mètres et un maximum de 5 kilomètres. La médiane (qui permet de donner une assurance de la validité de la moyenne, quand ces deux paramètres ont des valeurs semblables) est à 464 mètres et l'écart-type (qui informe sur la dispersion des observations), de 1 073 mètres. Dans la mesure où nous n'avons aucune certitude sur le fait que la carcasse soit reliée au conflit le plus proche, nous considérons comme judicieux de retirer les valeurs extrêmes afin d'obtenir une lecture plus fiable de la situation. En ne retenant pas les 5 valeurs minimales et maximales, **la distance moyenne passe à 589 mètres et l'écart-type à 480 mètres**.

Bien que nous ne puissions pas tirer de conclusions définitives sur la base des données d'une seule année de ramassage, ces constatations tendent à démontrer que dans la localisation des CVC, il existe une erreur induite non négligeable. Erreur difficile à quantifier, mais qui peut vraisemblablement aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres. En conclusion, nous devons d'emblée faire preuve d'une certaine circonspection dans la manipulation de ces données.

3.2 Les accidents véhicule/cerf dans une approche spatiale

3.2.1 La région dans un contexte provincial

La Montérégie possède à la fois le plus long réseau routier supérieur du Québec (4 032 kilomètres) et, hormis les régions de Montréal et Laval, la plus forte densité de routes (MTQ, 2008). Avec 1 428 475 habitants, elle est également la région la plus peuplée après Montréal (Institut de la statistique du Québec, 2009). Une densité de 126 hab. la place au 3e rang de la province dans ce domaine. Elle occupe le 5e rang (sur 17) sur le plan de la croissance démographique 1991-2007. Les perspectives concernant cet indicateur sont, pour la décennie 2011-2021, supérieures à celles de la province. (Source : *ibidem*)

La Montérégie occupe également le premier rang pour les mises en chantier résidentielles (sources : Société canadienne d'hypothèques et de logement et Desjardins, 2008). L'utilisation d'un véhicule étant à la fois le vecteur et la résultante de l'occupation humaine et de son emprise sur le territoire, nous sommes conduits à penser que l'expansion soutenue de l'emprise humaine associée au mitage des milieux naturels accroît forcément le risque de confrontation avec le cerf de Virginie.

Les zones boisées constituent l'habitat de prédilection du cerf de Virginie. Or, la Montérégie se situe en tête de liste pour le recul des superficies forestières. Environnement Canada (2007) estime à 32 000 hectares (-10 %) les pertes des forêts pour la Montérégie, entre 1993 et 2001, et à 19 000 hectares les superficies acquises à

la vocation anthropique. On pourrait dès lors penser que la diminution et la fragmentation des espaces forestiers auraient entraîné une réduction sensible du nombre de cerfs et de leur densité dans cette région. Nous avons vu plus haut qu'il n'en était rien.

La Montérégie a enregistré 11 649 CVC entre 1997 et 2007, respectivement 4 130 dans la DOM et 7 519 dans la DEM. Cela place la région parmi le groupe de tête en matière de conflits routiers avec le cerf de Virginie (tableau 1). Depuis 1989, la Montérégie fait en effet partie des trois régions les plus touchées en nombre absolu de CVC (source : SAAQ, 2008). Pour la même période, la région se situe dans le groupe le plus touché en proportion de la longueur du réseau routier et de sa superficie.

Par ailleurs, les compilations statistiques réalisées par la SAAQ nous montrent qu'en dépit d'un léger fléchissement en 2007, la tendance générale n'est pas à la diminution, tant en Montérégie qu'à l'échelle provinciale. À preuve, les chiffres de 2008 pour la DOM (source : SAAQ, 2009 et MTQ, 2009) montrent une recrudescence des CVC, tous réseaux routiers confondus, par rapport à 2007 (2005 : 437 CVC; 2006 : 466 CVC; 2007 : 397 CVC; 2008 : 498 CVC).

Si l'on considère la **part des CVC dans les accidents toutes catégories** survenus sur le réseau routier supérieur, la Montérégie passe au 6e rang sur 17. Cela peut s'expliquer par la situation géographique de la Montérégie, qui inclut la portion sud de la couronne urbaine du grand Montréal. Cette zone très urbanisée possédant un réseau routier dense concentre un grand volume de trafic routier et autoroutier et constitue un secteur *a priori* peu propice à la présence de cervidés. Dès lors, on comprend bien que le grand nombre d'accidents de la circulation propre à cette zone fasse baisser en proportion le ratio des CVC.

3.2.2 Prévalence dans les directions territoriales

On constate par ailleurs que la DEM est globalement plus touchée que la DOM par la problématique des CVC en nombre absolu (3 863 CVC contre 2 233 pour la DOM entre 2002 et 2007), mais aussi en pourcentage des CVC par rapport au nombre total d'accidents toutes catégories (9,88 % en moyenne pour la DEM contre 6,47 % pour la DOM durant la même période).

Année	Accidents toutes catégories			CVC			Proportion des CVC en %		
	DOM	DEM	Total	DOM	DEM	Total	DOM	DEM	Total
2002	5 521	6 189	11 710	384	686	1 070	6,96	11,08	9,14
2003	5 838	6 187	12 025	426	693	1 119	7,30	11,20	9,31
2004	5 956	6 887	12 843	360	709	1 069	6,04	10,29	8,32
2005	5 735	6 906	12 641	377	643	1 020	6,57	9,31	8,07
2006	5 634	6 439	12 073	370	643	1 013	6,57	9,99	8,39
2007	5 803	6 473	12 276	316	489	805	5,45	7,55	6,56
Total	**34 487**	**39 081**	**73 568**	**2 233**	**3 863**	**6 096**	**6,48**	**9,91**	**8,30**

Tableau 1 : Tableau comparatif des directions territoriales concernant les CVC de 2002 à 2007

Tableau 2 : Comparatif régional des conflits véhicules/cerf tous réseaux confondus entre 1989 et 2007*

RÉGIONS	Longueur RS km	Longueur RR km	Superficie en km²	Moyenne annuelle 1990-2007 des accidents tous réseaux confondus	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	M1	M2	M3	M4	M5
Abitibi-Témiscamingue	2 284	18 799	64 823	4 691	82	100	65	86	77	86	115	107	85	111	92	114	99	124	130	152	125	144	135	106,8	4,7	5,7	7,2	2.3
Bas-Saint-Laurent	2 241	16 485	28 510	6 190	83	74	46	72	59	123	106	143	153	176	122	155	167	172	158	218	236	246	238	144,6	6,5	8,8	14,4	2.4
Capitale-Nationale	1 752	10 524	20 976	20 587	74	69	82	82	99	104	108	131	128	190	168	190	197	198	251	290	328	450	428	187,7	10,7	17,8	40,7	0.9
Centre-du-Québec	1 605	7 842	7 262	6 987	**245**	**275**	**366**	**377**	**448**	**559**	**618**	**779**	**785**	871	**893**	**928**	800	877	854	838	865	968	**906**	**697,5**	**43,5**	**88,9**	**115,5**	**10.3**
Chaudière-Appalaches	2 892	16 315	16 145	10 710	200	223	269	310	327	417	525	657	765	**901**	884	925	**839**	**944**	**948**	**1 029**	**1 008**	**1 132**	893	694,5	24,0	42,6	54,7	**6,7**
Côte-Nord	2 119	7 096	384 691	3 375	26	33	20	23	31	33	27	28	33	31	22	25	22	33	29	27	39	48	40	30,0	1,4	4,2	5,6	0,9
Estrie	2 075	12 237	10 512	9 055	**271**	**298**	**391**	**456**	**567**	**617**	**834**	**976**	**1 201**	**997**	**1 037**	**966**	**896**	**1 018**	**1 043**	**1 165**	**1 030**	**1 090**	**1 099**	**839,6**	**40,5**	**68,6**	**89,8**	**9,6**
Gaspésie–Iles-de-la-Madeleine	1 477	13 009	79 238	2 571	53	41	30	35	48	50	57	66	74	79	88	99	126	121	138	134	163	231	196	96,3	6,5	7,4	15,1	3,8
Lanaudière	1 339	10 030	13 512	-	97	131	134	110	138	137	167	213	213	235	217	225	208	215	252	255	276	293	285	200,1	14,9	19,9	28,4	-
Laurentides	1 980	16 023	22 522	-	189	238	265	239	258	333	420	454	441	519	585	594	530	591	595	688	709	693	588	469,9	23,7	29,3	36,7	-
Laval	254	635	267	14 886	8	6	6	4	14	7	6	10	9	10	11	7	16	13	8	18	22	19	25	11,5	4,5	18,2	39,4	0,1
Mauricie	1 250	12 509	39 926	8 292	58	45	59	47	89	77	81	105	91	119	127	107	133	133	142	154	172	180	219	112,5	9,0	9,0	17,5	1,4
Montérégie	4 032	15 453	11 851	32 299	**651**	**813**	**942**	**952**	**1 053**	**1 146**	**1 365**	**1 591**	**1 693**	**1 651**	**1 462**	**1 494**	**1 216**	**1 316**	**1 386**	**1 340**	**1 288**	**1 347**	**1 093**	**1 252,6**	**31,1**	**81,1**	**70,7**	4,0
Montréal	494	532	625	46 894	13	17	12	12	17	22	15	20	22	21	20	23	12	25	19	17	27	22	20	18,7	3,8	35,2	37,6	0,0
Nord-du-Québec	1 245	6 539	861 722	422	15	12	9	10	15	19	16	3	11	13	14	21	18	24	33	38	49	44	58	22,2	1,8	3,4	8,9	5,4
Outaouais	1 547	15 152	34 117	9 749	176	200	234	259	228	316	393	323	389	511	443	464	485	553	610	648	659	628	539	424,1	27,4	28,0	35,6	4,5
Saguenay–Lac-Saint-Jean	1 556	15 151	106 559	10 078	41	52	55	56	53	81	59	90	85	89	71	81	77	85	99	85	58	98	115	75,3	4,8	5,0	5,0	0,8

**** Les chiffres présentés dans ce tableau incluent les collisions avec les autres animaux de la grande faune, en particulier l'orignal et l'ours noir.***

M1 = moyenne des 19 années (source de données pour les accidents tous réseaux confondus : SAAQ, 2008).
M2 = moyenne des 19 années/longueur du réseau supérieur RS x 100 (source de données pour la longueur du réseau supérieur : MTQ, 2008).
M3 = (moyenne des 19 années/longueur du réseau routier régional RR excluant les zones urbaines) x 1 000 (source de données pour la longueur du réseau routier régional : Statistique Canada 2008; pour les limites de zones urbaines : MRNF, 2008).
M4 = (moyenne des 19 années/superficie régionale) x 1 000 (source de données pour les superficies régionales : MRNF, 2008)
M5 = Proportion des conflits avec les cervidés par rapport à l'ensemble des accidents routiers tous réseaux confondus (basée sur la moyenne des années 1990 à 2007) (source de données pour les accidents : SAAQ, 2008).

Région la plus touchée

Seconde région la plus touchée

Troisième région la plus touchée

3.2.3 Prévalence dans les MRC

Sur les 15 MRC (y compris Longueuil, ville-MRC) de la Montérégie, on distingue aisément (figure 6) deux groupes si on considère la part des CVC en pourcentage du nombre d'accidents toutes catégories. Un premier groupe de 10 MRC affichent un pourcentage inférieur à la moyenne montérégienne, qui s'établit à 10,4 %. Un deuxième groupe de 5 MRC situées dans la zone sud/sud-est, qui affichent pour leur part un pourcentage très nettement supérieur à la moyenne montérégienne (de 15,23 % pour les Jardins-de-Napierville à 23,68 % pour Brome-Missisquoi). Il est intéressant de noter que les cinq MRC les plus touchées sont aussi les MRC les plus boisées de la région (source : GéoMont, 2005).

	Accidents 2003-2007 sur le réseau supérieur de la Montérégie			**Moyenne annuelle 2003-2007 sur le réseau supérieur de la Montérégie**		
MRC-DOM	Accidents toutes catégories	**CVC**	**CVC** (%)	Accidents toutes catégories	**CVC**	**CVC** (%)
Beauharnois-Salaberry	2 975	126	4,24	495,8	21,0	4,24
Le Haut-Richelieu	6 066	357	5,89	1 011,0	59,5	5,89
Le Haut-Saint-Laurent	1 808	331	18,31	301,3	55,2	18,31
Les Jardins-de-Napierville	2 462	375	15,23	410,3	62,5	15,23
Rouville	3 558	347	9,75	593,0	57,8	9,75
Roussillon	8 482	226	2,66	1 413,7	37,7	2,66
Vaudreuil-Soulanges	9 136	471	5,16	1 522,7	78,5	5,16
Total	34 487	2 233	8,75	821,1	53,2	8,75
MRC-DEM						
Acton	1 857	427	22,99	309,5	71,2	22,99
Brome-Missisquoi	4 400	1 042	23,68	733,3	173,7	23,68
La Haute-Yamaska	4 946	978	19,77	824,3	163,0	19,77
La Vallée-du-Richelieu	6 770	257	3,80	1 128,3	42,8	3,80
Lajemmerais	3 114	263	8,45	519,0	43,8	8,45
Le Bas-Richelieu	2 921	248	8,49	486,8	41,3	8,49
Les Maskoutains	6 523	453	6,94	1 087,2	75,5	6,94
Longueuil	8 550	195	2,28	1 425,0	32,5	2,28
Total	39 081	3 863	12,05	814,2	80,5	12,05
MONTÉRÉGIE	**73 568**	**6 096**	**10,4**	**817,7**	**66,8**	**10,4**

Tableau 3 : Comparatif des conflits véhicules/cerf par MRC entre 2003 et 2007

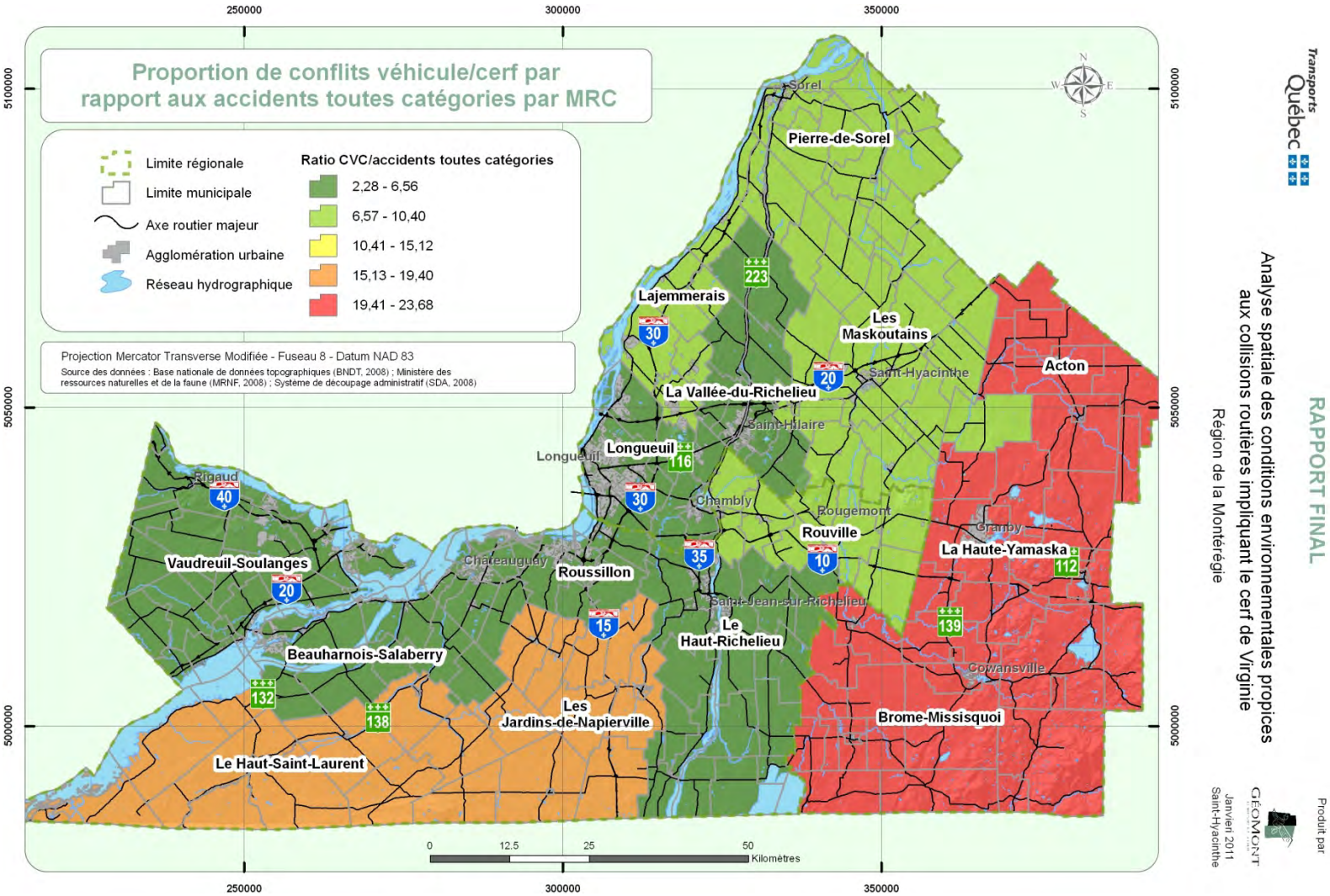


Figure 6 : Proportion de CVC par rapport aux accidents toutes catégories sur le réseau supérieur entre 2003 et 2007 pour les MRC de la Montérégie

3.2.4 Prévalence dans les municipalités

En prenant en compte la moyenne municipale du ratio CVC/accidents toutes catégories (14 %), nous avons également distingué deux groupes de municipalités, l'un affichant un ratio au-dessous de la moyenne et l'autre, au-dessus. Comme on pouvait s'y attendre, la plupart des municipalités situées dans les cinq MRC mentionnées plus haut appartiennent au groupe dont le ratio est supérieur. On peut aussi noter que les municipalités de la première couronne de Montréal appartiennent au groupe dont le ratio est inférieur. Cependant, on voit apparaître dans la catégorie des municipalités dont le ratio est supérieur des municipalités situées en dehors de la zone sud/sud-est, ce qui illustre l'absence de caractère dichotomique de cette problématique (figure 7).

3.2.5 Niveau des routes du réseau supérieur

En appliquant le même protocole au réseau routier, c'est-à-dire en retenant une moyenne générale de 18,5 % de CVC par rapport au total des accidents toutes catégories confondues, on note également et sans ambiguïté que les routes traversant le sud/sud-est de la Montérégie appartiennent au groupe dont le ratio est supérieur. Si l'on peut rappeler, comme nous le remarquions plus haut, que cette partie de la Montérégie abrite la plus forte proportion de boisés, il est évident par contre que dans la plupart des cas, une route traverse généralement des milieux différents. On comprend bien, dès lors, que des routes qui n'apparaissent pas ici dans la catégorie supérieure puissent quand même compter des tronçons plus propices aux CVC et réciproquement (figure 8).

3.2.6 Répartition des CVC selon le milieu paysager dominant

Nous avons souligné précédemment que le domaine vital du cerf de Virginie se situe principalement dans les milieux forestier et agroforestier. Dès lors, il nous a paru intéressant de montrer la répartition de ces deux milieux et, par extension, des autres milieux dans l'ensemble montérégien et de quantifier la proportion de CVC rapportée à ces milieux. À partir d'une carte d'occupation du sol issue d'une rastérisation des couches d'information de la base de données CanVec v1.1.0 au 1:50 000 de Ressources naturelles Canada (bâtiment, zone résidentielle, zone industrielle et commerciale, région hydrique, région boisée, étant admis que ce qui est agricole est exclusif des autres catégories), nous avons élaboré une méthode de classification du territoire régional selon le milieu paysager dominant. Nous avons bien conscience que la donnée source (CanVec) n'a pas été actualisée récemment, mais au regard de nos objectifs elle a le mérite d'être suffisamment exhaustive et précise. Nous avons tout d'abord réalisé pour l'ensemble du territoire un carroyage kilométrique (chaque carreau représentant un kilomètre carré) qui a ensuite été croisé avec la carte d'occupation du sol. L'objectif était de catégoriser chacun des carreaux définis selon le ou les types d'occupation du sol relevés.

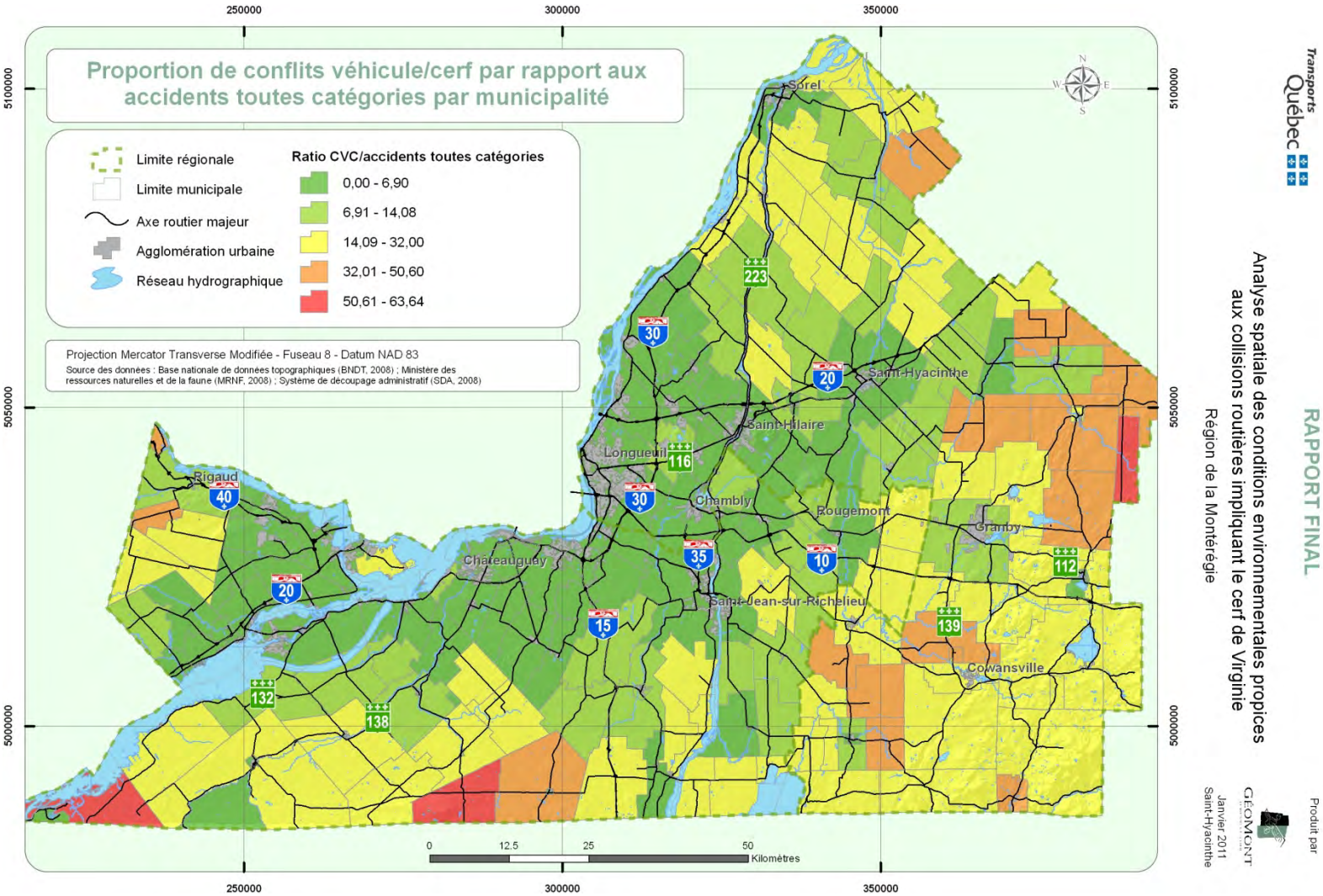


Figure 7 : Proportion de CVC par rapport aux accidents toutes catégories sur le réseau supérieur entre 2003 et 2007 pour les municipalités de la Montérégie

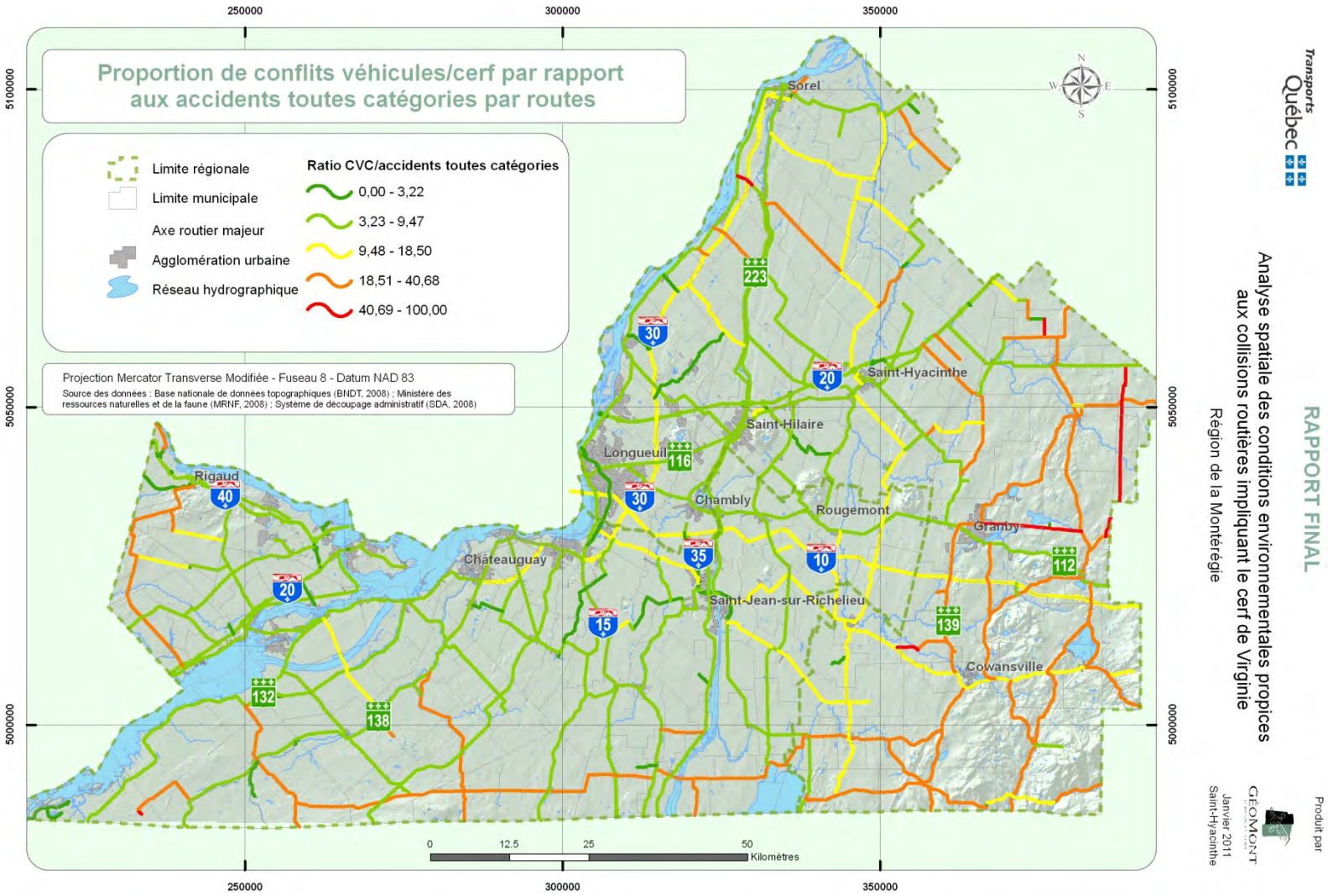


Figure 8 : Proportion de CVC par rapport aux accidents toutes catégories sur le réseau supérieur entre 2003 et 2007 pour les routes du réseau supérieur de la Montérégie (source : MTQ, 2008)

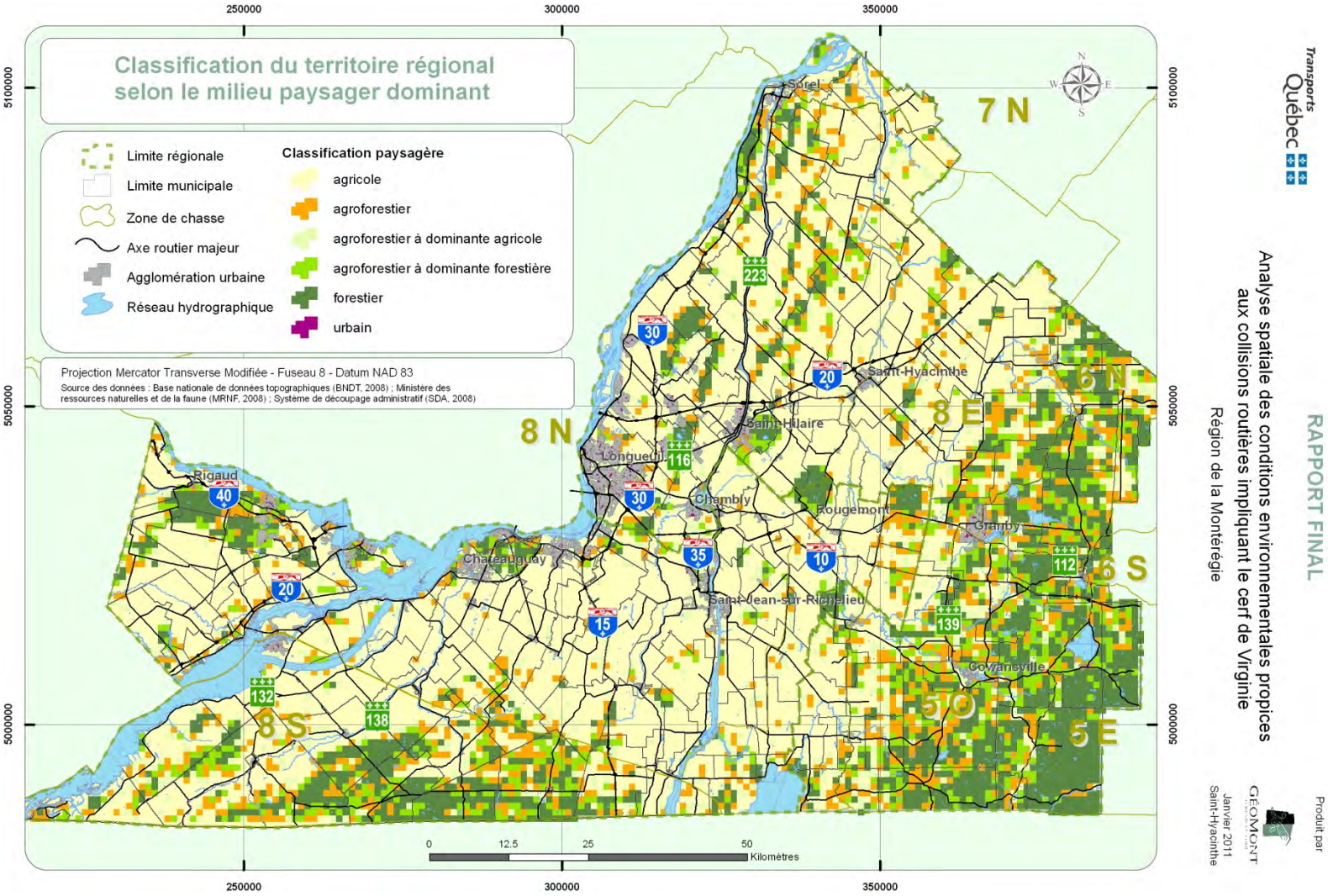


Figure 9 : Classification du territoire régional selon le milieu paysager dominant

Les classes de milieu paysager retenues sont :

- Le milieu agricole : proportion d'occupation agricole du sol égale ou supérieure à 75 %;
- Le milieu agroforestier : proportion cumulée d'occupation agricole et forestière du sol égale ou supérieure à 75 %;
- Le milieu agroforestier à dominante agricole : proportion d'occupation agricole du sol égale ou supérieure à 60 % à l'intérieur du milieu agroforestier;
- Le milieu agroforestier à dominante forestière : proportion d'occupation forestière du sol égale ou supérieure à 60 % à l'intérieur du milieu agroforestier;
- Le milieu forestier : proportion d'occupation forestière du sol égale ou supérieure à 75 %;
- Le reste des pixels sont classés en milieu urbain.

Nous avons ensuite croisé le réseau routier supérieur avec cette classification des milieux paysagers afin de calculer la répartition des routes selon la classe. Enfin, autour de chacun des 11 649 CVC survenus dans la période 1997-2007, nous avons généré une zone tampon (*buffer*) carrée d'une superficie d'un kilomètre carré qui a été catégorisée selon les mêmes critères que pour le carroyage kilométrique. Il en résulte les chiffres suivants :

Milieu paysager dominant	Hectares	Km de RS	Nombre de CVC	Proportion	Ratio CVC/km
Agricole	558 100	2 192	4 200	36,1	1,92
Agroforestier	128 400	436	2 319	19,9	5,32
Agroforestier à dominante agricole	142 600	851	2 543	21,8	2,99
Agroforestier à dominante forestière	103 300	280	1 483	12,7	5,30
Forestier	178 300	256	1 020	8,8	3,98
Urbain	9 500	48	84	0,7	1,75
Pas d'information (eau, sans objet)	100 500	88			3,54

Tableau 4 : Répartition des CVC selon le milieu paysager dominant

Si on se fonde sur la moyenne régionale (2,8 CVC/km), il en ressort clairement que c'est dans les classes agroforestière (y compris les sous-classes) et forestière que le ratio CVC/km est le plus important, pratiquement 2,5 fois celui du milieu agricole. Ce constat renforce notre présomption qu'il existe un réel rapport de causalité entre la nature du milieu et le risque d'occurrences de CVC. Nous verrons plus loin qu'on enregistre un glissement de ces chiffres selon les classes en fonction de la saison.

3.3 Les conflits véhicule/cerf dans une approche temporelle

3.3.1 Relation saisons – période du jour

Comme énoncé plus haut, les facteurs d'aléa et de vulnérabilité sont reliés à un patron à la fois saisonnier et journalier. Dans ce sens, selon la saison, les heures de pénombre et d'obscurité se déplacent, se rétractent ou s'amplifient avec, pour conséquence, une répartition temporelle inégale des CVC. Pour démonstratives qu'elles soient, les

figures 4 et 5 (partie 2.1.2) ne permettent que d'appréhender de manière parcellaire ce lien de causalité. Aussi, en réalisant une matrice synthétique, nous avons souhaité faire apparaître ce lien de manière plus fine (tableau 5).

En premier lieu, on constate que près de 80 % des CVC de la période 1997-2007 ont eu lieu en période de pénombre ou d'obscurité (9 263 CVC, soit 79,8 %), alors que les plages horaires clarté/obscurité (la valeur d'une plage horaire étant égale à une demi-heure) se répartissent à parts presque égales (49 % de clarté contre 51 % d'obscurité). En période diurne, la majorité des fréquences de CVC par plage horaire est égale ou inférieure à la moyenne calculée (moyenne des fréquences par plage horaire diurne de 2 CVC/demi-heure contre 5,5 CVC/demi-heure, en moyenne générale). Conformément à la logique, la moyenne des fréquences par plage horaire nocturne s'établit à 7,2 CVC/demi-heure. On pourra également relever que de nombreuses plages horaires nocturnes se caractérisent par des valeurs notablement supérieures à la moyenne, avec des pics pouvant dépasser les 50 CVC/demi-heure.

Cette matrice permet par ailleurs de bien visualiser le patron des habitudes de déplacements saisonniers et journaliers du cerf. On voit bien, en effet, la concentration de plages horaires à fréquence élevée de CVC au printemps, au début de l'été et tout particulièrement à l'automne. De même, on constate que c'est pendant la première moitié de la période nocturne que se concentre la plus forte fréquence de CVC (46 % entre 18 h et minuit, contre 28 % entre minuit et 6 h). Ces chiffres sont à relier à l'alternance des pics d'activité et de repos du cerf combinés aux variations des flux nocturnes de circulation.

Les fréquences élevées enregistrées à des heures tardives au printemps et en été peuvent s'expliquer par des flux de circulation importants liés aux déplacements de loisirs des automobilistes. Celles enregistrées aux heures tardives de l'automne peuvent être l'effet de la combinaison d'une recrudescence de l'activité du cerf en période de rut et des déplacements de chasseurs qui obligent les cervidés à plus de mobilité et à des irruptions plus fréquentes en dehors de leur habitat naturel.

Tableau 5 : Tableau croisé de répartition des conflits véhicule/cerf par plage horaire selon les saisons

		HIVER											PRINTEMPS													ÉTÉ													AUTOMNE													HIVER		
Plages horaires		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35	S36	S37	S38	S39	S40	S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	
23,5	24	1	3	3	1	4	3	1	3	4	3	4	3	4	5	2	3	3	4	5	6	4	2	9	6	8	7	6	7	4	4	6	2	3		2	4		2	3	3	8	4	9	9	13	8	11	13	8	7	3	1	
23	23,5	6	6	10	2	7	4	3	6	3	2	4	6	8	8	8	5	2	7	8	14	11	12	14	15	5	8	12	8	8	8	12	1	7	9	4	8	9	3	11	12	11	12	21	19	21	23	20	20	24	10	16	20	Transition jour/nuit
22,5	23	3	3	4	2	3	5	2	2		2	2	2	5	6	6	6	5	3	4	7	5	9	12	6	9	5	9	4	6	4	6	2	1	1	4		1	5	3	4	6	6	13	11	16	11	12	10	6	4	5	3	
22	22,5	6	11	7	6	7	3	4	9	4	3	6	3	6	12	9	6	9	4	12	16	21	21	25	20	20	21	17	13	8	10	8	8	8	8	6	10	4	4	12	10	14	9	21	19	33	27	32	18	17	6	13	15	
21,5	22	5		6	4	2	3	1		1	1	5	5	4	7	6	7	6	5	2	9	7	11	11	14	15	12	10	8	10	2	4	5	4	4	3	1		6	7	1	8	9	13	9	12	11	13	12	6	6	4	2	
21	21,5	8	10	4	15	2	3	3	1	7	7	5	3	13	12	19	17	12	10	20	23	28	32	24	35	24	30	25	23	23	15	13	11	7	8	12	8	13	6	15	6	19	9	14	20	32	17	27	12	10	12	18	18	
20,5	21	6	1	2	1	2	2				1		2	4	9	14	10	6	3	6	15	7	7	5	10	11	1	3	5	3	4	1	3	5	4	9	5	2	4	6	7	6	8	8	6	21	10	15	11	8	8	4	1	
20	20,5	8	4	2	4	4	5	4	4	2	4	2	7	9	14	18	21	16	11	8	5	9	7	10	8	11	6	6	11	9	2	1	6	8	12	8	14	20	13	12	12	23	17	20	28	44	20	25	18	15	7	11	13	
19,5	20	1	2	2	2	3	1	1	3	3		2	2	3	7	4	1	5	1	3	1	4	1	2	3	1	2		1	2	2	2	2	3	1	6	6	4	14	8	11	9	10	14	14	16	15	21	11	8	6	6	8	
19	19,5	10	7	12	5	11	4	5	6	4	9	11	13	21	9	4	3		5	4	6	2	4	6	8	4	3	5	1		4	2	1	2	5	4	2	5	11	30	28	31	33	34	36	27	30	36	34	17	21	10	11	
18,5	19	2	1	2	4	4	4	6	6	5	4	7	6	9	5	1		1	1	1	1	1	1	4		1	1		1	1		1	1	1		3	2	5	2	5	12	17	18	20	23	17	14	31	15	15	7	11	3	
18	18,5	13	8	4	18	13	9	7	11	10	6	9	5	12	3	1	1	1	1	7	3	2	3	4	7	3	3		7	2	3	2	5	1		1	2	4	4	6	6	15	16	34	42	61	54	52	36	25	23	22	15	
17,5	18	8	10	11	4	4	2	7	1	3	2		1	1	1				1	1	1	1	1			1	1			2		2	1				1	1	2	2	3	2	4	5	19	27	24	25	30	18	18	11	10	
17	17,5	16	16	11	5	7	6	2	2	2	1	2		4	4	1	1	2	1			1	1	3	3	3	5	5	7	6	4	2	1			3		2	2	1	1	2	7	9	40	52	69	67	40	41	38	33	29	Heures de pointe
16,5	17	4	2	1				2		4	2		1	1					1	2		2	1	1	2	3	3	2	3	1			2							1	2	1		3	7	14	12	20	24	16	10	7	4	
16	16,5	3	2	1	2		1	1	2	2	2	1	2	4	1	2	1	6		2	3	2	2	3	2	5	2	3	2	4	2	2	1		5	3	1			1	2	7	1	3	7	7	10	9	11	10	4	2	3	
15,5	16			1		1		2	1	2		1					2		1		1	2		2	2	1		1					1	1	1	1	1		1	1	1	1		1	1		4	1	2	2	1		1	plus de 20
15	15,5	1		2	1	1	2			2	1	1	1		4	3	1	1		2		1	2	3	5	3	7	2	3	1	2		1	1	2	1	2			1	2	2	2	3	3	6	1	2	2	3	1		3	11 à 20
14,5	15			1	2					2	3	1	1				2	1	1		2	1		1	3	1	1	2		1	1	3	1					1		3			2	4	2	2		2		1	1	1	6 à 10
14	14,5			3	1	2	1			1			1	3	5	1	2	2	2	2	1	1	2	2	7	7	3	4	1	1	2		1	2		2			1	1			2	2	3	3	4	3	2		3	2		1 à 5
13,5	14			1	1	1		1		1	2				1				1	1	2	1	1		1	1	2	3	1	1					2	2			2	1	1		1				1	1	2		1		
13	13,5	1	1	1	1						1	1		3	1	2	2	2	1	2	2	1	3		3	5	2	1	2	4	1	2			1			2	2	1		3	2	2	2	2	1	2	2	1	2		1	
12,5	13	1					1					5			1	1	2	1	2			1	2	1	2	3	1	1	2			1	3		2	1		1	1						3	3	2	1	1	1				
12	12,5	1		1	3		2	1		1	1	1		2	3	1	1	2				1	2		5	2	3	1	2	4	2		2	1	3	1	1	1				2	2	2	1	1	3	7	3			2	1	
11,5	12		1	1	1						1	1		1		2			1			2	2	3	3	1	1	1	2					1	1	1	1		1		1	2			3	1	2				2	4	2	
11	11,5	1	1	1	4	3	2	1	4	2		1	3	6	1		1	1	1	2	1	2	2	1	5	3	4	2	5	2	1	1	2		2	3	4		1	2	3	4		4	6	5	3	4	4	1	1		4	
10,5	11		1		1				1			1	1			2		2		1		2		2		1	1	3		1		1		2			1	1		1		2		1	1		2	2	1				
10	10,5	3	3							2	1	1	2	3	2	2	3	1	3	3	2	5	4	6	6	2	2	5	2	2	3	2	2	2	3	3	2	2	1	5	5	2	2	5	5	6	6	5	6	2	1	1	3	
9,5	10													1	1	2	1			2	1	1						1	2	1	2	1			1	2				2	2	3		1	1	3	3	2	3		2	1		
9	9,5	2		2	2	1					1	1	2	3	1	3	3			1	4	2	4	6	2	3	6	6	5	2	1	1	1	3		3	2	1	4	2	4	1	7	3	3	3	7	4	2		1	4	2	
8,5	9	1	1	1	2	1	1		1		2		1			1		1	1		2	1	3	5	2	4	1		4	3	2	2	1		1	1	1	1		1		2	1	2	2	1	2	1	2	3	1	2	
8	8,5	2	1	3	1		1	2	1			1		4	2	3		4	2	3	4	5	5	8	9	9	6	3	6	3	2	2	3	4	2	3	2	2	1	4	6	7	5	4	2	5	5	5	3	3	5	1	2	
7,5	8	3		1	2	4	1	1		3	1			3	3	4		1	1	1	4	1	2	2	1	3	3	3	4	1	3	1	4	3	2	2	2	2	2	5	3	5	3	3	6	2	4	6	3	1	1	4	1	Heures de pointe
7	7,5	3	5	1	3	2	1	1	2	2	1	2	5	4	5	4	4	7	5	2	5	6	2	9	6	6	6	6	6	5	5	4	5	3	3	4	1	3	5	8	7	9	11	13	8	5	12	10	6	9	5	5	4	
6,5	7	6		4	5	2	1	3		1		1	1	2	3	2	3	2	3	3	2	2	11	2	8	7	3	3	4	3	4	1	2	2	6	1	3	6	4	4	11	19	14	18	5	6	15	10	9	3	11	10	4	
6	6,5	3	4	3	3	7	5	8	1	2	2	3	3	3	7	2	4	4	3	6	5	8	9	10	7	11	6	7	2	6	7	2	2	7	7	2	8	11	11	8	16	16	17	9	15	20	18	16	13	12	12	3	6	
5,5	6		2	3	1			2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	3	6	3	4	8	4	5	11	4	8	6	3	4	3	4	1	5	1	5	5	5	6	9	3	5	6	7	7	6	14	3	5	1	3	2	
5	5,5	1	3	1	2	1	2	1	2	1	1		1	8	2	3	2	2	6	5	10	11	11	12	16	20	9	10	8	11	4	6	3	7	3	5	2	2	1	4	7	6	10	16	17	13	12	13	5	4	5	6	1	
4,5	5	2	1	1				1		1	1				1	2		2	2	3	7	3	9	9	11	11	13	7	4	6			2		1	1	2	1	2	2	4	2	3	9	10	2	6	6	3	1	3		3	
4	4,5	2	5		2	1	3				4		3	4	7	3	5	7	2	4	9	8	17	8	16	12	15	8	8	7	9	6	2		3	3	3	2	5	2	3	7	7	2	13	11	6	11	5	5	7	3	6	
3,5	4	1		1	2		1		2	1	1	1		2	1	3	2		2	3	2	2		2	6	3	1	4	5	1		2	1	2	3		2		2	5	2		2	4	4	4	1	9	3	5	3	2	2	
3	3,5	7	6	1	2	2		2	1	1	1	1	1	4	4		3	6	5	1	4	4	11	12	5	9	11	4	6	4	4	5	5	3	1	4		1	2	3	3	9	5	9	11	9	10	10	4	3	6	2	5	
2,5	3		1	1		3	1	1	1			1			1	3	1		2		3	7	3	7	1	3	9	6	1	1	1	1			1		2	1	3	3	1	4	4	5	7	3	7	6		2	2	1	2
2	2,5	2	1	9	6	2		6	2		2	1	1	2	3	2	5	2	3	6	4	12	5	17	15	22	13	12	6	5	3	3	5	6	4	2	1	7	2	7	7	7	8	14	18	11	15	9	7	7	5	9	7	
1,5	2	4	2	1	2	1					1		2	2	2	3		1	1	2	1	1	6	3	7	3	4	5	6	4	1	5	1	1	1	2		1	1	3		3	2	9	6	5	2	8	4	3	2	1	7	plus de 20
1	1,5	4	5	3	2	2	1	2	1	2	3		5	3	2	5	3	2	2	10	13	15	10	12	16	17	11	19	12	7	10	6	4	6	3	2	1	3	10	10	6	6	7	15	13	17	14	11	12	3	9	9	9	11 à 20
0,5	1	1	2	3	4		2		2	2	2	1		2	1	4	2	1	2	4	3	5	6	5	6	10	5	6	3	3	4	3	3	3	3		3	5	2	3	3	1	5	7	5	8	5	3	9	4	1	4	4	6 à 10
0	0,5	4	6	4	6	6	4	1	1	5	4	2	1	9	11	7	6	5	8	12	4	7	19	10	21	7	15	13	13	5	9	8	5	4	3	1	4	4	5	5	8	11	6	14	14	26	20	24	14	6	18	10	12	1 à 5

Constatation flagrante, lorsqu'il y a juxtaposition entre des heures de pointe de circulation automobile et des périodes d'obscurité (automne et début de l'hiver), on enregistre en moyenne des fréquences particulièrement élevées (30 CVC/demi-heure), avec les pics les plus importants (ex. : 69 CVC/demi-heure entre 17 h et 17 h 30, en semaine et 46 à l'automne).

3.3.2 Relation entre le patron saisonnier et le milieu paysager dominant

L'observation du tableau 6 met en évidence la dimension spatiotemporelle du risque de CVC en ce sens que, selon les saisons, la distribution des CVC ne prend pas les mêmes valeurs pour un même milieu paysager avec, parfois, des écarts éloquents. Dans ce tableau, le taux réel correspond au ratio « nombre de CVC pour chacun des milieux sur le nombre total de CVC à chacune des saisons ».

Tableau 6 : Répartition des CVC saisonniers selon le milieu paysager dominant

Milieu paysager dominant	Hectares	km de RS	Nb de CVC	Proportion	Ratio CVC/km
Printemps					
Agricole	558 100	2 192	1 120	41,3	0,51
Agroforestier	128 400	436	473	17,5	1,08
Agroforestier à dominante agricole	142 600	851	576	21,3	0,68
Agroforestier à dominante forestière	103 300	280	297	11,0	1,06
Forestier	178 300	256	221	8,2	0,86
Urbain	9 500	48	22	0,8	0,46
Été					
Agricole	558 100	2 192	908	40,5	0,41
Agroforestier	128 400	436	413	18,4	0,95
Agroforestier à dominante agricole	142 600	851	475	21,2	0,56
Agroforestier à dominante forestière	103 300	280	252	11,2	0,90
Forestier	178 300	256	171	7,6	0,67
Urbain	9 500	48	24	1,1	0,50
Automne					
Agricole	558 100	2 192	1 802	35,1	0,82
Agroforestier	128 400	436	1 056	20,6	2,42
Agroforestier à dominante agricole	142 600	851	1 190	23,2	1,40
Agroforestier à dominante forestière	103 300	280	612	11,9	2,19
Forestier	178 300	256	450	8,8	1,76
Urbain	9 500	48	23	0,4	0,48
Hiver					
Agricole	558 100	2 192	370	23,7	0,17
Agroforestier	128 400	436	377	24,1	0,86
Agroforestier à dominante agricole	142 600	851	302	19,3	0,35
Agroforestier à dominante forestière	103 300	280	322	20,6	1,15
Forestier	178 300	256	178	11,4	0,70
Urbain	9 500	48	15	1,0	0,31

En milieu agricole, on note, par exemple, un écart important entre le taux de CVC en hiver (23,7 %) et au printemps ou en été (respectivement 41,3 % et 40,5 %). Cela peut s'expliquer par l'absence de ressources alimentaires dans les champs cultivés (y compris dans les vergers) en hiver, alors que la ressource devient abondante à partir des semailles du printemps.

En milieux forestier et agroforestier à dominante forestière, on constate une augmentation notable des taux de CVC en hiver par rapport aux autres saisons, la concentration des cerfs en zone forestière, en particulier dans les ravages, entraînant une plus faible mobilité accentuée par la contrainte que constitue le couvert neigeux. En milieu paysager forestier, en dépit d'une concentration de l'aléa-cerf, on peut supposer que la modicité de l'écart entre le taux hivernal (11,4 %) et la moyenne des autres taux saisonniers s'explique probablement par la faiblesse du DJMA.

3.3.3 Relation entre les CVC hivernaux et les aires de confinement

Nous avons poussé plus loin notre raisonnement au sujet de l'influence des ravages dans la concentration spatiale des CVC hivernaux. Pour ce faire, nous avons utilisé la couche d'information fournie par le MRNF localisant les aires de confinement du cerf situées en Montérégie et dans les régions avoisinantes. Bien que cette couche d'information date quelque peu (mises à jour des ravages variant de 1993 à 2001), nous avons tenu pour acquis que ces zones étaient dotées d'une certaine continuité temporelle (fidélité du cerf au ravage). Nous émettons cependant une réserve : cette couche d'information ne localise pas les ravages au-delà de la frontière avec les États-Unis.

Nous avons comparé la concentration hivernale de CVC sur le réseau routier autour des ravages avec la concentration de CVC sur le réseau routier situé en milieu forestier en général. Dans ce but, nous avons retenu les deux principaux secteurs forestiers de la Montérégie :

- Secteur forestier du sud dans la zone des MRC des Jardins-de-Napierville et du Haut-Saint-Laurent bordant les Adirondacks;
- Secteur forestier du sud-est dans la zone des MRC de Brome-Missisquoi et de la Haute-Yamaska à la hauteur du piémont appalachien.

À l'intérieur de ces secteurs, qui cumulent 895 kilomètres du réseau supérieur, on a enregistré 1 023 CVC hivernaux entre 1997 et 2007, ce qui donne un ratio moyen de 1,14 CVC/km.

En parallèle, nous avons produit une série de zones tampons autour des 14 aires de confinement situées à l'intérieur de ces deux secteurs, pour lesquelles nous avons comparé les ratios de CVC/km au ratio moyen indiqué plus haut.

Résultats pour les différentes zones tampons testées :

- Zone tampon de 1 kilomètre autour des ravages : 185 kilomètres de réseau et 280 CVC, soit **1,51 CVC/km**
- Zone tampon de 2 kilomètres autour des ravages : 289 kilomètres de réseau et 405 CVC, soit **1,40 CVC/km**
- Zone tampon de 5 km autour des ravages : 619 kilomètres de réseau et 698 CVC, soit **1,13 CVC/km**

Ces résultats nous apparaissent probants uniquement dans un rayon de 1 à 2 kilomètres autour des ravages, avec respectivement 33 % et 23 % plus de CVC dans

ces secteurs que dans le milieu forestier en général. Au-delà, le ratio kilométrique se confond avec le ratio moyen.

Pour compléter le tableau, nous avons effectué le même exercice pour les accidents estivaux afin de vérifier que cette tendance est bien propre à la période hivernale. À l'intérieur des mêmes secteurs, on a enregistré 985 CVC estivaux entre 1997 et 2007, ce qui donne un ratio moyen de 1,1 CVC/km.

Résultats pour les différentes zones tampons testées :

- Zone tampon de 1 kilomètre autour des ravages : 183 CVC, soit **0,99 CVC/km**
- Zone tampon de 2 kilomètres autour des ravages : 295 CVC, soit **1,02 CVC/km**
- Zone tampon de 5 kilomètres autour des ravages : 573 CVC, soit **0,92 CVC/km**

Ces résultats viennent confirmer l'influence des ravages dans la concentration hivernale des CVC en secteur forestier et, par ailleurs, le fait que ces mêmes secteurs sont vraisemblablement délaissés par les cervidés en été au profit des zones forestières de lisière et des zones de culture.

4. DÉTERMINATION DES SITES ACCIDENTOGÈNES

4.1 Les sites accidentogènes

4.1.1 Choix des critères de détermination des sites accidentogènes

Il nous apparaît nécessaire, à ce stade des travaux, de définir une méthode de détermination des sites accidentogènes. Notre objectif est ici de distinguer une méthode aisée à mettre en œuvre, qui soit à la fois suffisamment discriminante (ce qui évitera de manipuler un nombre trop élevé de données sur des sites accidentogènes pour le secteur d'étude) et qui puisse représenter une plateforme utilisable par le MTQ. On soulignera cependant qu'à l'heure actuelle et à notre connaissance, aucune norme concernant la méthode de définition d'un site accidentogène relative aux accidents véhicule/cerf n'existe au MTQ (Ménard et Bédard, 2009).

4.1.1.1 Critère de la fréquence d'accidents

Dans la plupart des travaux sur le sujet, on retrouve fréquemment la distance du kilomètre dans le calcul du ratio « nombre d'accidents par segment de route ». Ce choix nous semble pertinent, car le fait d'utiliser une échelle plus fine conduirait à faire abstraction du constat énoncé plus haut, à savoir l'imprécision relative du positionnement des CVC.

Les différentes méthodes retrouvées dans la littérature sont fondées sur la détermination d'un seuil basé sur un nombre d'accidents pour une période donnée (ex. : une année) sur une distance donnée (ex. : un mille ou un kilomètre) (Meyer, 2006), en mettant, par exemple, l'accent sur la dimension économique dans la sélection des sites accidentogènes. En d'autres termes, il s'agit de relever les sites qui ont un certain ratio coût-avantage favorable en ce qui concerne la mise en place de mesures de mitigation. Cela se traduit par un nombre d'accidents (8, 16, 24 conflits par an par mille) à partir duquel la mesure de mitigation (ex. : clôture) est considérée comme opportune (Reed, Beck et Woodward, 1982). Ce type d'approche « économique » nous semble toutefois trop complexe pour être adaptée au cadre spécifique de notre étude : elle implique en effet l'analyse croisée de multiples composantes, telles que le coût direct et indirect des mesures de mitigation, des soins de santé reliés aux blessures corporelles subies par les passagers des véhicules impliqués ainsi que des dommages matériels.

On retrouve également des méthodes utilisant le volume de trafic routier comme variable de pondération (Christie et Nason, 2003). Elles reposent sur le calcul d'une moyenne de conflits par million de kilomètres de trafic. L'Illinois Department of Natural Resources utilise une approche semblable (nombre d'accidents par million de milles selon une distance considérée) et établit des seuils discriminants de sites accidentogènes, par exemple 200 conflits par an par million de milles de trafic. Cette dernière approche, issue de la méthode de détermination des sites accidentogènes (toutes catégories d'accidents confondues) couramment utilisée par le MTQ, peut s'établir selon l'équation suivante (AIPCR, 2004) : $\mathbf{T = f \times 10^6/365{,}25 \times P \times L \times Q}$. Dans cette équation, **T** correspond au taux d'accidents, **f** correspond à la fréquence des accidents, **P**, à la période d'analyse en années, **L**, à la longueur de section en kilomètres et **Q,** au débit journalier moyen annuel en véhicules/jour.

Bien que cette méthode soit aisée à mettre en œuvre, elle pose le problème d'intégrer le DJMA en tant que variable de pondération, alors que notre étude consiste à tester l'incidence de cette variable dans le risque de CVC au même titre que d'autres. Plus exactement – et si l'on fait un bref retour sur une des hypothèses centrales de notre travail – le risque de CVC est la résultante d'une combinaison de facteurs de risques : facteurs d'aléa en lien avec le cerf de Virginie et facteurs de vulnérabilité en lien avec les véhicules.

En utilisant le principe du taux d'accidents (donc pondéré avec le DJMA), on se retrouve à privilégier les secteurs à faible ou à très faible débit et, *a contrario*, à écarter les secteurs à fort débit, en particulier les secteurs autoroutiers. En outre, cela suppose une relation linéaire entre DJMA et fréquence de CVC, ce qui, selon les secteurs, n'est pas forcément établi, comme on le verra plus loin.

Suivant la logique de notre approche, **nous optons pour une méthode de détermination des sites accidentogènes basée uniquement sur le ratio d'une fréquence donnée sur une distance donnée**. Ainsi, les sites retenus seront analysés sous l'angle des facteurs de risque à la source de cette concentration anormalement élevée. Dans certains cas, les facteurs d'aléa seront prééminents dans l'explication du risque. Dans d'autres cas, ce seront les facteurs de vulnérabilité.

4.1.1.2 Période d'analyse

Nous avons énoncé plus haut qu'une concentration anormalement élevée de CVC faisait de certains endroits du territoire des sites accidentogènes; ce constat prend en compte des données statistiques rapportées à une échelle spatiale, le kilomètre, ainsi qu'à une échelle temporelle, l'année. Cette dernière unité de mesure semble aller de soi, comme le prouve son utilisation dans la majorité des travaux sur le sujet.

Dans notre étude, ce concept de variabilité spatiale et temporelle des sites accidentogènes sera appliqué aux **cinq dernières années documentées**. Ce choix correspond à la nécessité de cibler des sites ayant un historique récent offrant l'avantage, par exemple, d'une localisation des CVC plus fiable qu'à une période antérieure.

Pour la période considérée (2003-2007), nous avons travaillé sur un groupe de 5 039 CVC, dont 1 855 pour la DOM (37 %) et 3 184 pour la DEM (63 %) :

- 1 137 CVC au printemps (22,5 %);
- 1 069 CVC en été (21,2 %);
- 2 090 CVC en automne (41,5 %);
- 743 en hiver (14,7 %).

4.2 Utilisation de la technique de l'échelle mobile

À partir du moment où nous avons décidé des critères de détermination des sites accidentogènes, il nous reste à déterminer la méthode utilisée pour les localiser. Pour ce faire, nous adapterons le principe de l'échelle mobile développé par la DOM. Rappelons que l'un des principaux avantages de cette technique est de ne pas avoir à segmenter le réseau routier pour réaliser cette localisation. Cela permet de ne pas influer sur la

localisation des sites en fonction de la méthode de segmentation. De plus, cette méthode permet de cibler des sites accidentogènes qui ne seraient pas désignés comme tels si on utilisait une segmentation arbitraire basée sur une distance donnée ou sur une classification fonctionnelle du réseau routier. La figure 10 dans laquelle l'agrégation de CVC chevauche deux segments du réseau illustre ce constat. Chacun des deux segments obtient un taux d'accident qui est atténué par la portion peu ou pas affectée par des CVC, alors que l'usage de l'échelle mobile permet de cibler ce site.

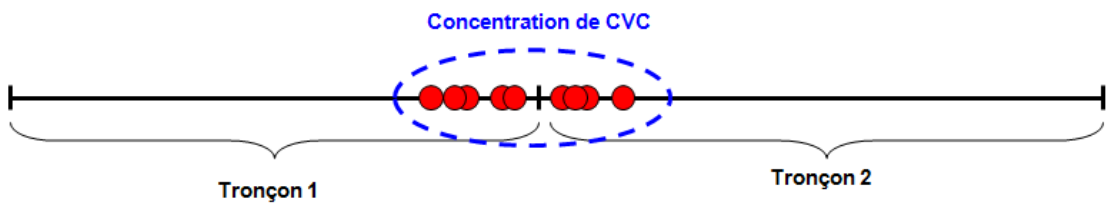


Figure 10 : Localisation des concentrations de CVC par échelle mobile

Le protocole consiste donc à passer en revue chaque CVC survenu sur le réseau routier supérieur et à définir une zone tampon circulaire dont le rayon égale la distance retenue au stade de la définition des critères (1 kilomètre = 500 mètres de rayon, de part et d'autre du CVC). Chacun des CVC se voit affecté du nombre de CVC voisins répertoriés à l'intérieur de cette zone tampon, plus un, correspondant à sa propre occurrence. La condition est cependant que les CVC voisins soient situés sur la même route, ce qui évite d'exercer une influence sur les CVC situés à proximité immédiate, mais sur d'autres routes. Cette situation est fréquente quand le traitement des données passe en revue des CVC contigus aux intersections ou dans le cas d'axes routiers parallèles dont la distance de séparation est inférieure au rayon de la zone tampon.

Il est à noter que le tronçon de route englobé dans la zone tampon autour du CVC fait exactement un kilomètre uniquement lorsque le tronçon est parfaitement rectiligne. Or, on constate que dans les faits, cette exactitude géométrique ne se vérifie que rarement. Les tests effectués montrant que selon la courbure du tronçon considéré, on obtient généralement une moyenne de 1 022 mètres, cette possible variation n'a, de notre point de vue, aucune incidence sur la validité de nos analyses.

4.3 Localisation des sites accidentogènes

4.3.1 Le nombre-seuil retenu

Après avoir traité les données d'accidents des 5 dernières années, soit 5 039 CVC, on obtient pour chacun des CVC le nombre de CVC voisins dans un rayon de 500 mètres.

Si, par exemple, ce nombre est égal à 5, cela veut dire que le CVC en question est à moins de 500 mètres de 4 autres CVC. De la même manière, quel que soit l'endroit où on se trouve à l'intérieur de ce rayon de 500 mètres de part et d'autre de ce CVC, on se trouve à moins d'un kilomètre de 5 CVC.

Si on observe le sommaire statistique issu du traitement des données, on voit que le minimum est à 1 (correspondant aux CVC n'ayant aucun voisin dans un rayon de 500 mètres) et le maximum à 21. On retrouve une moyenne de 4,91 et un écart-type de 3,47. Nous avons décidé de nous baser sur cet écart-type pour déterminer un nombre-

seuil discriminant. Dans ce but, nous n'avons conservé que les nombres de CVC/km supérieurs à un écart-type, **donc supérieurs ou égaux à 9 CVC/km**.

4.3.2 Les sites accidentogènes retenus

Sur la base de ce nombre-seuil supérieur ou égal à 9 CVC par kilomètre sur 5 ans, on obtient 81 tronçons accidentogènes (figure 11 et annexe 1), d'une longueur de 991 mètres pour le plus court et 5 945 mètres pour le plus long, avec une moyenne située à 1 472 mètres. L'ensemble des tronçons représente 185 kilomètres sur 4153 kilomètres de réseau au total, soit 4,45 % du réseau. Si l'on sélectionne l'ensemble des CVC situés sur ces 81 tronçons, on arrive à 1 202 CVC, soit 24 % des CVC de la période considérée. On obtient un ratio de 8,8 CVC/km contre 1,65 CVC/km sur l'ensemble du réseau supérieur.

La répartition saisonnière des 1 202 CVC survenus sur les sites accidentogènes est la suivante :

- 256 CVC printaniers (21 %).
- 203 CVC en été (17 %);
- 504 CVC en automne (42 %);
- 239 CVC en hiver (20 %).

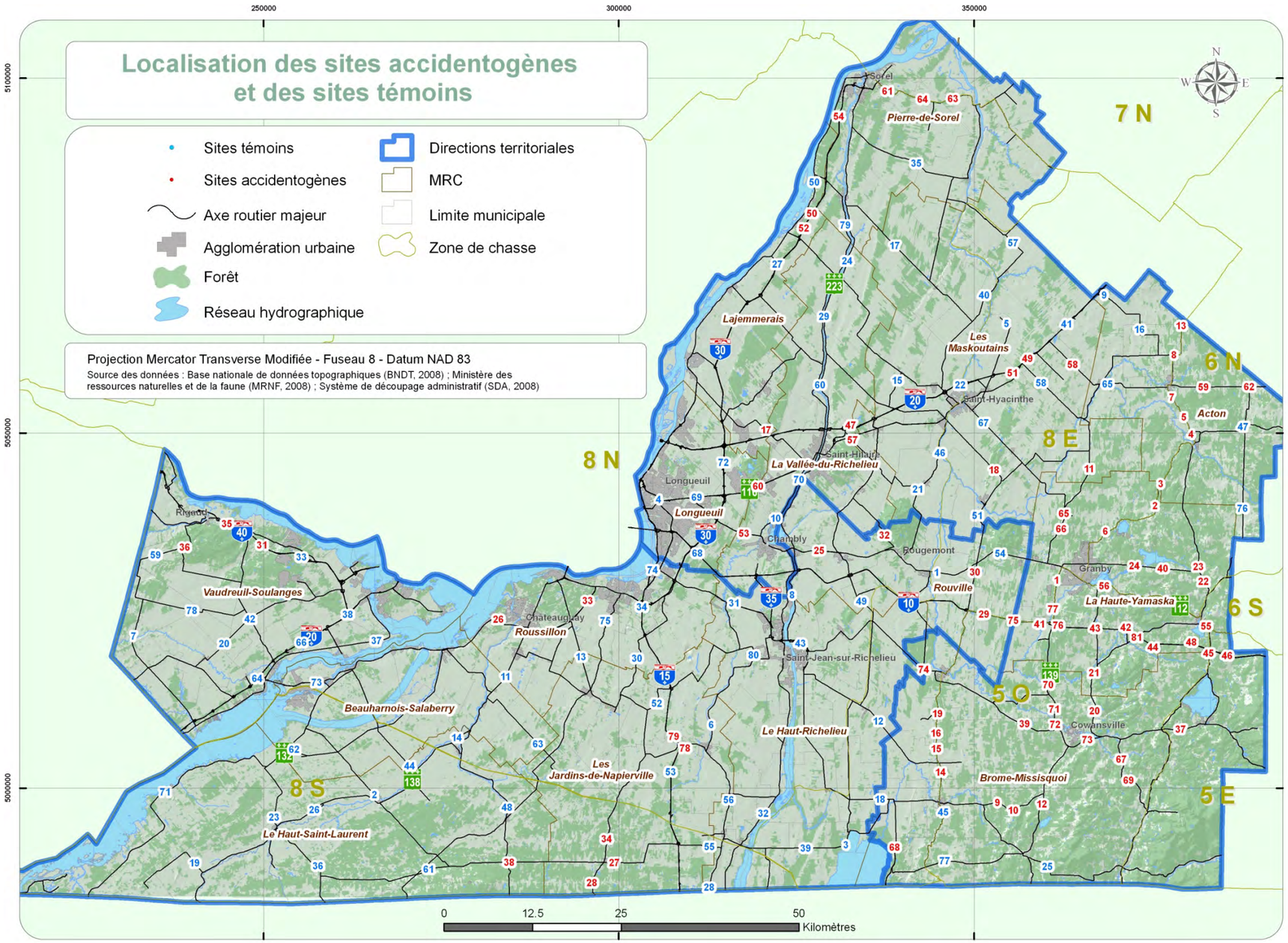


Figure 11 : Localisation des sites accidentogènes et des sites témoins

Transports Québec

RAPPORT FINAL

Analyse spatiale des conditions environnementales propices aux collisions routières impliquant le cerf de Virginie

Région de la Montérégie

Produit par

GÉOMONT

Janvier 2011
Saint-Hyacinthe

Dans le même ordre d'idées, 4 saisons sont représentées sur 46 sites, 3 saisons sur 28 sites et 2 saisons sur seulement 7 sites.

La figure 11 et l'annexe 1 permettent d'établir un certain nombre de constats :

- Nous observons une concentration des sites accidentogènes à l'est du territoire, dans la partie forestière du piémont appalachien, ce qui corrobore nos observations de départ;
- La DEM compte 65 sites contre seulement 16 pour la DOM;
- 21 sites sont situés sur des autoroutes, 26 sur des nationales, 28 sur des régionales et 6 sites sur des collectrices;
- Les sites accidentogènes concernent 28 routes numérotées, dont 5 autoroutes, 8 nationales, 9 régionales et 6 collectrices;
- Certaines routes sont plus particulièrement touchées; c'est le cas de la route 139, avec 15 sites, de l'autoroute 10, avec 11 sites, et des routes 235 et 241, avec 5 sites;
- En utilisant le ratio CVC/km, on peut classer chacun des sites selon son niveau d'affectation par les CVC : le ratio moyen est de 8,84 CVC/km, avec un minimum de 4,91 CVC/km (site 75 sur l'autoroute 10) et un maximum de 14,14 CVC/km (site 43 sur l'autoroute 10).

4.4 Détermination d'un groupe témoin de sites non accidentogènes

En utilisant l'extension *Random Point Generator* (Jenness, J., 2005) disponible dans le logiciel ArcView 3.2, nous avons réalisé un échantillonnage aléatoire de 80 points du réseau routier qui devaient obéir à la seule condition d'être distants de 3,5 kilomètres d'un site accidentogène (soit approximativement deux fois la longueur moyenne d'un site accidentogène). L'objectif était d'accroître les possibilités de faire apparaître des différences en ce qui a trait aux contextes environnementaux entre les sites accidentogènes et les sites témoins.

Nous avons ensuite créé une zone tampon de 850 mètres autour des sites témoins (tronçons de 1 700 mètres), ce rayon permettant d'obtenir une longueur totale de réseau équivalente ou presque à celle des sites accidentogènes. On obtient donc un total de 138 kilomètres (136 kilomètres pour le réseau des sites accidentogènes) avec une moyenne de 1 710 mètres, un minimum de 1 007 mètres, et un maximum de 2 219 mètres.

On peut constater une bonne répartition des sites sur le territoire (figure 11 et annexe 2) à l'exception du secteur du piémont appalachien, ce qui s'explique par la concentration élevée de sites accidentogènes (SA) dans ce secteur et l'application de la règle de la distance minimale de 3,5 kilomètres.

5. ANALYSE MULTISCALAIRE DES FACTEURS DE RISQUE DE CVC

5.1 Échelle macroscopique

Les éléments énoncés précédemment montrent sans conteste que la densité de population de cerf de Virginie est un élément clé dans la compréhension et l'évaluation du risque de CVC. La mobilité de l'espèce, d'une part, et l'amplitude de son habitat naturel, d'autre part, nous amènent à penser que l'approche de la notion de densité ne peut se faire qu'au moyen d'une échelle spatiale suffisamment large.

Cependant, la difficulté à laquelle nous sommes confrontés réside dans l'absence de données suffisamment précises et exhaustives qui puissent être utilisées telles quelles. Devant ce constat, nous avons œuvré à nous doter, soit dans la somme des données existantes, soit à l'aide d'un indicateur de notre propre conception, un outil d'évaluation de cette densité.

5.1.1 Les données existantes

5.1.1.1 Les inventaires aériens du MRNF

La principale source de données disponible sur les densités de populations de cerfs au Québec provient des campagnes hivernales d'inventaires aériens réalisées par le MRNF. Cette technique décrite de manière détaillée par Potvin, Breton (2002) est fondée sur le dénombrement des cerfs le long d'un échantillon de parcelles forestières de 5 kilomètres de longueur sur 60 mètres de largeur par deux observateurs embarqués à bord d'un hélicoptère (d'où le nom de *double inventaire*). Une densité moyenne par zone de chasse est ensuite dérivée des effectifs de cerfs dénombrés dans les parcelles d'échantillonnage avec une précision estimée de ± 20 %. Cette densité moyenne est prise en compte dans la mise en œuvre des plans de gestion, en particulier dans le contingentement des permis de chasse délivrés annuellement.

Dans le contexte du présent projet, nous avons bénéficié de la collaboration du MRNF pour l'obtention de documents de compilation d'inventaires sur les différentes zones de chasse de la Montérégie. Ces données se présentent sous deux formes principales :

- Des cartes topographiques papier au 1:50 000 sur lesquelles sont reportés de manière manuscrite à la fois les parcelles forestières à survoler et les comptages effectués lors des survols;
- Des tables au format *dbase* comprenant le numéro de la parcelle et le nombre de cerfs recensés.

Nous avons effectué un test pour savoir si ces données pouvaient être utilisées pour définir des densités de cerfs qui soient adaptées à notre problématique et à son échelle spatiotemporelle. Pour ce faire, nous avons numérisé les cartes topographiques pour ensuite vectoriser les parcelles d'échantillonnage auxquelles nous avons affecté le nombre de cerfs recensés. Nous avons ainsi couvert les zones 8S, 5E, 5O et 6N (dans la partie montérégienne).

À l'issue de ce test, il nous est apparu peu approprié d'utiliser cette source de données pour notre projet, et ce, pour les raisons suivantes :

- D'abord, du fait de la période d'inventaire, le portrait des densités de population de cerfs est essentiellement hivernal. Ayant établi 1) que le risque de CVC est prépondérant en automne et 2) que les cerfs délaissent les ravages aux saisons de croissance végétale, nous obtenons un état de la densité déphasé par rapport à la problématique.
- L'inventaire est, comme sa méthode l'indique, parcellaire. Une méthode adaptée à sa vocation consisterait à permettre une estimation de la densité de cervidés sur de larges territoires (zones de chasse) pouvant couvrir plusieurs milliers de kilomètres carrés. Notre réserve est liée au fait que cet échantillonnage nous semble trop fragmentaire pour une extrapolation de densités fiables à une échelle plus localisée. De même, certains boisés ne sont pas échantillonnés, et la totalité de la zone non boisée est exclue de ces inventaires.
- Les inventaires aériens datent, dans certains cas, de plusieurs années. Pour les zones 5E, 5O, 6N, 8E et 8N, cela ne constitue pas véritablement un problème puisqu'ils ont été réalisés entre 2003 et 2007, ce qui correspond à la période couverte par notre étude. Par contre, le dernier inventaire de la zone 8S date de 1997. Or, depuis, le territoire a pu être modifié et les densités peuvent avoir été altérées par la succession des années de prélèvement. En outre, et c'est le cas de l'ensemble des zones de chasse frontalières, une partie du cheptel hiverne dans les espaces boisés chevauchant le Québec et la frontière américaine, faussant ainsi les résultats des campagnes d'inventaire (MRNF, *Plan de gestion du cerf de Virginie 2002-2008 de la zone 8-sud*).
- Enfin, la densité (nombre et espacement des intervalles) des parcelles forestières échantillonnées est variable selon la zone de chasse, rendant délicates les comparaisons entre secteurs appartenant à différentes zones de chasse.

5.1.1.2 La clé d'évaluation du potentiel d'habitat du cerf de Virginie

Nous nous sommes par ailleurs intéressés à la clé d'évaluation du potentiel d'habitat du cerf de Virginie pour la question des densités de cerfs. Dans cette démarche, les peuplements forestiers contenus dans la couche d'information du Système d'information écoforestière (SIEF) sont classés en catégories d'habitats ayant une importance particulière pour l'espèce considérée. Dans le cas du cerf de Virginie, cette clé sert à regrouper les peuplements selon l'utilisation faite par le cerf lorsqu'il séjourne dans les ravages hivernaux (MEF, 1998), à savoir en tant qu'« abris et/ou nourriture », faute de quoi le peuplement est classé comme « peu utilisé ».

À l'instar des inventaires aériens, cette méthode fournit une information sur la densité potentielle du cerf pendant l'hiver, ce qui pose de nouveau le problème évoqué précédemment. Néanmoins, nous avons voulu tester cette source de données en la confrontant aux données de CVC.

Selon le même principe que celui des tests effectués sur les zones de confinement (cf. partie 2.3.3), nous avons réalisé des zones tampons de 100 mètres de largeur autour de deux regroupements de peuplements forestiers : le premier correspondant aux peuplements désignés comme servant d' « abri et/ou nourriture », le second

correspondant aux peuplements « peu utilisés ». Dans le premier cas, nous obtenons 292 kilomètres de réseau routier et 362 CVC hivernaux, soit un ratio de 1,24 CVC/km. Dans le second cas, nous obtenons 414 kilomètres de réseau routier et 497 CVC hivernaux, soit un ratio de 1,20 CVC/km. Nous avons refait le calcul pour les CVC estivaux et obtenu, pour la catégorie « abri et/ou nourriture », 248 CVC estivaux, soit un ratio de 0,85 CVC/km, puis pour la catégorie « peu utilisés », 495 CVC estivaux, soit un ratio de 1,20 CVC/km.

Au vu de ces résultats non concluants, cette source de données ne nous paraît pas constituer une information pertinente pour la Montérégie. Aussi, comme pour les données d'inventaire, nous avons décidé de ne pas la prendre en compte dans l'élaboration d'un indicateur de densité de l'espèce.

5.1.1.3 Les données de prélèvements liées à la récolte sportive

Notre attention s'est portée également sur les données de prélèvements liées à la récolte de cerf. Ces données sont issues des enregistrements obligatoires de gros gibier (y compris du cerf) dans lesquels sont compilés les lieux où les animaux ont été abattus. À notre demande, le MRNF nous a transmis une série de tables Excel contenant les coordonnées en latitude, longitude des lieux de prélèvements du cerf de Virginie entre 2003 et 2007. Parmi les attributs de ces tables, figurent également des détails tels que le sexe et l'âge de l'animal.

Ces données nous semblent d'autant plus intéressantes qu'elles portent sur des prélèvements automnaux (durant les périodes de chasse). Or, c'est précisément la saison pendant laquelle on enregistre le plus grand nombre de CVC.

On retrouve dans la littérature des études ayant pris en compte ces prélèvements pour estimer la densité du cheptel. De même, selon Daigle et Crépeau (2003), la récolte de mâles adultes durant la saison de chasse avec armes à feu est directement reliée à l'abondance des populations de cerfs. Aussi, nous a-t-il paru judicieux d'utiliser cette source de données pour réaliser nos travaux. Cependant, il nous a semblé qu'on ne pouvait pas faire de corrélation absolue entre cette donnée prise séparément et la densité de cerfs. La densité de prélèvement est la résultante de la combinaison 1) de la présence de cerfs, 2) de celle de chasseurs et 3) de la démarche d'enregistrement du gibier. Par conséquent, lorsqu'on se retrouve dans une zone ou à proximité d'une zone soumise à une réglementation ou à un contexte particulier (ex. : parc national, zone périurbaine, réserve indienne, etc.), le nombre de cerfs disponibles n'est pas l'élément révélateur déterminant de l'importance du prélèvement. Ce constat sera confirmé par un certain nombre de cas concrets que nous évoquerons plus loin.

Pour relier cette information aux deux groupes de sites (accidentogènes et témoins), nous avons généré une zone tampon de 2,5 kilomètres autour de chacun des sites. Le choix des dimensions de ces zones tampons répond à une approche volontairement globale utilisant un système d'emboîtement et de complémentarité d'échelles intermédiaires et locales qui seront développées ultérieurement. Nous avons ensuite calculé le nombre de cerfs abattus dans ces périmètres, puis nous avons obtenu la densité de prélèvements en rapportant le nombre de cerfs abattus à la superficie des zones tampons.

Les résultats sont les suivants :

- pour le groupe des 81 sites accidentogènes, on obtient 21 432 cerfs abattus entre 2003 et 2007 sur 2 200 km^2, soit une densité de **9,75 cerfs/km^2**. La densité moyenne de prélèvement est de 9,53 cerfs/km^2, le minimum est de 0,4 et le maximum de 29,5.

- pour le groupe des 80 sites témoins, on obtient 7 151 cerfs abattus entre 2003 et 2007 sur 2 210 km^2, soit une densité de **3,2 cerfs/km^2**. La densité moyenne de prélèvement est de 3,23 cerfs/km^2, le minimum est de 0,07 et le maximum de 18,7.

Ces résultats nous permettent de faire les constats suivants : tout d'abord, on voit bien que les densités de prélèvements associées aux sites accidentogènes sont globalement plus élevées que celles associées aux sites témoins. De même, si l'on compare ces densités à la densité régionale moyenne des prélèvements qui est de 5 cerfs/km^2, on constate que seulement 23 sites accidentogènes sur 81 ont un taux inférieur, alors que dans les 80 sites témoins, on en compte 65.

Cela étant, nous avons calculé le coefficient de corrélation (r) entre la densité de prélèvement au kilomètre carré et le nombre de CVC/km pour l'ensemble des sites à l'étude. Rappelons que ce coefficient donne une idée de l'ampleur du lien entre deux variables quantitatives. Plus la valeur de r se rapproche de ±1, plus la relation linéaire (positive ou négative) est forte, et plus la valeur de r est voisine de 0, plus la relation linéaire est faible. Pour ces deux variables, r = 0,55, ce qui rend la relation linéaire faible à modérée. Cela démontre qu'en dépit d'un lien de causalité générale évident entre ces deux composantes, on retrouve une portion non négligeable de cas qui ne sont pas expliqués par ce lien, lien parfois inexistant, parfois même inverse (ce qui, sous l'angle de la linéarité positive de la relation, vient considérablement affaiblir celle-ci).

Ainsi, certains sites accidentogènes ont un taux de prélèvement particulièrement faible et, comme on va le voir, cela provient du fait de leur proximité à des contextes particuliers. C'est le cas, par exemple, du site accidentogène 33, qui enregistre le plus faible taux de prélèvements (0,4 cerfs/km^2). Or, ce site est accolé à la réserve indienne de Kahnawake. Si l'on se réfère au nombre de prélèvements dans la réserve depuis cinq ans, on s'aperçoit que seuls cinq cerfs abattus ont été enregistrés. Or, ce territoire qui recèle des espaces forestiers particulièrement préservés par rapport aux municipalités environnantes, et plus généralement à la couronne sud de Montréal, possède à notre sens les caractéristiques requises pour abriter un cheptel important. On comprend bien que dans ce cas, c'est d'abord une question d'enregistrement qui vient influencer la valeur déclarée des densités de prélèvement dans le secteur.

Le site accidentogène 54 enregistre une densité de 1 cerf/km^2. Ce site est localisé à l'intérieur d'une bande de terre d'à peine 2 kilomètres de largeur située entre le fleuve Saint-Laurent et la rivière Richelieu. De part et d'autre de ce site, on retrouve un terrain de golf (club de golf Sorel-Tracy, Les Dunes) et un parc industriel de stockage d'hydrocarbures. De plus, l'autoroute vient diviser cette bande en deux. Malgré un couvert forestier conséquent susceptible d'abriter une densité importante de cerfs, on s'imagine bien que ce secteur ne représente pas un site propice à la chasse.

Le site accidentogène 40 enregistre une densité de 5,1 cerfs/km^2, densité qui dans un secteur forestier comme celui du piémont appalachien peut être qualifiée de faible. Or, ce site est localisé en bordure sud du parc national de la Yamaska, où la chasse est interdite.

Les sites accidentogènes 63 (1,16 cerf/km^2) et 64 (3,1 cerfs/km^2) doivent quant à eux être considérés de manière particulière. En effet, cette densité faible a pour cause essentielle l'absence de données de prélèvement pour la zone de chasse 7N (information non collectée dans le cadre du présent projet). Or, ces sites sont exactement positionnés à la limite de cette zone de chasse.

À l'inverse, certains sites témoins (non accidentogènes) ont une densité de prélèvements élevée. C'est le cas, par exemple, du site témoin 45, avec 18,7 cerfs/km^2, du site témoin 77, avec 17,6 cerfs/km^2, ou encore du site 47, avec 13.3 cerfs/km^2. En fait, il est intéressant de relever ces paradoxes apparents parce qu'ils soulignent un des éléments fondamentaux de la problématique du risque de CVC, à savoir que, si l'aléa-cerf est bien présent, ce qui se traduit par l'indicateur dérivé qu'est la densité de prélèvements, on constate que, localement, ces sites sont caractérisés par un DJMA faible à très faible (respectivement 455, 500, 1 310 véhicules/jour). Cela induit une vulnérabilité (exposition au risque) très faible qui vient pondérer fortement le risque de CVC.

En résumé, nous pensons que, pris isolément, l'indicateur de la densité de prélèvements peut conduire à une estimation biaisée des densités de cheptel et, par conséquent, à une estimation faussée du risque de CVC. Cependant, en raison du lien étroit mis en évidence entre cet indicateur et les sites accidentogènes, nous estimons qu'il demeure un outil très intéressant à condition qu'il soit combiné à d'autres indicateurs.

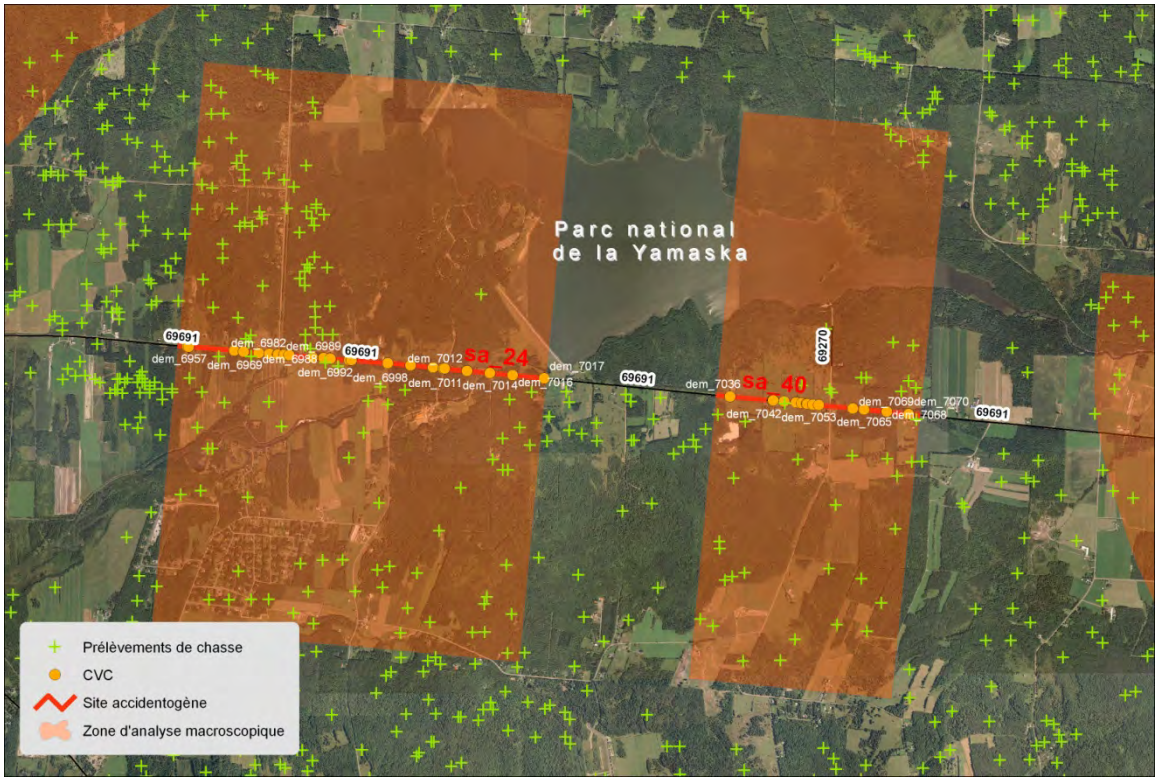


Figure 12 : Influence locale du parc national de la Yamaska sur les prélèvements de chasse

5.1.2 L'indice forestier

Considérant les limites inhérentes à l'utilisation de la seule densité de prélèvements, ainsi que la relation forte existant entre la densité de cerfs et le couvert forestier, nous avons développé un indice basé précisément sur le couvert forestier ayant pour but d'évaluer de manière indirecte les densités de cerfs.

Même si, dans sa conception, cette approche se veut simple, il n'en reste pas moins qu'elle s'appuie sur un concept étoffé et largement développé dans la littérature écologique de *modélisation de l'habitat*, un concept fondé sur la détermination de liens de causalité entre le milieu biophysique et sa propension à supporter la présence de telle ou telle espèce végétale ou animale. Dans notre cas, nous fondons notre démarche sur l'hypothèse d'un lien entre la structure forestière (densité et connectivité) et la densité du cheptel. En outre, cet indice se veut plus neutre ou indépendant des contextes locaux particuliers qui affectent la densité de prélèvements. De plus, cet indicateur est aisé à mettre en œuvre alors que l'indicateur de densités de prélèvements nécessite de disposer de données de chasse exhaustives et à jour.

Pour réaliser cet indice forestier, nous nous sommes inspirés d'un procédé couramment utilisé, basé sur l'utilisation d'un **filtrage de convolution** (Dufrêne, 2003; Lauga et coll., 1996). Pour ce faire, nous avons tout d'abord utilisé la couche forestière de CanVec couvrant la région que nous avons croisée avec une couche polygonale de carroyage kilométrique (1 carré = 1 km^2). La couche résultante permet d'obtenir la densité de forêt au kilomètre carré pour chacun des carreaux. Nous avons ensuite rastérisé cette couche, de sorte que la valeur de chaque pixel (1 km^2) de la matrice résultante correspond à la densité de forêt (ex. : valeur du pixel de 45 = 45 % de couvert forestier sur le territoire équivalent au pixel).

En ce qui concerne le type de filtre, nous avons opté pour un filtre moyen qui consiste à remplacer la valeur de chacun des pixels de la matrice par la moyenne des valeurs des pixels voisins. Le nombre de pixels voisins considéré dépend de la taille du masque de convolution. Pour notre part, nous avons choisi d'utiliser un masque de convolution de 5 x 5 pixels (5 x 5 pixels de 1 km^2 = 25 km^2) avec un poids identique. Ainsi pour chaque pixel *P* de la matrice, on effectue la convolution entre le masque de convolution et la matrice de sorte que lorsque le masque est centré sur *P*, on remplace la valeur de *P* par la moyenne des valeurs des 24 pixels voisins (figure 13). P1 est alors égal à (P1+ P2 + … + P25)/25. Dans ce cas, une valeur de pixel égale à 45 revient à dire qu'on retrouve 45 % de couvert forestier dans les 25 km^2 autour du pixel central.

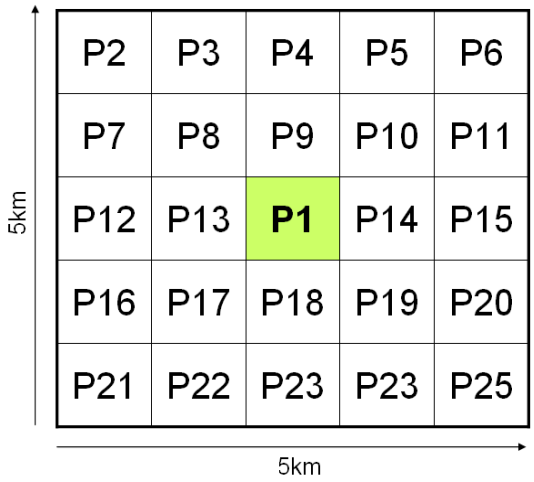


Figure 13 : La grille du filtre de convolution moyen 5 x 5

La dimension du masque de convolution, autant que le poids des pixels voisins de ce masque, a pour objectifs (à l'échelle macroscopique qui nous intéresse) de nous renseigner sur le contexte forestier général de chacun des sites et de permettre de les catégoriser selon leur position dans le contexte forestier général. Autrement dit, l'intérêt de cet indice forestier est de fournir à la fois une information sur la densité du couvert forestier de chacun des sites, mais aussi sur leur connectivité avec le milieu forestier voisin. Bien que les deux matrices (densité forestière de départ et indice forestier résultant) soient fortement corrélées (r = 0,82), on constatera que l'indice forestier apporte une lecture tout à fait intéressante dans le contexte de nos objectifs.

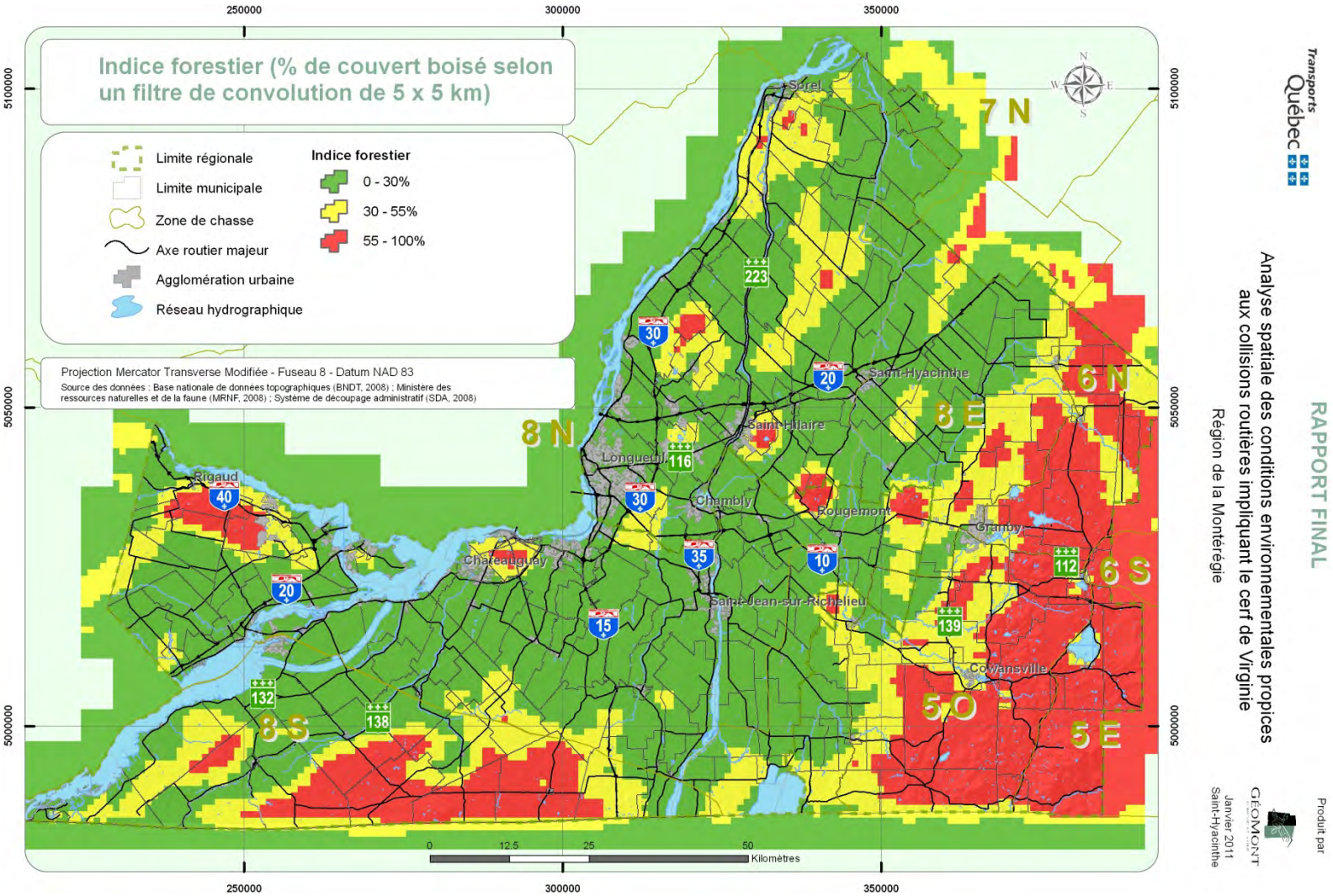


Figure 14 : Indice forestier (pourcentage de couvert forestier selon un filtre de convolution moyen de 5 x 5 km)

Ainsi, par l'intermédiaire de cet indice, nous sommes capables de faire la différence entre deux sites qui, à l'échelle locale, possèdent une densité forestière comparable, mais qui, à une échelle plus globale, ne sont pas du tout dans le même environnement. Par exemple, si on compare le site accidentogène 70 au site témoin 34, on constate qu'à l'échelle locale (observation des valeurs de densité forestière contenues dans la matrice avant convolution), les deux sites ont une densité de couvert identique (36 % de couvert forestier moyen) alors qu'à une échelle plus globale, le premier se retrouve dans un vaste complexe agroforestier, alors que le second est situé dans un espace essentiellement occupé par des zones urbaines et agricoles. Cela se traduit par une valeur de l'indice forestier très différente (49 % pour le site accidentogène contre seulement 19 % pour le site témoin).

Nous avons d'abord croisé l'ensemble des CVC à l'étude (2003-2007) avec la matrice d'indice forestier. Pour simplifier la lecture des résultats, nous avons réalisé une classification basée sur l'écart-type de l'indice forestier. Nous avons obtenu les résultats suivants :

- Classe 0-30 [indice forestier très faible à faible = -2 et -1 écart-type] : 2 255 CVC (45 %) pour 2 896 km de réseau (70 %), soit 0,78 CVC/km
- Classe 30-55 [indice forestier moyen = +1 écart-type] : 1 443 CVC (29 %) pour 773 km de réseau (18 %), soit 1,87 CVC/km
- Classe 55-100 [indice forestier élevé à très élevé = +2 et +3 écart-type] : 1 331 CVC (26 %) pour 511 km de réseau (12 %) soit 2,60 CVC/km

Ces chiffres font clairement apparaître un lien entre l'indice forestier et le ratio CVC/km puisqu'on obtient une augmentation graduelle, mais marquée du ratio CVC/km au fur et à mesure que l'indice forestier augmente. Cependant, si on affine la classification réalisée plus haut et qu'on isole les CVC compris dans la classe 79-100 [indice forestier très élevé = +3 écart-type], on s'aperçoit que le ratio CVC/km fléchit : 115 CVC (2,3 %) pour 61 km de réseau (1,5 %) soit 1,87 CVC/km. Nous pouvons attribuer ce fléchissement à trois éléments combinés :

- D'abord, une relation inversement proportionnelle du DJMA avec l'indice forestier (figure 15);
- Ensuite, l'hypothèse que les cerfs ont tendance à éviter les secteurs de forêts intérieures « profondes » pour privilégier les zones forestières situées à proximité des lisières;
- Enfin, en lien avec l'hypothèse précédente, une corrélation étroite entre l'indice forestier et l'altitude. Lorsqu'on croise les classes d'indice forestier avec un modèle numérique de terrain (MNT), on remarque que la classe d'indice forestier très élevé se superpose aux secteurs les plus élevés de la région (ex. : étages supérieurs du mont Saint-Hilaire et du mont Rigaud, zones de contrefort des Appalaches et des Adirondacks, etc.). Or, nous savons que les cerfs ne recherchent pas ce type de milieu au climat plus rigoureux, caractérisé par des dénivellations importantes accentuant l'effort de déplacement (Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2006).

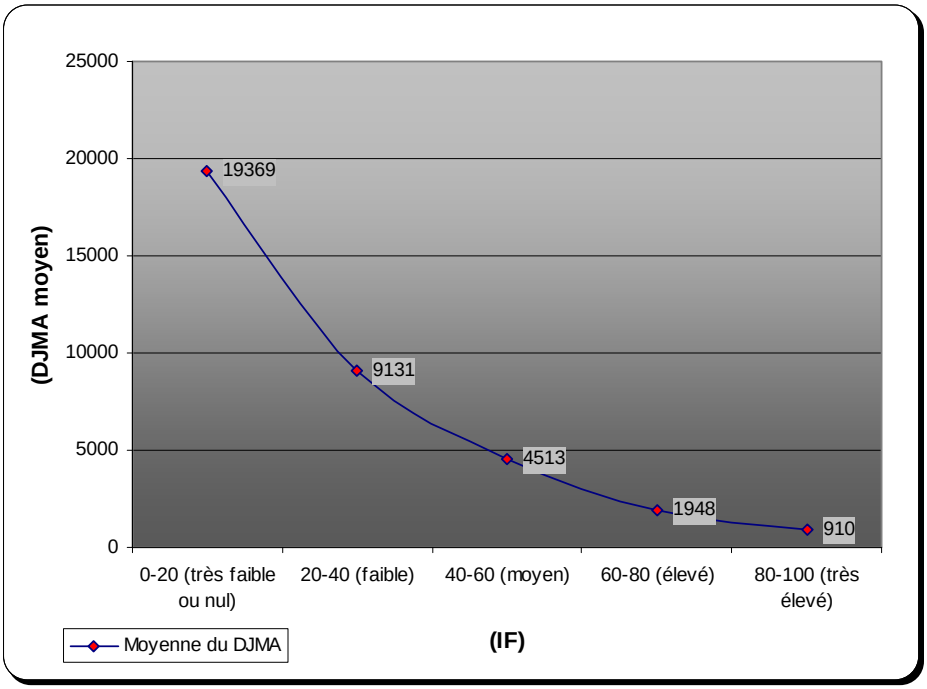


Figure 15 : Relation inverse de l'indice forestier avec le DJMA

Nous avons ensuite affecté aux sites accidentogènes et sites témoins la valeur du pixel (si le site est entièrement inclus dans un pixel) ou la moyenne des valeurs des pixels (si le site chevauche deux pixels ou plus) de la matrice d'indice forestier. Nous avons obtenu les résultats suivants :

- Pour le groupe des 81 sites accidentogènes, on obtient une moyenne d'indice forestier de 46,8, un minimum de 9,4 et un maximum de 85,8. Vingt-et-un sites ont un indice forestier faible, 29 ont un indice moyen et 31 un indice élevé ou très élevé.
- Pour le groupe des 80 sites témoins, on obtient une moyenne d'indice forestier de 18,3, un minimum de 0,5 et un maximum de 75,3. Soixante-quatre sites ont un indice forestier faible, 11 ont un indice moyen et 5 un indice élevé ou très élevé.

On remarquera que les indices forestiers associés aux sites accidentogènes sont dans l'ensemble plus élevés que ceux associés aux sites témoins.

Nous avons calculé le coefficient de corrélation (r) entre l'indice forestier et le ratio CVC/km pour l'ensemble des sites à l'étude. Pour ces deux variables, le coefficient r = 0,61, est un peu plus élevé que celui calculé entre la densité de prélèvements et le ratio CVC/km. Toutefois, ce coefficient renvoie à une relation linéaire faible à modérée. Cela démontre encore une fois qu'en dépit d'un lien de causalité générale évident entre ces deux composantes, on retrouve plusieurs cas non expliqués par ce lien.

Ainsi, certains sites accidentogènes ont un indice forestier particulièrement faible. C'est le cas, par exemple, du site accidentogène 25 qui enregistre un indice de 9,4, ou encore du site 79 qui enregistre un indice de 10,9. À l'inverse, les sites témoins 25, 61 et 54 enregistrent des indices forestiers élevés (respectivement 75,3, 74,7 et 66,8). Ces

différents cas illustrent le fait que la compréhension du risque de CVC ne peut se faire sur la seule base de l'indice forestier et qu'à l'instar de l'indice de prélèvements, il est nécessaire de recourir à des échelles plus précises pour appréhender le phénomène.

Par exemple, dans le cas des deux sites accidentogènes cités précédemment, on constate qu'ils sont caractérisés par un DJMA important (respectivement 14 600 et 13 500 véhicules/jour) qui induit une vulnérabilité (exposition au risque) élevée pouvant expliquer l'importance du ratio CVC/km. Pour les sites témoins, on observe que, dans les deux premiers cas, le DJMA est très faible (respectivement 230 et 570 véhicules/jour), ce qui s'inscrit dans la logique précédente. Par contre, le site témoin 54 enregistre un DJMA de 7 300. On voit bien, dans ce cas, que le DJMA ne saurait être systématiquement l'élément explicatif *in fine* du ratio CVC/km. Si intéressants que soient les éléments exposés plus haut, nous verrons, dans les parties suivantes, que le risque de CVC se détermine également à travers des observations à des échelles spatiales plus fines, en particulier en ce qui concerne la mise en évidence de variables relatives à la vulnérabilité.

5.2 Échelle intermédiaire

Nous avons vu que l'échelle macroscopique était adaptée à la détermination d'indicateurs de densité du cerf. Ces indicateurs (densité du prélèvement + indice forestier) nous renseignent principalement sur l'aléa-cerf. Cependant, nous avons constaté que la prise en compte unique de ces indicateurs ne suffit pas à expliquer le risque de CVC. Par exemple, nous avons observé que le DJMA apparaissait comme un facteur prépondérant de l'exposition au risque. Une deuxième échelle d'analyse nous permettra en particulier d'approfondir son incidence. On verra cependant que le débit de circulation n'est pas le seul facteur dont on peut tenir compte en ce qui concerne l'estimation de la vulnérabilité. De même, nous mettrons en évidence des composantes environnementales favorisant l'irruption du cerf sur le réseau routier.

5.2.1 Les variables étudiées

Sur la base des éléments et constats qui ont pu émerger jusqu'à présent, nous nous sommes efforcés de faire ressortir différentes composantes du milieu influençant nos deux groupes de sites. Pour ce faire, nous avons, dans un premier temps, créé une zone tampon large de 1 kilomètre (500 mètres de part et d'autre du réseau routier) autour de chacun des sites accidentogènes et sites témoins; cette zone tampon constitue notre échelle d'observation.

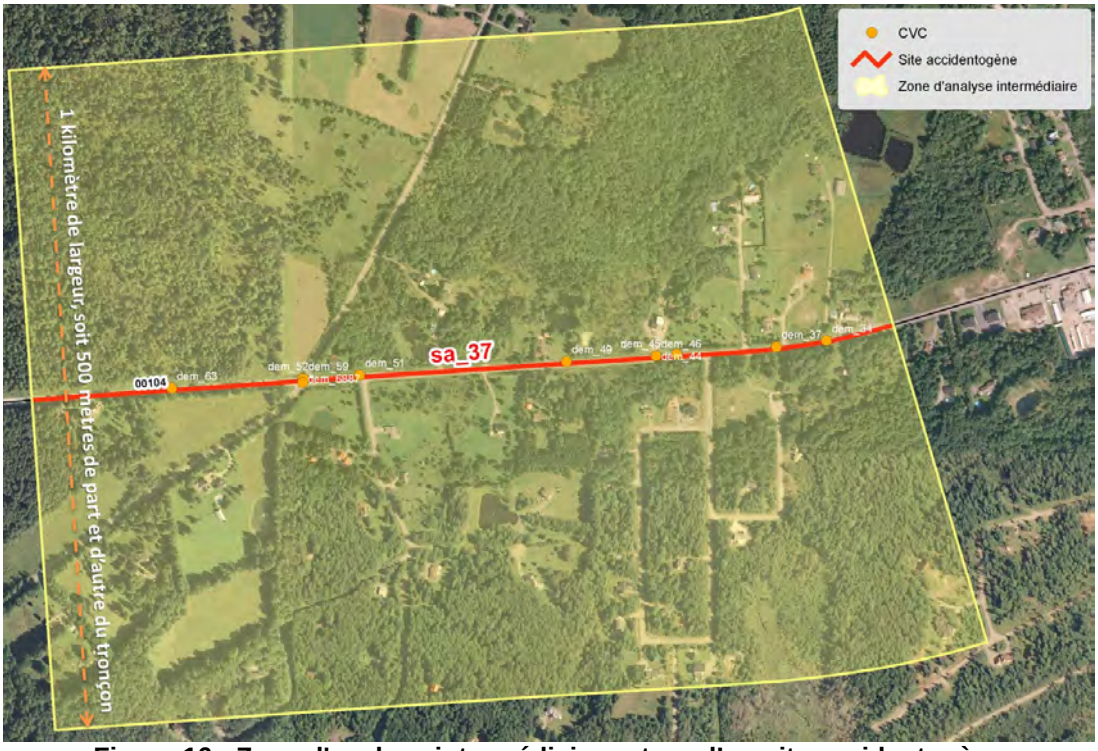


Figure 16 : Zone d'analyse intermédiaire autour d'un site accidentogène

En plus d'analyser le débit journalier moyen (ou de la moyenne des DJMA lorsque le site chevauche deux comptages différents) et la vitesse limite affichée (la vitesse la plus représentée si deux limites de vitesse différentes concernent le même site), nous avons réalisé un travail de photo-interprétation[1] afin de déterminer des indicateurs du milieu sous deux angles d'analyse complémentaires :

- la propension du territoire à constituer un abri et à favoriser l'occurrence de la traversée de la route par les cerfs;

  croisée à

- l'emprise humaine sur le territoire et sur le réseau routier.

Dans cette perspective, les variables suivantes ont été retenues :

a) Le milieu paysager dominant : selon les résultats de la photo-interprétation, la zone tampon englobant le site sera classée :

- Agricole : la zone observée est occupée majoritairement par des cultures agricoles;
- Urbain : la zone observée est occupée majoritairement par des espaces urbains;
- Agroforestier : la zone observée est occupée majoritairement par une mosaïque de zones de cultures agricoles et de zones boisées;

[1]Photographies utilisées : photos aériennes 2009 de la Montérégie et 2007 de la Communauté métropolitaine de Montréal.

- Agroforestier à dominante agricole : la zone observée est occupée majoritairement par une mosaïque de zones de cultures agricoles et de zones boisées avec une prédominance des zones agricoles;
- Agroforestier à dominante forestière : la zone observée est occupée majoritairement par une mosaïque de zones de cultures agricoles et de zones boisées avec une prédominance des zones boisées;
- Forestier : la zone observée est occupée majoritairement par de la forêt.

Figure 17 : Photo-interprétation de l'occupation du sol dans le contexte de la détermination du milieu paysager dominant

b) L'emprise humaine : selon les résultats de la photo-interprétation, la zone tampon englobant le site sera classée :

- Habitat épars : la zone observée est occupée par des zones de bâti ponctuel;
- Périphérie urbaine : la zone observée est située à proximité ou à la sortie d'une zone urbaine;
- Périphérie de village : la zone observée est située à proximité ou à la sortie d'un village;
- Habitat absent : la zone observée ne contient pas de zone de bâti apparente;
- Urbain : la zone observée se trouve principalement dans une zone urbaine.

c) Le patron forestier : selon les résultats de la photo-interprétation, la zone tampon englobant le site sera classée :

- Boisé isolé : la zone observée est occupée par des boisés isolés et de faible dimension (en général moins de 10 hectares);
- Massif forestier fragmenté : la zone observée est occupée par des massifs forestiers (en général, quelques dizaines d'hectares) fragmentés par les activités humaines et apparemment déconnectés des massifs forestiers situés aux alentours;
- Continuum forestier : la zone observée est occupée par des massifs forestiers (en général, plusieurs dizaines à quelques centaines d'hectares) peu fragmentés et apparemment connectés à des massifs forestiers situés aux alentours;
- Sans boisé : la zone observée est apparemment exempte de zones boisées ou possède un couvert boisé résiduel.

d) La connectivité forestière bilatérale: selon les résultats de la photo-interprétation, la zone tampon englobant le site sera classée :

- Connectivité bilatérale faible (CBF) : une proportion nulle ou faible des abords du tronçon de route considéré est occupée par un couvert forestier <u>et</u> la distance entre les boisés de part et d'autre du tronçon est importante (plusieurs centaines de mètres à plus d'un kilomètre);
- Connectivité bilatérale moyenne (CBM) : une proportion moyenne des abords du tronçon de route considéré est occupée par un couvert forestier <u>et</u> la distance entre les boisés de part et d'autre du tronçon est moyenne (quelques dizaines à une centaine de mètres);
- Connectivité bilatérale élevée (CBE) : une large proportion des abords du tronçon de route considéré est occupée par un couvert forestier <u>et</u> la distance entre les boisés de part et d'autre du tronçon est faible (quelques dizaines de mètres).

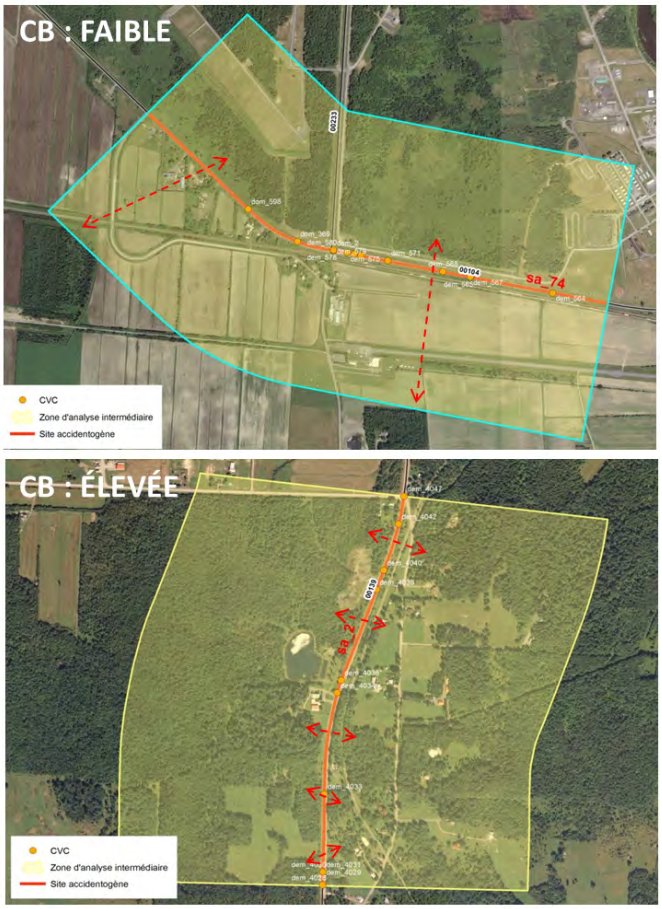


Figure 18 : Illustration de la notion de connectivité forestière bilatérale

Le tableau suivant fait la synthèse des variables répertoriées, des classes et des codes utilisés lors du processus de photo-interprétation :

Tableau 7 : Récapitulatif des variables utilisées à l'échelle intermédiaire

Milieu paysager dominant	Code	Emprise humaine	Code	Patron forestier	Code	Connectivité	Code
Agricole	AGR	Habitat épars	HE	Boisé isolé	BI	Connectivité bilatérale élevée	CBE
Urbain	URB	Périphérie urbaine	PU	Massif forestier fragmenté	MFF	Connectivité bilatérale moyenne	CBM
Agroforestier	AF	Périphérie de village	PV	Continuum forestier	CF	Connectivité bilatérale faible	CBF
Agroforestier à dominante agricole	AFA	Habitat absent	HA	Sans boisé	SB		
Agroforestier à dominante forestière	AFF	Urbain	UR				
Forestier	FF						

5.2.2 Interprétation des résultats

5.2.3.1 Observations générales

La compilation des résultats représentés sous forme graphique (annexe 3) permet d'emblée d'établir un certain nombre de constats.

En ce qui concerne le milieu paysager dominant (graphe 1) :

- En milieu urbain, on note une faible représentativité des deux groupes;
- En milieu agricole, on retrouve plus de la moitié des sites témoins (53,8 %) contre seulement 2,5 % des sites accidentogènes, confirmant l'idée que le milieu agricole n'est pas propice à la concentration de CVC;
- En milieu agroforestier (toutes classes confondues AF, AFA, AFF), se retrouvent les trois quarts des sites accidentogènes contre 40 % des sites témoins. On voit aussi que l'écart de représentation des deux groupes de sites s'accentue au fur et à mesure qu'on se déplace vers les classes forestières;
- Ainsi, en milieu forestier, on retrouve seulement 1,3 % des sites témoins contre 17,3 % des sites accidentogènes.

En ce qui concerne l'emprise humaine (graphe 2) :

- La lecture du graphique nous offre peu d'enseignements en dehors du fait qu'on observe une forte représentation de l'habitat épars dans les deux groupes de sites, ce qui nous semble logique, compte tenu de l'environnement dominant des tronçons routiers du réseau supérieur;
- On peut cependant noter que près de 50 % des sites accidentogènes sont localisés dans des milieux à forte emprise humaine.

En ce qui concerne le patron forestier (graphe 3) :

- On remarque l'absence de sites accidentogènes en secteur non boisé et seulement 3,7 % en secteur à boisé isolé contre près de 55 % des sites témoins. On peut extrapoler et déduire que l'absence de boisé équivaut presque systématiquement à l'absence de zones de concentration de CVC;
- L'écart entre les deux groupes, bien que notable, est cependant plus modeste du côté des massifs forestiers fragmentés;
- 77,5 % des sites témoins sont inclus dans les classes de boisés isolés et de massifs forestiers fragmentés;
- 96 % des sites accidentogènes sont inclus dans les classes de massifs forestiers fragmentés et de continuums forestiers;
- On peut noter que les continuums forestiers concentrent près d'un site accidentogène sur deux (47 %) alors qu'ils n'incluent que moins d'un site témoin sur 10 (7,5 %).

En ce qui concerne la connectivité forestière bilatérale (graphe 4) :

- On remarque que 80 % des sites témoins sont inclus dans la classe de connectivité faible contre seulement 26 % des sites accidentogènes;
- À l'inverse, la classe de connectivité élevée inclut 41 % des sites accidentogènes contre seulement 7,5 % des sites témoins;
- Près de 75 % des sites accidentogènes sont inclus dans les classes de connectivités moyennes et élevées contre seulement 20 % des sites témoins.

En ce qui concerne le débit journalier moyen annuel de véhicules (DJMA) (graphe 5) :

- Les classes de DJMA inférieur à 2 500 véhicules/jour regroupent près de 50 % des sites témoins contre seulement 15 % des sites accidentogènes;
- À l'inverse, près de 60 % des sites accidentogènes sont regroupés dans des classes de DJMA supérieures à 5 000 véhicules/jour contre à peine 30 % des sites témoins. Cette dernière observation illustre à nouveau l'influence avérée du DJMA sur la formation de zones de concentration de CVC.

En ce qui concerne les limites de vitesse (graphe 6) :

- La très faible représentation des sites accidentogènes en zone de vitesse affichée 50 km/h s'explique aisément par le fait que cette classe de vitesse caractérise le milieu urbain, un milieu peu propice à la concentration de CVC;
- À l'inverse, les classes 90 et 100 km/h regroupent près de 83 % des sites accidentogènes, alors que ces classes de vitesse touchent seulement 58 % du réseau supérieur;
- Les sites accidentogènes (23,5 %) et témoins (16,3 %) retrouvés dans la classe 100 km/h sont évidemment des sites autoroutiers.

En ce qui concerne la classification fonctionnelle (graphe 7) :

- En proportion de l'importance des routes collectrices sur le réseau supérieur (25 %), on note la très faible représentation des sites accidentogènes sur cette classe de routes. Cela s'explique à la fois par le lien structurel entre le DJMA et la classification fonctionnelle (plus le DJMA est important plus la classification sera de niveau élevé) et par le fait que le DJMA est un facteur déterminant dans la formation de zones de concentration de CVC;
- À l'inverse, en proportion de l'importance des autoroutes sur le réseau supérieur (19 %), on note une forte représentation des sites accidentogènes sur cette classe de routes.

5.2.2.2 Analyse des correspondances multiples (ACM)

Pour affiner l'analyse des variables de l'échelle intermédiaire, nous avons réalisé une analyse des correspondances multiples (ACM), méthode inductive courante, utilisée comme outil exploratoire pour mettre à jour les régularités empiriques fondamentales d'un ensemble de données. Une ACM est l'équivalent d'une ACP sur le tableau disjonctif complet des variables qualitatives.

Partant d'un tableau de n observations sur p variables, décrivant un nuage de points p-dimensionnel (si p<n), l'analyse factorielle va déterminer les k premiers axes d'un système d'axes orthogonaux résumant le plus de la variance du nuage (F-X Micheloud, 1997). L'agencement des données ainsi représenté a pour vocation d'être interprété intuitivement afin de mettre en évidence des liaisons entre variables et entre observations et variables (corrélations ou répulsions).

En fichier annexe (Annexe_ACM.xls), on peut trouver les principaux éléments constitutifs de l'ACM réalisée avec l'extension Xlstat 7.5 fonctionnant sous le logiciel Excel. Les analyses présentées plus loin feront fréquemment référence à cette annexe Excel.

Il faut noter que le vocabulaire de l'ACM utilise les termes de *modalités* et d'*individus*. Les modalités représentent l'ensemble des classes des variables qualitatives sélectionnées (ex. : pour la variable « milieu paysager dominant », on a cinq classes, donc cinq modalités), ce qui donne un total de 27 modalités. Les individus correspondent à chacun des sites accidentogènes et sites témoins; on retrouve donc 161 individus.

Il est à signaler, et il s'agit là d'une des options fort intéressantes de l'ACM que nous avons pu ajouter aux variables qualitatives, deux variables quantitatives explicatives, à savoir le ratio de CVC/km ainsi que le DJMA. Ces deux variables supplémentaires sont représentées en rouge dans les graphes de l'ACM.

a) Le choix des axes les plus explicatifs

Lors du processus de génération de l'ACM, une des étapes préliminaires (et fondamentales) consiste à choisir les axes les plus démonstratifs qui absorbent le plus d'inertie possible (exprimée en pourcentage de variance par axe). Plus l'inertie est importante, plus la probabilité est élevée que l'axe mette en évidence des éléments interprétables. Il est cependant important de noter que le pourcentage d'inertie exprimé par les premiers axes d'une ACM est en général très bas par rapport à ceux d'autres analyses factorielles, mais il donne une idée très pessimiste de la part d'inertie décrite : on peut donc l'interpréter sans réserve.

Dans le fichier annexe (ligne 65 de la feuille ACM interm.) figurent les valeurs propres non nulles et le pourcentage de variance (inertie) correspondant. Contrairement à d'autres types d'analyses factorielles (ACP, AFC), les pourcentages n'ont pas d'interprétation statistique sur le plan de la qualité de la représentation. Ce qu'on recherche donc ici, c'est avant tout de dégager les axes qui possèdent le pourcentage d'inertie le plus important.

Dans le cas qui nous intéresse, l'inertie totale est égale au nombre moyen (27/6) de modalités moins une, soit 3,5. Le nombre de valeurs propres non triviales à se « partager » ce résultat est de 22 modalités moins 6 variables = 16. Leur valeur moyenne est de 0,25 (3.5/16). Cinq valeurs se situent au-dessus (axes F1 à F5). Notons que ce n'est pas parce qu'un axe a une valeur propre relativement faible que l'on devra forcement l'écarter dans la mesure où il peut mettre en évidence une opposition subtile dans les données. En définitive, **nous avons retenu les deux premiers axes F1 et F2.** En outre, le tableau des corrélations des variables explicatives (ratio CVC/km et DJMA). avec les axes F1 et F2 montre **une corrélation négative significative entre la variable ratio CVC/km sur l'axe F1 et la variable DJMA sur l'axe F2.**

b) Contribution des modalités

Pour être en mesure de recenser les modalités (donc les classes de variables) qui ont la plus grande contribution à l'inertie expliquée par l'axe (c'est-à-dire la contribution à la création de l'axe), nous nous sommes appuyés sur un groupe d'éléments issus de l'ACM :

- le graphique symétrique des modalités (ligne 125 de la feuille ACM interm.);
- le tableau des coordonnées des modalités dans l'espace factoriel (ligne 93 de la feuille ACM interm.);
- le tableau des contributions des modalités (ligne 181 de la feuille ACM interm.);
- le tableau des valeurs-tests des modalités (ligne 251 de la feuille ACM interm.).

Sur F1, les modalités qui contribuent le plus sont :

- les classes de milieu paysager agricole de types « agroforestier à dominante forestière » et « forestier »;
- les classes de patron forestier de types « sans boisé », « boisé isolé » et « continuum forestier »;
- les classes de connectivité forestière bilatérale faible et élevée;
- les classes de vitesses affichées de 80 et 100 km/h;
- les classes de classification fonctionnelle de types « autoroute » et « collectrice ».
-

Sur F2, les modalités qui contribuent le plus sont :

- les classes de milieu paysager dominant de types « agroforestier » et « urbain » ;
- les classes d'emprise humaine de types « urbain », « périphérie urbaine » et « habitat épars »;
- les classes de patron forestier de types « continuum forestier » et « massif forestier fragmenté »;
- la classe de connectivité forestière bilatérale élevée;
- la classe de vitesse affichée de 100 km/h;
- les classes de classification fonctionnelle de types « autoroute » et « régionale ».

En résumé, les axes F1 et F2 sont particulièrement intéressants, car, d'une part, en association, ils permettent de faire apparaître des répulsions entre certaines modalités et, au contraire, des attractions entre d'autres. D'autre part, ayant à l'esprit la corrélation négative entre ces derniers et les variables explicatives (ratio CVC/km et DJMA), leur analyse permet de mettre en évidence des rapports d'attraction et de répulsion entre modalités et variables explicatives.

c) Le tableau de contingence

En complément de l'énoncé précédent et en préalable à l'interprétation des graphes symétriques issus de l'ACM, nous avons pu faire certaines observations à partir du tableau de contingence (ligne 9 de la feuille ACM interm.). L'utilité de ce tableau est de mettre en valeur des liens entre modalités. Rappelons qu'un tableau de contingence est un tableau croisé des modalités dans lequel on situe l'effectif des individus (les sites accidentogènes) selon deux critères (un en lignes et un en colonnes).

Les constats les plus remarquables sont les suivants :

- Le milieu paysager dominant de type « agroforestier » est associé à un patron forestier de type « massif forestier fragmenté ».
- Le milieu paysager dominant de type « agricole » est associé à un patron forestier de type « boisé isolé » ou « sans boisé », à une connectivité forestière bilatérale faible et à une classification fonctionnelle collectrice.
- Le milieu paysager dominant de type « forestier » est associé à un patron forestier de type « continuum forestier ».
- L'emprise humaine de type « urbain » est associée à une connectivité forestière bilatérale faible.
- Le patron forestier de type « boisé isolé » est associé à une connectivité forestière bilatérale faible et à une limite de vitesse de 90 km/h.
- Le patron forestier de type « continuum forestier » est associé à une connectivité forestière bilatérale élevée.

d) Représentations graphiques et interprétation (voir figure 19)
La représentation graphique du résultat de l'ACM prend la forme de deux nuages de points projetés sur un plan bidimensionnel. Le premier représente les modalités (les classes de variables) et le second, les individus (sites accidentogènes et sites témoins) dans l'espace engendré par les axes d'inertie F1 et F2. Il faut y ajouter les deux variables quantitatives explicatives (ratio CVC/km et DJMA). À l'extrémité de chaque axe, figure le pourcentage d'inertie exprimée par cet axe (ligne 125 de la feuille ACM interm.).

Il est à noter que l'interprétation de ce graphe doit être fondée, non pas sur la seule proximité entre deux points issus d'un même ou des deux nuages de points différents (individus et modalités), mais aussi sur l'angle par rapport à l'origine entre individus, entre modalités ou entre modalités et individus. Pour cela, on peut se baser sur quelques règles simples :

- Si l'angle entre les deux points est aigu (< 90º), les deux points s'attirent;
- Au contraire, si l'angle est obtus (> 90º), les points se repoussent;
- Si l'angle est droit, les points n'interagissent pas.

Parmi les principaux constats possibles, on peut tout d'abord observer qu'en ce qui concerne les variables explicatives, **on voit clairement que le ratio CVC/km est inversement corrélé à l'axe F1 et que le DJMA est inversement corrélé à l'axe F2.**

On peut par ailleurs dégager des modalités qui s'opposent le long de l'axe F1. Du côté droit, on observe un ensemble de **modalités corrélées positivement à F1**, à savoir le milieu paysager dominant de type « agricole », le patron forestier de types « boisé isolé » et « sans boisé », une connectivité bilatérale faible, une classification fonctionnelle de type « collectrice » et les limites de vitesse de 80 km/h et, dans une moindre mesure, de 50 km/h.

Du côté gauche, on constate des modalités **corrélées négativement à F1**, mais qui sont scindées en deux du fait de leur corrélation positive ou négative avec l'axe F2. Ainsi, on retrouve un premier ensemble de modalités corrélées positivement à F2, à savoir le milieu paysager dominant de types « forestier » et « agroforestier à dominante

forestière », un patron forestier de type « continuum forestier », une connectivité bilatérale élevée et une emprise humaine de type « habitat absent ».

On retrouve un second ensemble de modalités corrélées négativement à F2, à savoir une emprise humaine de type « périphérie urbaine », un milieu paysager dominant de type « agroforestier à dominante agricole », un patron forestier de type « massif forestier fragmenté », une classification fonctionnelle de type « autoroute », une limite de vitesse de 100 km/h et, dans une moindre mesure, une connectivité bilatérale moyenne.

Ces deux ensembles sont intéressants parce qu'ils sont tous deux corrélés positivement avec le ratio CVC/km, mais le premier a une corrélation négative avec le DJMA, alors que l'autre a une corrélation positive.

On observe aussi des modalités qui sont corrélées uniquement à F2, ce qui les rend moins intéressantes à interpréter. C'est le cas du milieu paysager dominant de type « urbain », de l'emprise humaine de type « habitat épars », de la limite de vitesse de 90 km/h et de la classification fonctionnelle de type « régionale ».

On observe enfin des modalités qui ont des corrélations visibles, mais peu significatives, avec l'un ou l'autre des deux axes. Ces modalités ont donc *a posteriori* une influence non déterminante dans la construction du risque de CVC. Sur F1 affectée d'une légère corrélation négative, c'est le cas du milieu paysager dominant de type « agroforestier ». Sur F1 affectée d'une légère corrélation positive, c'est le cas de la classification fonctionnelle de type « nationale ». Sur F2, affectée d'une légère corrélation négative, c'est le cas de la limite de vitesse de 70 km/h, et de l'emprise humaine de type « périphérie de village ».

En ce qui concerne les individus (ligne 451 de la feuille ACM interm.), on distingue trois ensembles (A,B,C) et des exceptions. On aperçoit, dans un premier temps, deux ensembles distincts de part et d'autre de l'axe F1. À droite, corrélé positivement à F1 (donc négativement avec le ratio CVC/km), se trouve un ensemble (A), très majoritairement composé d'individus issus du groupe témoin, eux-mêmes corrélés aux modalités suivantes : milieu paysager dominant de type « agricole », patron forestier de types « boisé isolé » et « sans boisé », connectivité bilatérale faible, classification fonctionnelle de type « collectrice », limites de vitesse de 80 km/h et, dans une moindre mesure, de 50 km/h.

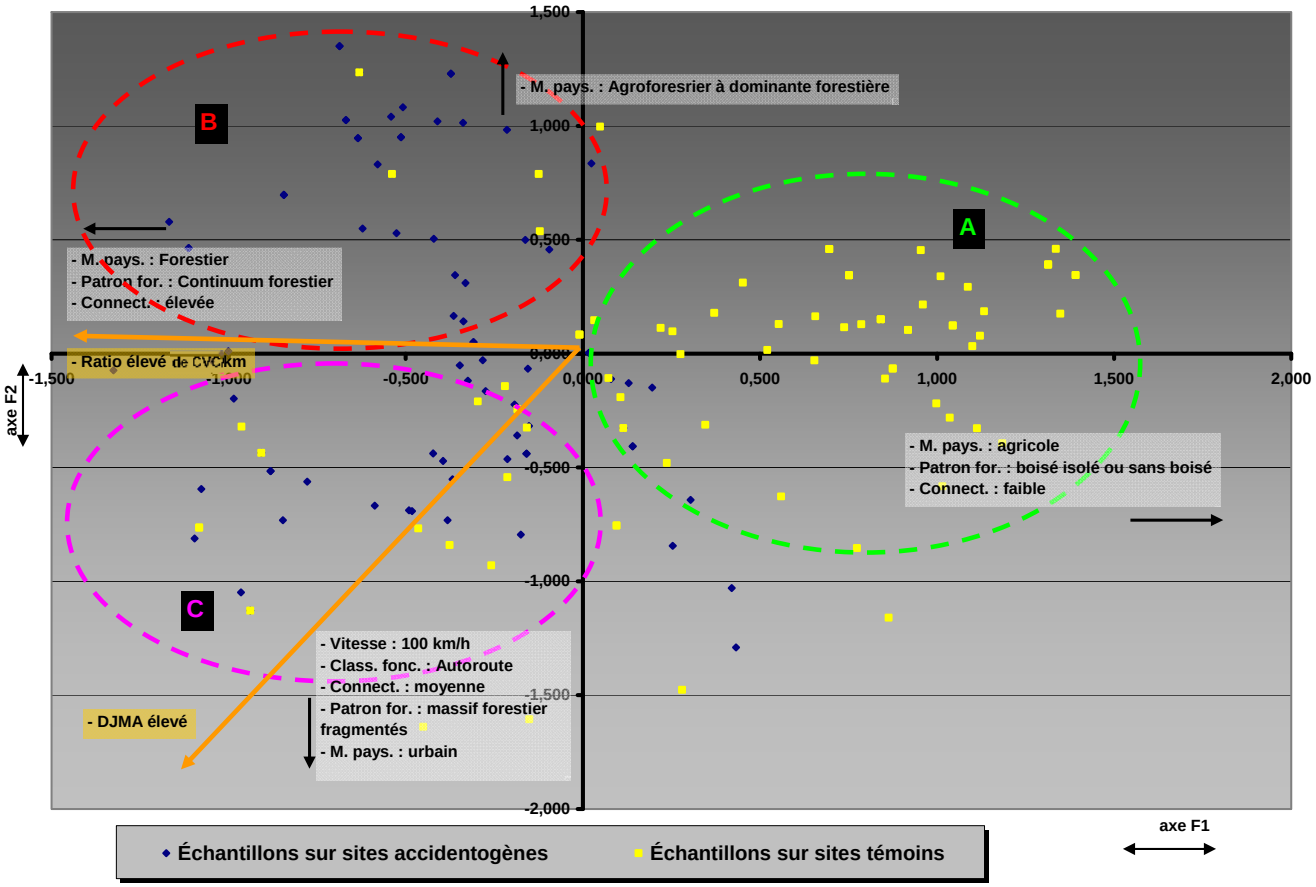


Figure 19 : Graphe de synthèse issu de l'ACM à l'échelle intermédiaire

À gauche, corrélés négativement à F1 (donc positivement avec le ratio CVC/km), se trouvent très majoritairement des individus issus du groupe accidentogène. Cependant, cet ensemble d'individus se scinde en deux selon la nature de leur corrélation avec l'axe F2. Ainsi, on observe un premier ensemble d'individus (B) corrélé positivement avec l'axe F2 (donc négativement avec le DJMA) et les modalités suivantes : milieu paysager dominant de types « forestier » et « agroforestier à dominante forestière », patron forestier de type « continuum forestier », connectivité bilatérale élevée et emprise humaine de type « habitat absent ».

Le second ensemble d'individus (C), corrélé négativement avec F2 (donc positivement avec le DJMA) et positivement avec les modalités suivantes : emprise humaine de type « périphérie urbaine », milieu paysager dominant de type « agroforestier à dominante agricole », patron forestier de type « massif forestier fragmenté », classification fonctionnelle de type « autoroute », limite de vitesse de 100 km/h et dans une moindre mesure, connectivité bilatérale moyenne.

On distingue aussi un petit ensemble inférieur à 10 individus, affecté d'une légère corrélation négative avec F1 et d'une légère corrélation négative ou positive avec F2. Ces individus sont donc regroupés à proximité de l'origine des axes F1 et F2. C'est, par exemple, le cas des sites accidentogènes 15, 19, et 27. Ces sites ont des caractéristiques peu marquées en ce qui concerne l'aléa et de la vulnérabilité qui s'apparentent à celles de certains sites témoins (ex. : milieu paysager dominant de type « agroforestier à dominante agricole », patron forestier de type « massif forestier fragmenté », connectivité bilatérale moyenne et un DJMA moyen ou faible). De plus, une seconde observation des variables macroscopiques et intermédiaires n'a pas permis de mettre en évidence des particularités justifiant qu'ils soient affectés par un ratio CVC/km important.

Par ailleurs, on observe, en ordre dispersé, des exceptions, c'est-à-dire des individus qui se distinguent par une combinaison de variables qu'on ne retrouve pas dans les ensembles évoqués plus haut. Parmi ceux-là, des individus du groupe témoin dont les caractéristiques à l'échelle intermédiaire pourraient théoriquement en faire des sites accidentogènes et réciproquement.

Par exemple, le site témoin 36 possède toutes les caractéristiques d'un site accidentogène de l'ensemble B, mais il est pourtant affecté d'un ratio CVC/km très faible (1,1 CVC/km). Si on le compare avec le site accidentogène 22, on remarque que la seule différence notable réside dans un DJMA légèrement inférieur (1 850 véhicules/jour pour le site témoin contre 2 410 pour le site accidentogène). On peut noter cependant qu'il s'agit là de l'unique site témoin qui ressemble autant aux sites accidentogènes de l'ensemble B sans être affecté d'un ratio CVC/km comparable.

De la même manière, les sites témoins 38 et 64, tous deux des sites autoroutiers, ont les mêmes caractéristiques que les sites accidentogènes de l'ensemble C, y compris un DJMA élevé. Pourtant, ces sites témoins ont des ratios CVC/km très faibles. En observant ces sites sous l'angle des variables macroscopiques, on relève aussi une similitude avec les sites accidentogènes de l'ensemble C (indice forestier faible et densité de prélèvements faible). Cependant, concernant le site témoin 38, on s'aperçoit qu'il est situé en plein milieu d'un échangeur. Ce site est bordé principalement par deux autres voies à fort débit susceptibles de représenter un obstacle supplémentaire pour le

cerf. On peut dès lors supposer que dans sa globalité, cette infrastructure routière constitue un élément dissuasif pour le cerf.

Concernant le site 64, on constate qu'il est bordé sur une large partie sud par une carrière. Or, entre l'autoroute et la carrière, on distingue un chemin. On peut supposer que, pour des raisons évidentes de sécurité, une clôture a été installée. Cet examen plus attentif conduit donc à estimer la connectivité forestière bilatérale comme faible.

À l'inverse, on retrouve des sites accidentogènes ayant des caractéristiques singulières ou encore qui les rapprochent des caractéristiques des sites témoins. Par exemple, on relève que le site accidentogène 56 possède un milieu paysager dominant de type « urbain », une emprise urbaine de type « urbain » et une connectivité bilatérale faible. Une observation attentive permet de s'apercevoir que du point de vue du milieu paysager dominant, on est très proche d'un type « agroforestier », observation confortée par un indice forestier moyen. Élément notable, ce site est limitrophe au sud du parc régional de la Haute-Yamaska, qui abrite un milieu naturel protégé de plus de 400 hectares sur tout le pourtour du lac Boivin. On remarque en outre que ce secteur pourtant boisé est affecté d'une densité de prélèvement très faible (3,5 cerfs/km^2).

L'observation du site accidentogène 17 révèle un profil presque similaire à celui de l'ensemble C, mais affecté d'un DJMA plus faible (7 300 véhicules/jour). Par contre, une constatation s'impose : ce site a la particularité de se situer à la pointe sud d'un vaste massif forestier en U inversé appelé le bois du Fer-à-Cheval, massif de plus de 6 000 hectares parmi les plus importants des basses terres agricoles de la région.

En résumé, nous pouvons dégager des observations précédentes les pistes de réflexion suivantes :

- Plusieurs variables choisies pour caractériser les sites à l'étude se révèlent particulièrement discriminantes. Cela se traduit par une séparation explicite des groupes accidentogènes et des groupes témoins.
- On note ensuite l'émergence de deux catégories remarquables de sites accidentogènes. La première catégorie est affectée d'un niveau d'aléa élevé, mais d'un niveau de vulnérabilité moyen/faible. La seconde est affectée d'un niveau d'aléa moyen, mais d'un niveau de vulnérabilité élevé. Ces deux combinaisons se traduisent par une résultante identique, à savoir un ratio CVC/km élevé.
- Par ailleurs, nous remarquons certains sites accidentogènes affectés de caractéristiques peu marquées en ce qui concerne l'aléa et la vulnérabilité qui les apparentent à celles de certains sites témoins. De plus, une seconde observation des variables macroscopiques et intermédiaires n'a pas permis de mettre en évidence des particularités justifiant qu'ils soient affectés par un ratio CVC/km important.

En conclusion, en dépit d'observations convergentes, nous avons recensé des cas qui ne trouvent pas d'explications déterminantes à travers les variables étudiées jusque-là. Nous avons noté, au début de nos travaux, qu'en raison de la nature aléatoire du phénomène étudié, on ne pouvait envisager d'expliquer la construction du risque de CVC à travers une grille de lecture intangible. Dans les faits, cela se vérifie : la réalité ne se plie pas toujours aux contingences du modèle. Cela étant dit,

nous avons entrepris une démarche d'analyse à l'échelle locale susceptible de fournir des clés de lecture supplémentaires.

5.3 Échelle locale

À ce stade de notre étude, plusieurs facteurs ont pu être mis en évidence et entrent dans la compréhension de la construction du risque de CVC. Ainsi, nous avons observé qu'à l'échelle temporelle, la période nocturne était beaucoup plus propice aux CVC (8 CVC sur 10 ont lieu la nuit), et que l'automne cumulait presque 1 CVC sur 2. Par ailleurs, l'analyse de différentes variables environnementales à plusieurs échelles a mis en lumière des facteurs parfois reliés à l'aléa-cerf (indice forestier, densité de prélèvements, milieu paysager dominant, patron forestier, connectivité forestière bilatérale), et, parfois, à la vulnérabilité (emprise humaine, DJMA, vitesse).

À l'échelle locale abordée ici, nous tenterons de traiter la vulnérabilité sous l'angle de la lisibilité (capacité pour le conducteur de percevoir l'environnement immédiat du véhicule). Dans le cas qui nous occupe, nous porterons notre attention sur des variables entrant en jeu dans la capacité du conducteur à percevoir la présence d'un cerf aux abords ou sur la route et à engager, si besoin était, une manœuvre d'évitement avec possibilité de récupération.

5.3.1 Les variables étudiées

Dans cette perspective, nous avons profité de la disponibilité de vidéographies routières géoréférencées fournies par le MTQ permettant de se placer dans les mêmes conditions qu'un automobiliste. Nous avons créé deux groupes de 150 points :

- Le premier, composé de manière aléatoire parmi les 1 202 CVC situés sur les 81 sites accidentogènes;
- Le second, généré de manière aléatoire sur les portions de réseau routier incluses dans les sites témoins.

Chacun des 300 points est doté d'attributs renseignant sur sa position : le numéro de la route, le tronçon, la section et le chaînage, permettant ainsi de consulter la vidéo routière correspondant à ses coordonnées.

Pour la consultation de ces vidéos, nous nous sommes intéressés à plusieurs variables : occupation du sol, distance latérale de dégagement, densité de la végétation, largeur de l'accotement, visibilité latérale. Après avoir effectué une série de tests, nous avons éliminé certaines variables, soit parce qu'elles étaient fortement corrélées à d'autres (ex. : classe de densité végétale avec occupation du sol, classe de visibilité latérale avec distance de dégagement), soit parce que des classes de variables étaient tellement représentées qu'elles étaient devenues des constantes (ex. : géométrie de la route de type « ligne droite »).

En définitive, nous avons conservé les variables suivantes :

a) L'occupation du sol dans les premiers 100 mètres à droite et à gauche de la route : selon les résultats de la consultation des vidéos, chaque bande latérale (droite et gauche) est classée :

- Agricole : la bande est occupée majoritairement par des cultures agricoles;
- Boisé : la bande est occupée majoritairement par des boisés;
- Urbain : la bande est occupée majoritairement par des espaces urbanisés;
- Habitat isolé boisé : la bande est occupée majoritairement par un habitat épars situé en secteur boisé;
- Habitat isolé agricole : la bande est occupée majoritairement par un habitat épars situé en secteur agricole;
- Friche à dominante herbeuse : la bande est occupée majoritairement par une friche à dominante herbeuse;
- Friche à dominante boisée : la bande est occupée majoritairement par une friche à dominante boisée;
- Eau : la bande est occupée majoritairement par de l'eau (lac, rivière).

b) La largeur de l'emprise routière, y compris les accotements : selon les résultats de la consultation des vidéos, la largeur de l'emprise routière est classée :

- 5 m : plus ou moins 5 mètres
- 10 m : plus ou moins 10 mètres
- 15 m : plus ou moins 15 mètres
- 20 m : plus ou moins 20 mètres

c) La distance de dégagement à droite et à gauche de la route fondée sur la distance entre la ligne de rive et un type d'occupation du sol qui constitue un obstacle à la visibilité – boisé, haie, bâti, par exemple –, qui peut dans le contexte de notre étude, dissimuler un cervidé. Selon les résultats de la consultation des vidéos, la distance de dégagement est classée :

- 0-5 m : 5 mètres ou moins
- 5-10 m : 5 à 10 mètres
- 10-20 m : 10 à 20 mètres
- 20 m+ : 20 mètres ou plus

Le tableau suivant fait la synthèse des variables répertoriées, des classes et des codes utilisés lors du processus de consultation des vidéos routières.

Tableau 8 : Récapitulatif des variables utilisées à l'échelle locale

Occupation du sol, premiers 100 m (droite)	Code	Occupation du sol, premiers 100 m (gauche)	Code	Largeur de l'emprise	Code	Distance de dégagement (droite)	Code	Distance de dégagement (gauche)	Code
Boisé	B	Boisé	B	5 m	5	0-5 m	0-5 m	0-5 m	0-5 m
Agricole	A	Agricole	A	10 m	10	5-10 m	5-10 m	5-10 m	5-10 m
Urbain	U	Urbain	U	15 m	15	10-20 m	10-20 m	10-20 m	10-20 m
Habitat isolé boisé	HIB	Habitat isolé boisé	HIB	20 m+	20	20 m+	20 m+	20 m+	20 m+

Habitat isolé agricole	HIA	Habitat isolé agricole	HIA	
Friche à dominante herbeuse	FH	Friche à dominante herbeuse	FH	
Friche à dominante boisée	FB	Friche à dominante boisée	FB	
Eau	EA	Eau	EA	

5.3.2 Interprétation des résultats

5.3.2.1 Observations générales

La compilation des résultats représentés sous forme graphique (annexe 4) permet d'emblée de faire un certain nombre de constats :

En ce qui concerne l'occupation du sol dans les premiers 100 mètres à droite et à gauche de la route (graphe 1) :

- On voit clairement se dégager deux classes dominantes. Pour le groupe sur sites accidentogènes, on retrouve une majorité de points classés en occupation du sol droite ou gauche de type « boisé » et, dans une moindre mesure, en occupation du sol droite ou gauche de type « agricole ». Pour le groupe sur sites témoins, on retrouve une majorité de points classés en occupation du sol droite ou gauche de type « agricole ».

En ce qui concerne la largeur de l'emprise routière, y compris les accotements (graphe 2) :

- Plus de 90 % du groupe sur site accidentogène est situé à l'intérieur des classes de 15 mètres et de 20 mètres. On peut rattacher ces forts pourcentages au nombre important de sites accidentogènes situés sur autoroutes (21 sites) et nationales (26 sites).
- À l'inverse, près de 50 % du groupe sur sites témoins est situé à l'intérieur de la classe de 10 mètres. On peut attribuer cet écart avec le groupe sur sites accidentogènes (8,7 %) à l'importance de la représentation des routes collectrices (26 sites témoins contre 6 sites accidentogènes).
- Il semble se confirmer qu'à l'instar de la géométrie de la route et de la largeur des accotements, la largeur de l'emprise n'est pas un élément déterminant dans la construction du risque de CVC.

En ce qui concerne la distance de dégagement à droite et à gauche de la route (graphe 3), on peut observer :

- Une représentativité près de trois fois supérieure du groupe sur sites accidentogènes dans la classe de 0 à 5 m.
- Que les deux groupes sur sites sont majoritairement représentés dans la classe de 20 m et plus. Cependant, le groupe sur sites témoins a une représentation supérieure de 20 % à celle du groupe sur sites accidentogènes.

5.3.2.2 Analyse des correspondances multiples (ACM)

Tout comme lors de l'analyse des variables intermédiaires, nous avons réalisé une analyse des correspondances multiples (ACM). En fichier annexe (Annexe_ACM.xls), on peut trouver les principaux éléments constitutifs de l'ACM réalisée avec l'extension Xlstat 7.5 fonctionnant sous le logiciel Excel. Les analyses présentées plus loin feront fréquemment référence à cette annexe Excel.

On retrouve 16 modalités correspondant aux différentes classes de variables étudiées et 300 individus correspondant aux points des deux groupes accidentogènes et témoins. Nous avons ajouté aux variables qualitatives, une variable quantitative explicative, à savoir le ratio de CVC/km. Cette variable supplémentaire est représentée en rouge dans les graphes de l'ACM.

a) Le choix des axes les plus explicatifs

Dans le fichier annexe (ligne 66 de la feuille ACM locale) figurent les valeurs propres non nulles et le pourcentage de variance (inertie) correspondant. Dans le cas qui nous intéresse, l'inertie totale est égale au nombre moyen (16/3) de modalités moins une, soit 4,3. Le nombre de valeurs propres non triviales à se « partager » ce résultat est de 12 modalités moins 3 variables = 9. Leur valeur moyenne est de 0,47 (4,3/9). Une valeur se situe au-dessus (axe F1). En définitive, **nous avons retenu les deux premiers axes, soit F1 et F3.**

En outre, le tableau des corrélations de la variable explicative du ratio CVC/km avec les différents axes (ligne 1563 de la feuille ACM locale) montre **une corrélation positive significative entre la variable ratio CVC/km sur l'axe F1.**

b) Contribution des modalités

Pour être en mesure de repérer les modalités (donc les classes de variables) qui ont la plus grande contribution à l'inertie expliquée par l'axe (c'est-à-dire la contribution à la création de l'axe), nous nous sommes appuyés sur un groupe d'éléments issus de l'ACM :

- Le graphique symétrique des modalités (ligne 126 de la feuille ACM locale);
- Le tableau des coordonnées des modalités dans l'espace factoriel (ligne 94 de la feuille ACM locale);
- Le tableau des contributions des modalités (ligne 184 de la feuille ACM locale);
- Le tableau des valeurs-tests des modalités (ligne 255 de la feuille ACM locale).

Sur F1, les modalités qui contribuent le plus sont :

- Les classes d'occupation du sol de gauche et de droite de types « agricole » et « boisé »;
- Les classes de largeur d'emprise routière de 10 et 20 mètres;
- Les classes de distance de dégagement gauche et droite de types « 0-5 m » et « 20 m+ ».

Sur F3, les modalités qui contribuent le plus sont :

- Les classes d'occupation du sol gauche et droite de types « habitat isolé agricole », « habitat isolé boisé » et « urbain »;
- Les classes de largeur d'emprise routière de 5, 10, 15 et 20 mètres;
- Les classes de distance de dégagement droite de type « 5-10 m ».

En résumé, les axes F1 et F3 se révèlent particulièrement intéressants, car, d'une part, en association, ils permettent de faire apparaître des répulsions entre certaines modalités et, au contraire, des attractions entre d'autres. D'autre part, ayant à l'esprit la corrélation positive entre l'axe F1 et la variable explicative du ratio CVC/km, l'analyse permettra de mettre en évidence des rapports d'attraction et de répulsion entre modalités et variables explicatives.

b) Le tableau de contingence

En complément de l'énoncé précédent et en préalable à l'interprétation des graphes symétriques issus de l'ACM, nous avons pu faire certaines observations à partir du tableau de contingence (ligne 9 de la feuille ACM locale).

Les constats les plus remarquables sont les suivants :

- Les types d'occupation du sol de droite « agricole » et « boisé » sont associés à l'occupation du sol de gauche de mêmes types.
- L'occupation du sol de droite et de gauche de type « agricole » est associée à des classes de largeur de l'emprise de 10 et 15 mètres.
- L'occupation du sol de droite et de gauche de type « agricole » est associée à une distance de dégagement droite et gauche de type « 20 m+ ».
- L'occupation du sol de droite et de gauche de type « boisé » est associée à une distance de dégagement de droite et de gauche de type « 0-5 m ».
- L'occupation du sol de droite et de gauche de type « friche boisée » et « friche herbeuse » est associée à une distance de dégagement droite et gauche de type « 20 m+ ».

c) Représentations graphiques et interprétation (voir figure 20)

La représentation graphique du résultat de l'ACM prend la forme de deux nuages de points projetés sur un plan bidimensionnel. Le premier représente les modalités (les classes de variables) et le second, les individus (les 300 points sur sites accidentogènes et sites témoins) dans l'espace engendré par les axes d'inertie F1 et F3. À cela, il faut ajouter la variable quantitative explicative du ratio de CVC/km. À l'extrémité de chaque axe, figure le pourcentage d'inertie exprimée par cet axe.

Parmi les principaux constats que l'on peut faire, tout d'abord en ce qui concerne les variables explicatives, **on voit clairement que le ratio CVC/km est corrélé positivement à l'axe F1** (ligne 126 de la feuille ACM locale).

On peut par ailleurs repérer des modalités qui s'opposent le long de l'axe F1. Du côté droit, on observe un ensemble de **modalités corrélées positivement à F1**, à savoir l'occupation du sol de droite et de gauche de type « boisé », la distance de dégagement droite et gauche de type « 0-5 m » et, dans une moindre mesure, la distance de dégagement droite de type « 10-20 m ». Du côté gauche, on observe un ensemble de **modalités corrélées négativement à F1**, à savoir l'occupation du sol de droite et de gauche de type « agricole », l'occupation du sol droite de type « eau », la distance de dégagement à droite et à gauche de type « 20 m+ », et une largeur de l'emprise de 10 mètres. **Ces deux ensembles sont d'autant plus intéressants qu'ils sont tous deux inversement corrélés au ratio CVC/km**.

On observe par ailleurs des modalités qui s'opposent le long de l'axe F3. Du côté positif (en haut), on remarque un ensemble de **modalités corrélées positivement à F3**, à savoir l'occupation du sol de droite et de gauche de type « urbain » et, dans une moindre mesure, une occupation du sol de droite et de gauche de type « friche herbeuse ». Du côté négatif (en bas), on remarque un ensemble de **modalités corrélées négativement à F3**, à savoir l'occupation du sol de droite et de gauche de types « habitat isolé boisé » et « habitat isolé agricole ». Il est intéressant de noter que ces deux derniers types sont scindés de part et d'autre de l'axe F1 dans la mesure où ils sont inversement corrélés à ce dernier (« habitat isolé boisé » corrélé positivement à F1, « habitat isolé agricole » corrélé positivement à F3).

On observe enfin des modalités qui ont des corrélations visibles, mais peu significatives avec l'un ou l'autre des deux axes. Ces modalités ont donc *a posteriori* une influence non déterminante dans la construction du risque de CVC. C'est le cas de l'occupation du sol de droite de type « friche boisée », de l'occupation du sol de type « eau » et de type « friche herbeuse ».

En ce qui concerne les individus (ou points sur sites accidentogènes et témoins), on distingue cinq ensembles distincts (A, B, C, D, E) plus ou moins homogènes dans leur composition (selon la représentativité des individus des deux groupes) et dans leur corrélation aux axes F1 et F3.

On aperçoit, dans un premier temps, deux ensembles principaux de part et d'autre de l'axe F1. À droite, corrélé positivement à F1 (donc positivement avec le ratio CVC/km) et relativement peu corrélé à F3, se trouve un ensemble plutôt homogène (A), composé majoritairement d'individus issus du groupe accidentogène corrélé aux modalités suivantes : occupation du sol de gauche et de droite, de type « boisé » et distance de dégagement à gauche et à droite de type « 0-5 m ». À gauche, corrélé négativement à F1 (donc négativement avec le ratio CVC/km) et relativement peu corrélé à F3, se trouve un autre ensemble plutôt homogène (B) composé majoritairement d'individus issus du groupe témoin, corrélés positivement avec les modalités suivantes : occupation du sol de gauche et de droite de type « agricole » et distance de dégagement gauche et droite de type « 20 m+ ».

On observe un troisième ensemble homogène (C) qui rassemble une portion non négligeable d'individus du groupe témoin, corrélés négativement à F1, mais plus particulièrement affectés par leur corrélation positive à F3 et à la modalité suivante : occupation du sol de gauche et de droite de type « urbain ».

Par ailleurs, à droite de F1 (du côté positif), près de l'origine de l'axe, on retrouve un ensemble hétérogène (D) composé d'individus des deux groupes avec une petite majorité d'individus du groupe accidentogène. Cet ensemble se scinde en deux le long de l'axe F3 selon la corrélation avec les modalités suivantes : du côté positif de l'axe F3, avec l'occupation du sol de droite et de gauche de type « friche boisée », du côté négatif de l'axe F3 avec l'occupation du sol de droite et de gauche de type « habitat isolé boisé ». À gauche, du côté négatif, près de l'origine de l'axe F1, on retrouve un second ensemble hétérogène (E) composé d'individus des deux groupes avec une légère majorité d'individus du groupe témoin. Cet ensemble se scinde en deux le long de l'axe F3 selon la corrélation avec les modalités suivantes; du côté positif de l'axe F3, avec l'occupation du sol de droite et de gauche de type « friche herbeuse », du côté négatif de l'axe F3 avec l'occupation du sol de type « habitat isolé agricole ».

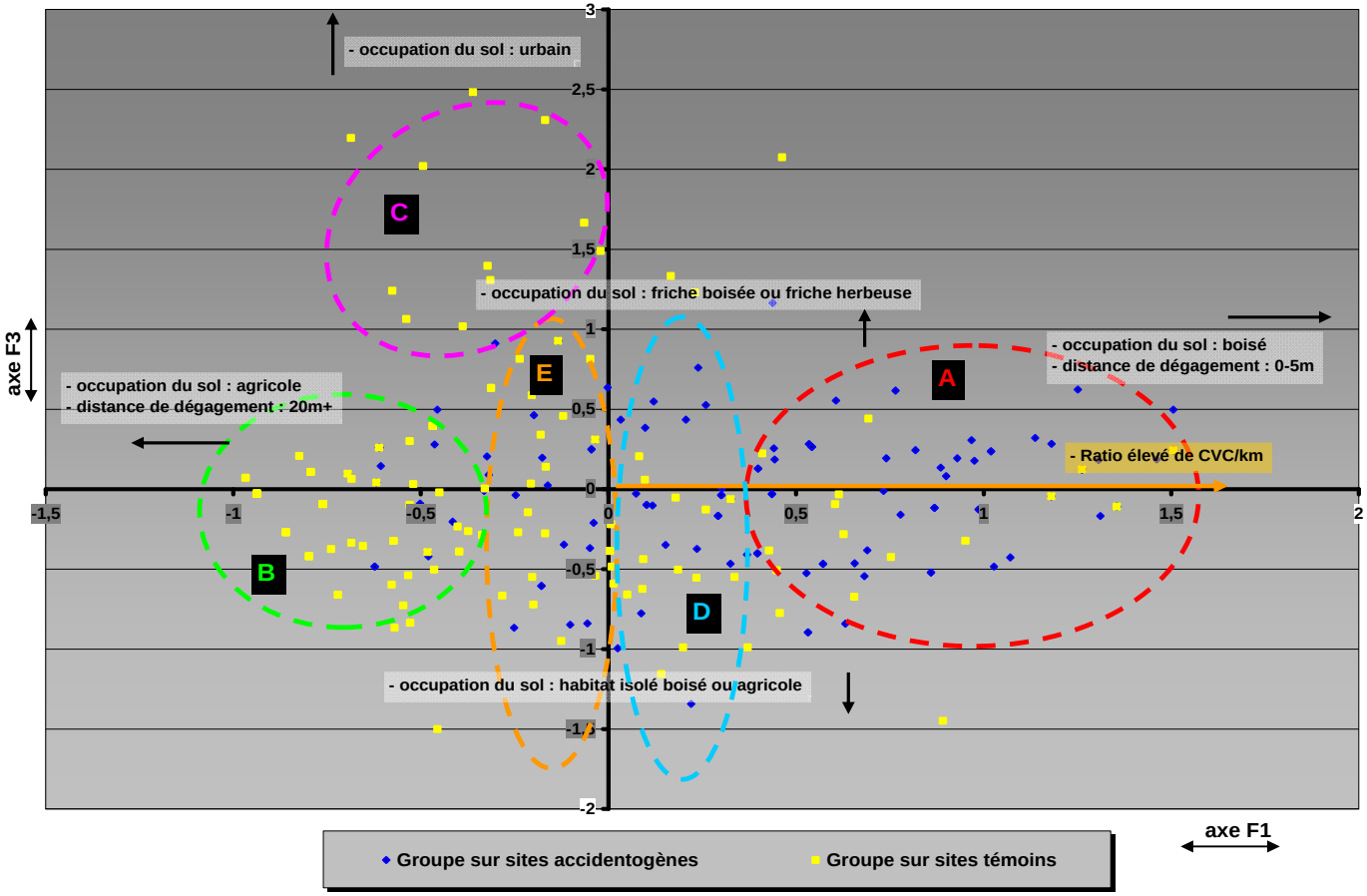


Figure 20 : Graphe de synthèse issu de l'ACM à l'échelle locale

En résumé, nous pouvons dégager des observations précédentes les pistes de réflexion suivantes :

- Parmi les variables choisies pour caractériser les sites à l'étude, peu sont discriminantes. Cela se traduit par une séparation peu explicite d'une portion importante des individus des deux groupes accidentogènes et témoins.
- Ce constat est confirmé par la présence des deux ensembles (D et E) qui intègrent des individus des deux groupes, ce qui traduit le faible potentiel explicatif des modalités associées à ces deux ensembles.
- On note, malgré tout, la confirmation d'une tendance générale qui avait déjà émergé des analyses précédentes, à savoir une relation positive entre le ratio de CVC/km et l'occupation du sol de type « boisé » et une relation négative avec celle de type « agricole » mise en évidence par l'axe F1.
- La distance de dégagement apparaît comme une variable explicative, du moins en ce qui concerne les deux classes extrêmes (0-5 m et 20 m+).
- Par contre, les modalités d'occupation du sol de types « habitat isolé boisé », « friche boisée », « urbain », « friche herbeuse », « habitat isolé agricole » ne peuvent pas être considérées comme véritablement explicatives.
- Dans le même ordre d'idées et comme avancé précédemment, la largeur de l'emprise est écartée des variables explicatives.

5.3.2.3 Comparaison des données aux deux échelles intermédiaires et locales

Un des éléments auxquels nous nous sommes intéressés est de savoir si l'information qui ressort de l'analyse des variables locales apporte véritablement des éléments nouveaux par rapport à l'échelle intermédiaire. Dans ce but, nous avons examiné plus attentivement les individus des deux ensembles, A et B, qui sont les seuls à faire ressortir une donnée significative et qu'il est intéressant de mettre en relation avec la problématique.

D'un côté, on a isolé les individus de l'ensemble A, c'est-à-dire ceux affectés d'une occupation du sol de gauche <u>ou</u> de droite de type « boisé » et d'une distance de dégagement à gauche ou à droite de type « 0-5 m ». On obtient 45 individus, sur 34 sites accidentogènes. Or, si on examine certaines des variables à l'échelle intermédiaire, on peut faire des constats intéressants. Ainsi, on note tout d'abord que 50 % des sites accidentogènes associés à ces individus ont un milieu paysager dominant de type « agroforestier » ou « agroforestier à dominante agricole ». On voit par ailleurs que près d'un site sur deux est affecté d'un patron forestier de type « massif forestier fragmenté », d'une connectivité bilatérale faible ou moyenne et d'un DJMA inférieur à 5 000 véhicules/jour. Cela induit que l'information apportée permet une nouvelle lecture du sujet. En ce sens, on retrouve plusieurs sites affectés de caractéristiques peu marquées en ce qui concerne l'aléa et la vulnérabilité qui les apparentent à celles de certains sites témoins (ex. : sites 6, 24, 30, 39, 72, etc.). **Or, on constate qu'en raison de leur appartenance à l'ensemble A, compte tenu de la présence d'une ou plusieurs sections de route bordées d'un ou des deux côtés par des boisés avec une distance minime entre les boisés et la route, ces sites « basculent » dans la catégorie accidentogène.**

De l'autre côté, on a isolé les individus de l'ensemble B, c'est-à-dire ceux affectés d'une occupation du sol de gauche ou de droite de type « agricole » et d'une distance de dégagement de gauche ou de droite de type « 20 m+ ». On obtient ainsi 82 individus, sur 49 sites témoins. Si on observe les mêmes variables à l'échelle intermédiaire, on remarque que plus de 90 % des sites témoins associés à ces individus ont un milieu paysager dominant de type « agricole », « agroforestier » ou « agroforestier à dominante agricole ». On note par ailleurs que les deux tiers des sites sont affectés d'un patron forestier de type « boisé isolé » ou « sans boisé » et d'un DJMA inférieur à 5 000 véhicules/jour. Pour 90 % d'entre eux, on note une connectivité bilatérale faible. À l'inverse de l'ensemble A, cela induit que **pour les sites du groupe témoin, l'information apportée à l'échelle locale n'ajoute rien de déterminant à la lecture des variables intermédiaires.**

5.4 Synthèse de l'analyse multiscalaire du risque de CVC

Le bilan de ce processus d'analyse aboutit aux constats suivants. D'abord, il existe une bonne complémentarité des variables aux différentes échelles. Ainsi, chacune des échelles apporte une clé de lecture différente, même si, logiquement, certains éléments se recoupent.

Au niveau macroscopique, on a noté ensuite que la densité de prélèvements et l'indice forestier constituent, lorsqu'ils sont combinés, des variables qui permettent d'appréhender de manière indirecte la densité de population du cerf. Nous en avons déduit que cette échelle était utile pour approcher l'aléa-cerf. De même :

- Une section de route située dans un secteur à indice forestier élevé et affecté d'une densité de prélèvement élevée a une forte probabilité d'être dans un secteur d'aléa élevé.
- Une section de route située dans un secteur à indice forestier élevé a, malgré une densité de prélèvement faible, une forte probabilité d'être dans un secteur d'aléa élevé.
- Une section de route qui se trouve dans un secteur à indice forestier faible et une densité de prélèvement faible a une faible probabilité d'être dans un secteur d'aléa élevé.

Cependant, nous avons déjà observé que cette échelle ne suffisait pas à expliquer la construction du risque de CVC et, de la même manière, que plusieurs cas ne pouvaient **être expliqués** par la seule prise en compte de cette échelle.

Au niveau intermédiaire, nous avons pu mettre en évidence des patrons caractéristiques des sites accidentogènes :

- Une section de route située dans un milieu paysager dominant de type « forestier » ou « agroforestier à dominante forestière », avec un patron forestier de type « continuum forestier » et une connectivité forestière bilatérale élevée a une forte probabilité de se retrouver parmi les sites accidentogènes, malgré un DJMA faible (moins de 3 000 véhicules/jour).
- Une section de route située dans un milieu paysager dominant de type « agroforestier » ou « agroforestier à dominante agricole », avec un patron

forestier de type « massif forestier fragmenté » et une connectivité forestière bilatérale forte ou moyenne a une forte probabilité de se retrouver parmi les sites accidentogènes, à condition d'être affectée d'un DJMA élevé (plus de 10 000 véhicules/jour), caractéristique des sites accidentogènes autoroutiers.

- Une section de route située dans un milieu paysager dominant de type « agricole » ou « agroforestier à dominante agricole », avec un patron forestier de type « boisé isolé » ou « sans boisé » et une connectivité forestière bilatérale faible, même affectée d'un DJMA élevé (plus de 10 000 véhicules/jour), a une faible probabilité de se retrouver parmi les sites accidentogènes.

À l'échelle locale, nous avons observé que certaines variables pouvaient permettre de comprendre la construction du risque lorsque les variables intermédiaires n'étaient pas explicites. Ainsi, une section de route a une probabilité moyenne à forte de se retrouver parmi les sites accidentogènes si elle se trouve :

- À l'échelle intermédiaire, dans un milieu paysager dominant de type « agroforestier » ou « agroforestier à dominante agricole », avec un patron forestier de type « massif forestier fragmenté », une connectivité forestière bilatérale moyenne et un DJMA faible à moyen (moins de 5 000 véhicules/jour);

- À l'échelle locale, bordée d'un ou des deux côtés par une occupation du sol de type « boisé » et une distance de dégagement de type « 0-5 m ».

6. APPLICATION D'UN MODÈLE PRÉDICTIF DU RISQUE DE CVC

À ce stade de nos travaux, plusieurs constats sont possibles. Tout d'abord, le caractère omniprésent du risque de CVC sur le territoire régional. Effectivement, il n'y a pas d'endroit sur le réseau qui soit totalement affranchi du risque de confrontation entre un véhicule et un cerf. Toutefois, nous avons clairement mis en évidence que la distribution dans l'espace et dans le temps de ce phénomène, même s'il intègre une dimension aléatoire, est malgré tout influencée par certaines variables environnementales, tantôt associées à l'aléa-cerf, tantôt associées à la vulnérabilité-véhicule.

Néanmoins, en raison d'orientations méthodologiques, de disponibilité, d'exhaustivité, et de précisions des données de référence, nous avons eu à faire des choix concernant les variables retenues, ces choix induisant une lecture du phénomène qui ne saurait être holistique. Cependant, si l'on se réfère à l'abondante littérature sur le sujet et si l'on tient compte des multiples tests que nous avons réalisés, nous avons la conviction d'avoir pu cibler des variables suffisamment explicatives qui justifient dès lors d'être exposées.

Le choix d'une démarche inductive, fondée sur l'utilisation des sites accidentogènes et sites témoins nous a semblé judicieux. Cette démarche nous a en effet permis de mettre en lumière un certain nombre de facteurs explicatifs et de poser ainsi les jalons d'une modélisation du risque à l'échelle régionale.

Nous avons pu démontrer que la construction du risque de CVC était composite et qu'il ne pouvait dès lors s'étudier que sous plusieurs angles, soit ceux des échelles de temps et d'espace. Du point de vue temporel, nous avons pu mettre en évidence le fait qu'un CVC sur deux survenait en automne et que 80 % se produisaient la nuit. Nous avons également relevé que, selon la saison, le territoire n'est pas touché de la même manière. Ainsi, les zones forestières sont davantage touchées en hiver que lors des autres saisons, alors que les zones agricoles le sont davantage pendant la période de croissance culturale. **Nous avons également noté que le phénomène ne peut s'observer sous l'angle d'une échelle spatiale unique**. Ainsi, que ce soit à l'échelle d'observation des DT, des MRC, des municipalités, des routes ou encore aux échelles d'analyses macroscopique, intermédiaire et locale, nous avons pu mettre en évidence des liens entre certaines variables et l'importance du risque.

En ce qui concerne l'analyse multiscalaire, nous avons relevé, quantifié ou qualifié les principaux facteurs entrant dans la construction du risque et ainsi progressé dans l'élaboration d'une clé d'interprétation du risque de CVC.

De même, le raisonnement mis en œuvre jusqu'à maintenant s'apparente à une démarche inductive, dans la mesure où il sous-tend la détermination d'un modèle prédictif général à partir de l'observation des cas particuliers que sont les sites accidentogènes. Le modèle prédictif général doit permettre, si les hypothèses initiales sont valides, de discriminer les sites accidentogènes du reste du réseau routier. De même, les hypothèses initiales sont essentiellement fondées sur l'existence d'un rapport de causalité entre certaines variables environnementales et la concentration spatiotemporelle de CVC. On peut donc présumer que ces variables expliquent le risque de CVC. En utilisant ces mêmes variables, on doit en principe être capable de mettre en

évidence **les portions du réseau routier à l'intérieur desquelles existe une probabilité plus élevée qu'ailleurs de voir apparaître un site accidentogène ou, du moins, une concentration anormalement élevée de CVC.**

Cette démarche suppose trois volets complémentaires, à savoir :

1- La mise au point du modèle prédictif en tant que tel, mise au point qui s'appuie sur la **manipulation d'un arbre de décision**. Il s'agit principalement de trouver une segmentation optimale d'individus (sites témoins et sites accidentogènes) par l'intermédiaire de variables explicatives (variables retenues : indice forestier, DJMA, milieu paysager dominant, etc.) représentées sous la forme d'un arbre de décision. L'objectif est de produire des groupes d'individus les plus homogènes possible du point de vue de la variable à prédire. Dans le contexte qui nous intéresse, **cette variable est dichotomique : le site est-il accidentogène ou est-il témoin?** Ce processus mènera à l'induction d'une règle prédictive permettant une discrimination efficace des sites accidentogènes par rapport aux sites témoins. L'hypothèse est que l'application de cette même règle sur l'ensemble du réseau routier permet de cibler les portions du réseau ayant la probabilité la plus élevée de compter un site accidentogène.

2- De même, l'application d'un modèle prédictif suppose d'être en mesure d'appliquer les variables à l'ensemble du réseau routier. Cela nécessite deux conditions préalables :

a. La détermination d'**indices spatiaux** permettant d'appliquer les variables prédictives à l'ensemble du réseau. Comme on l'a vu précédemment, l'application de certaines de ces variables aux sites accidentogènes et sites témoins a jusqu'à maintenant été fondée sur la photo-interprétation. L'avantage principal de l'utilisation de la photo-interprétation est de s'affranchir de données contextuelles descriptives du territoire dont la précision détermine fortement la qualité de l'application de la variable. À l'échelle intermédiaire, si l'on prend l'exemple de la variable « patron forestier », l'interprétation des photos aériennes du printemps 2006 nous offre un portrait fiable et à jour du couvert et de la structure spatiale de la forêt. Si cette même variable est calculée à partir d'une donnée à référence spatiale existante (ex. : CanVec, BDTQ, SIEF, etc.), on comprend dès lors que la fiabilité de l'application de la variable « patron forestier » dépend étroitement de la précision de la donnée source. Si l'unité spatiale minimum de la donnée source est de deux hectares (ex. : SIEF), on ne peut prétendre obtenir un portrait fiable des boisés isolés. De même, si la dernière mise à jour de la donnée source date des années 2000 (ex. : BDTQ), on tient pour acquis que l'on fait abstraction des éventuelles pertes de superficies forestières survenues depuis et ayant engendré des modifications du couvert forestier tant à l'égard de sa superficie qu'en ce qui concerne sa structure spatiale (ex. : fragmentation). Ce constat s'applique de la même façon à l'ensemble des variables lorsqu'elles ne sont pas dérivées de la photo-interprétation.

Cela étant exposé, il est illusoire, dans un contexte prédictif appliqué à un vaste territoire (une région administrative, en l'occurrence), de considérer utiliser la photo-interprétation ou encore les vidéographies routières

comme outils de caractérisation de plusieurs milliers de kilomètres de réseau supérieur. Cela nous amène à considérer comme incontournable la mise au point d'indices spatiaux alternatifs, non fondés sur l'interprétation visuelle. Ces indices seront considérés comme fiables si, appliqués aux sites accidentogènes et sites témoins, ils fournissent, dans une proportion jugée acceptable, la même information que l'interprétation visuelle. En outre, la mise au point de ce type d'indice aura l'avantage de garantir une indépendance accrue vis-à-vis du filtre subjectif de l'opérateur.

b. La détermination d'une **unité spatiale de référence** pour appliquer ces variables (ou indices spatiaux). Cette unité spatiale doit, comme on le verra, avoir une dimension en cohérence avec le phénomène observé.

3- Le dernier volet consiste à **déployer le modèle prédictif** sur la Montérégie, mais aussi sur un autre secteur géographique, à savoir une région voisine particulièrement touchée par la problématique des CVC : l'Estrie. L'objectif de cette démarche est de vérifier la stabilité et la reproductibilité du modèle prédictif élaboré.

6.1 Description synthétique de la technique de l'arbre de décision

Les travaux précédents nous ont conduits à déterminer des variables explicatives du risque de CVC ainsi qu'à dégager certains patrons caractéristiques (combinaisons de certaines variables) menant à la séparation des sites accidentogènes et des sites témoins. Il demeure que le nombre de variables prises en compte multiplié par le nombre de modalités de chacune d'entre elles empêche, à notre point de vue, une modélisation fondée sur une démarche énumération/évaluation. Cela est d'autant plus vrai que certaines de ces variables sont continues (ex. : indice forestier moyen, DJMA), ce qui nous obligerait à une discrétisation plus ou moins arbitraire de celles-ci.

L'avantage de l'arbre de décision est d'être fondé sur une démarche dirigée itérative/descendante qui puisse guider l'opérateur dans le choix des variables les plus discriminantes ainsi que dans la détermination des seuils (pour les variables continues) ou le choix des modalités de segmentation (pour les variables discrètes).

6.1.1 Définition

Les arbres de décision (aussi appelés *graphes inductifs*) font partie des techniques courantes de classification en matière d'exploration de données (*Data Mining*). Une fois construit, un arbre de décision prend la forme d'une arborescence inversée, où chaque sommet terminal (appelé *feuille*) contient une fraction de l'échantillon original dont les individus appartiennent presque tous à une seule et même classe. Lorsqu'un nouvel individu « grimpe » dans l'arbre depuis la racine jusqu'à une feuille, son trajet dans l'arborescence est entièrement déterminé par les valeurs de ses attributs (appelés *prédicteurs*). Il est alors affecté à la classe dominante de la feuille. Plus précisément, pour chaque *k*, la probabilité *a posteriori* de la classe *k* peut être estimée par la proportion d'individus dans la feuille qui appartiennent à cette classe. De même, chaque feuille est un « segment » de l'échantillon qui est aussi homogène que possible par rapport à la variable dépendante (classe).

Les arbres de décision autorisent la manipulation d'attributs (prédicteurs) aux valeurs discrètes, continues ou encore continues discrétisées. Leur mise en œuvre et les décisions qui en découlent peuvent être transcrites sous forme de « règles logiques d'induction » qui fournissent un modèle prédictif aisément interprétable. Nous pouvons lire sans avoir de connaissances statistiques particulières un modèle prédictif du type « **Si** [condition ou prémisse], **alors** [conclusion] ». Par exemple, le modèle pourrait s'appliquer comme suit : « **Si** indice forestier élevé, **alors** probabilité élevée d'apparition de site accidentogène) ». En outre, ce type de règle peut être aisément intégré dans un système d'information géographique (traduction de la règle en requête SQL).

6.1.2 Utilisation du logiciel SIPINA pour la génération d'un arbre de décision

SIPINA (Système Interactif pour l'Induction Non-Arborescente) est un logiciel gratuit de *Data Mining* spécialisé dans l'induction des arbres de décision. Ce logiciel a l'avantage d'être un des rares outils en libre accès qui possède un tutoriel étoffé fourni en français (http://sipina.over-blog.fr/). Il intègre en outre une large bibliothèque d'algorithmes d'induction d'arbres. Par ailleurs, par rapport aux logiciels libres disponibles, il comprend également un module interactif qui permet à l'utilisateur d'intervenir manuellement lors de la construction de l'arbre.

Ce logiciel a été développé par l'équipe de Recherche en Ingénierie des Connaissances (ERIC) de l'Université Lyon 2, en France. Pour notre part, un des avantages est d'avoir accès à de très nombreuses données sur son fonctionnement et sur les différents paramètres et algorithmes intégrés. Aussi, et cela n'enlève rien à son intérêt, le principal créateur de ce logiciel (Ricco Rakotomalala) offre un propos accessible, destiné aux non-initiés au contenu scientifique. Il reste qu'il nous semblait superflu, voire improductif, d'examiner en détail tous les éléments constitutifs de ce logiciel et les concepts et théories mathématiques qui caractérisent les algorithmes d'apprentissage. Nous nous sommes donc uniquement concentrés sur la description des éléments et étapes essentiels de notre démarche.

6.1.3 Lecture d'un arbre de décision

La figure 21 montre un exemple d'arbre de décision réalisé uniquement à titre d'illustration. Il a été créé de manière semi-dirigée, c'est-à-dire par une combinaison du recours à un algorithme d'apprentissage et d'une intervention manuelle.

Le premier sommet est appelé la « racine » de l'arbre. Il est situé au premier niveau. On y observe la distribution de fréquence de la variable à prédire « accidentogène » ou « témoin ». Nous constatons qu'il y a bien 161 observations, dont 81 « sites accidentogènes » (**en vert**) et 80 « sites témoins » (**en bleu**).

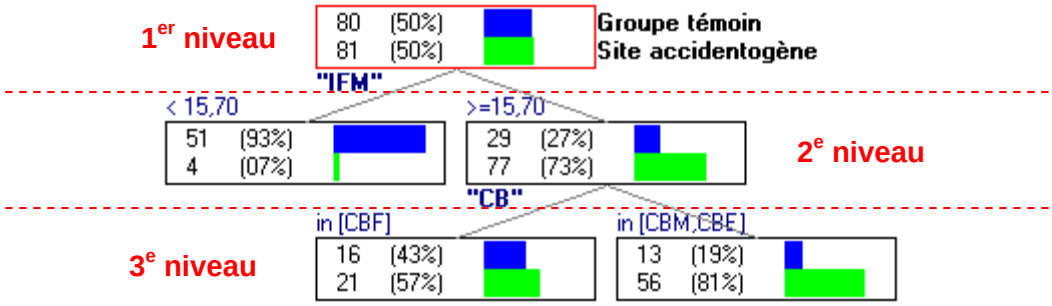


Figure 21 : Principe de l'arbre de décision

La variable « indice forestier moyen » est, dans cet exemple, la première variable utilisée. On parle de *variable de segmentation*. Comme cette variable est composée de valeurs continues (0 à 100 %), l'algorithme a relevé la meilleure valeur de coupure en triant les données et en testant chaque point de coupure candidat en retenant celui qui optimise l'indicateur de qualité du partitionnement, à savoir 15,7 %.

La première arête (la première branche), à gauche, sur le deuxième niveau, est produite à partir de la modalité « <15,70 » de la variable « IFM ». Le sommet qui en résulte couvre 55 observations issues des individus du niveau supérieur; la distribution de fréquence nous indique qu'il y a 51 sites témoins et 4 sites accidentogènes. La seconde arête, au centre, correspond à la modalité « ≥15,70 »; le sommet correspondant couvre 106 observations, dont 29 sites témoins et 77 sites accidentogènes.

Le premier sommet (à gauche) est plus « pur » du point de vue de la variable à prédire, dans la mesure où on y retrouve 93 % de sites témoins contre seulement 7 % de sites accidentogènes. On dit qu'il s'agit d'une feuille de l'arbre.

Au troisième niveau, la variable « connectivité forestière bilatérale » est la seconde variable utilisée. Elle est composée de trois modalités (faible, moyen, élevé). Dans l'exemple, elle produit deux feuilles. La première arête (la première branche), à gauche, sur le troisième niveau, est produite à partir de la modalité « CBF » de la variable « connectivité forestière bilatérale ». La feuille qui en résulte couvre 37 observations, leur distribution de fréquence nous indique qu'il y a 16 sites témoins et 21 sites accidentogènes. La seconde arête située à droite est produite à partir de la fusion des modalités « CBM » et « CBE ». La feuille qui en résulte couvre 69 observations. Leur distribution de fréquence nous indique qu'il y a 13 sites témoins et 56 sites accidentogènes.

Si l'on considère la composition des feuilles, celle-ci est la plus pure, dans la mesure où on y retrouve 81 % de sites témoins contre seulement 19 % de sites accidentogènes.

Ce processus est réitéré (soit automatiquement, soit manuellement) sur chaque sommet de l'arbre jusqu'à l'obtention de feuilles pures. Il s'agit bien d'un arbre de partitionnement dans la mesure où un individu ne peut être inscrit dans deux feuilles différentes de l'arbre. Le modèle de prédiction peut être lu très facilement. On peut traduire un arbre en une base de règles logiques sans altération de l'information. Comme énoncé précédemment, le chemin menant d'un sommet vers la racine de l'arbre peut être traduit en une partie prémisse d'une règle de prédiction. Pour classer un nouvel individu, il suffit

de l'ajouter dans l'arbre, et de lui associer la conclusion attachée à la feuille dans laquelle il aboutit.

6.1.4 Les algorithmes d'apprentissage

Le principal avantage de l'utilisation d'un arbre de décision est de pouvoir s'appuyer sur des méthodes (ou algorithmes) qui trouvent, de manière supervisée ou non, la meilleure segmentation des individus à l'étude. La littérature spécialisée propose différents algorithmes d'apprentissage par arbres de décision dont les principaux sont employés dans le logiciel SIPINA. De manière générale, ces méthodes respectent toujours le même schéma de base, leurs différences se retrouvant à travers quatre composantes principales.

6.1.4.1 La méthode de détermination de la variable de segmentation sur un sommet

Pourquoi choisir telle variable plutôt que telle autre en premier niveau et ainsi de suite?

- Pour introduire la variable « indice forestier moyen » au second niveau de l'arbre, nous avons été amenés à fixer un seuil (15,70) permettant de segmenter le groupe d'observation.

Comment ce seuil a-t-il été fixé? Plus généralement, comment les variables continues et discrètes sont-elles mises en concurrence pour la segmentation d'un sommet?

- Ce choix fait appel à un indicateur (une mesure) qui permet d'évaluer objectivement la qualité d'une segmentation et, ainsi, de sélectionner le meilleur parmi les descripteurs candidats à la segmentation sur un sommet. En ce qui concerne les différents algorithmes, on retrouve plusieurs méthodes courantes (ex. : test du Khi-2, calcul de l'erreur pessimiste, gain d'entropie, *t* de Tschuprow, etc.).

6.1.4.2 La détermination de la taille de l'arbre de décision

L'objectif final vers lequel tend l'algorithme est de produire un partitionnement pur à 100 % des observations de la base, ce qui est n'est pas le cas dans notre exemple. Que faire alors? De manière plus générale, est-ce qu'un partitionnement totalement pur est souhaitable dans le fichier de données? En effet, **les arbres de décision ont parfois tendance à produire un « classifieur » trop complexe, collant exagérément aux données; c'est le phénomène de surapprentissage**. Les feuilles, même si elles sont pures, sont composées de trop peu d'individus pour être fiables lors de la prédiction. Sur quelles règles se baser pour définir la taille adéquate de l'arbre de décision? Les algorithmes courants proposent deux méthodes principales :

- Le **pré-élagage,** qui consiste à fixer une règle d'arrêt permettant de stopper la construction de l'arbre lors de la phase de construction. Une approche très simple consiste à fixer un critère d'arrêt local, relatif au sommet que l'on est en train de traiter, qui permet d'évaluer l'apport informationnel de la segmentation que l'on va réaliser. Par exemple, on accepte la segmentation si le Khi-2 calculé (ou le *t* de Tschuprow) sur un sommet est significativement supérieur à un seuil que l'on se fixe. L'application de cette démarche passe par un test d'hypothèse statistique : l'hypothèse nulle est l'indépendance de la variable de segmentation avec l'attribut classe. Si le Khi-2 calculé est supérieur au seuil théorique correspondant au risque critique que l'on s'est fixé (*p-level*), on accepte la

segmentation (ou ce qui revient au même, si la *p-value* calculée est inférieure au risque critique).

- Le **post-élagage,** dont le principe est de construire l'arbre en deux temps : une première phase d'expansion, où l'on essaie de produire des feuilles les plus pures possible et dans laquelle nous acceptons toutes les segmentations même si elles ne sont pas pertinentes; dans un second temps, nous essayons de réduire l'arbre en nous fondant sur des critères objectifs reliés à notre connaissance du phénomène.

6.1.4.3 La définition de la règle de décision

Si la prise de décision sur une feuille semble naturelle lorsqu'elle est pure, quelle est la règle de décision optimale lorsqu'une feuille regroupe des représentants des différentes modalités de la variable à prédire?

- Lorsque plusieurs modalités sont présentes dans la feuille, il faut utiliser une règle d'attribution efficace. La règle la plus souvent utilisée est la **règle de la majorité** : on affecte à la feuille la modalité de la variable à prédire qui présente l'effectif le plus grand.

6.1.5 La fiabilité du modèle

Avec l'emploi de ce type d'algorithme, on peut générer un arbre de décision dont l'erreur apparente est faible, voire nulle. Cette erreur est fondée sur l'estimation de l'erreur en test calculée à l'aide d'une matrice de confusion qui prend la forme suivante :

Lignes : valeurs observées Colonnes : valeurs prédites	Prédiction négative (site témoin)	Prédiction positive (site accidentogène)
Modalité négative (site témoin)	a	b
Modalité positive (site accidentogène)	c	d

Nous déduisons le taux d'erreur e qui représente une estimation non biaisée de la performance de l'arbre de décision. Dans notre cas, pour un site routier à estimer, e représente la probabilité (en %) de classer le site de manière erronée :

$$e = \frac{b + c}{a + b + c + d}$$

Notons cependant qu'il existe des limitations reliées à cette erreur en test. En effet, on a vu que les arbres de décision ont parfois tendance à produire un « classifieur » trop complexe (surapprentissage) pour créer des feuilles qui soient les plus pures possible, ce qui a pour conséquence que l'erreur apparente (par l'entremise du test) est une vision trop optimiste de l'erreur réelle.

De même, l'algorithme recherche un « bon » arbre, qui présente une faible erreur apparente. L'arbre construit est d'erreur apparente faible, car les feuilles sont étiquetées de telle manière qu'il y ait peu d'erreurs. L'arbre construit paraît bien adapté à l'échantillon étudié, mais en réalité, il peut avoir un pouvoir de prédiction faible. En effet, certaines des segmentations effectuées peuvent ne pas être pertinentes, menant à la définition d'une règle de prédiction erronée. Par exemple, il suffit que le plus élevé des DJMA soit détenu par un site témoin pour que l'algorithme déduise que les sites ayant un DJMA égal ou supérieur sont des sites témoins. Dans le même ordre d'idées, tous les algorithmes sont sensibles aux valeurs aberrantes ou « outlier », ce qui, en définitive, oblige l'utilisateur à intervenir manuellement lors de la construction de l'arbre, et à élaguer sur la base de sa connaissance du « monde réel ».

6.2. Construction de l'arbre de décision

Cela étant, de notre point de vue, il est difficile de considérer avoir une idée préconçue du meilleur algorithme à utiliser. Le logiciel SIPINA en propose 11. À chacun d'entre eux correspond une littérature abondante qui, ayant l'avantage de les expliciter à souhait, présente l'inconvénient de n'en éliminer d'emblée aucun ou presque. Nous le verrons plus loin, notre stratégie a consisté à progresser avec prudence en testant plusieurs d'entre eux, avec différents paramètres, tantôt de manière non dirigée, tantôt en intervenant interactivement sur le modèle.

6.2.1 Les données d'apprentissage

La population étudiée contient les 161 observations correspondant aux 2 catégories de sites, 81 sites accidentogènes et 80 sites témoins caractérisés par une série de variables descriptives (indice forestier moyen, DJMA, milieu paysager dominant, patron forestier, etc.).

La première étape de création de l'arbre de décision est de choisir quelles variables seront utilisées. Nous avons vu précédemment que certaines d'entre elles, et ce, aux différentes échelles d'observation, semblent avoir plus ou moins d'influence dans la construction du risque de CVC.

Ainsi, à l'échelle macroscopique, nous choisissons d'utiliser **l'indice forestier** pour deux raisons principales :

- La première réside dans le fait que contrairement à la densité de prélèvements de chasse, cet indice n'est pas dépendant de contextes locaux particuliers (ex. : réserve indienne, territoire sous protection).
- La seconde réside dans sa facilité de mise en œuvre. En effet, il ne nécessite qu'une seule donnée à référence spatiale, comme la couche forestière de CanVec, gratuite et disponible sur l'ensemble du territoire provincial.

À l'échelle intermédiaire, nous choisissons d'utiliser les variables les plus explicatives issues du processus d'analyse des correspondances multiples, à savoir le **DJMA**, le **milieu paysager dominant**, le **patron forestier** et la **connectivité bilatérale**.

À l'échelle locale, nous avons vu que la présence de couloirs routiers encavés (occupation du sol forestière dans les premiers 100 mètres et caractérisés par une distance de dégagement inférieure ou égale à 5 mètres) avait pour conséquence de faire basculer certains sites ayant des caractéristiques peu marquées sur le plan du risque aux échelles supérieures d'observation, en catégorie accidentogène.

Dans ces conditions, nous avons créé une nouvelle variable continue nommée ***taux de couloir forestier***. Cette variable correspond au pourcentage de la longueur du site (accidentogène ou témoin) où la condition suivante se vérifie : occupation du sol dans les 100 premiers mètres à gauche ou à droite = boisé ET distance de dégagement inférieure ou égale à 5 mètres du côté boisé.

Comme il n'était pas possible de réaliser cette caractérisation par vidéographies routières sur les 272 kilomètres que représentent les 161 sites à l'étude, nous avons décidé de procéder par l'intermédiaire d'un indice fondé sur l'emploi d'une donnée à référence spatiale.

Pour développer cet indice, nous nous sommes appuyés sur l'observation des 300 points d'échantillonnage utilisés à l'étape d'analyse multiscalaire à l'échelle locale. Il en résulte que 242 d'entre eux sont classés « hors couloir forestier », c'est-à-dire qu'ils ne répondent pas aux conditions énoncées plus haut. Ces points ayant une distance moyenne aux boisés (CanVec) de 195 mètres. Ceux classés « couloir forestier » c'est-à-dire les 58 points répondant aux conditions ont, pour leur part, une distance moyenne par rapport aux boisés de 23 mètres.

Si on considère les différentes classes de distance de dégagement (du côté de l'occupation du sol boisée), on a une distance moyenne de 28 mètres pour la classe « 5-10 m », 35 mètres pour la classe « 10-20 », et 61 mètres pour la classe « 20 m+ ». Par ailleurs, on note que 67 % (39 sur 58) des points caractérisés par un couloir forestier ont une distance par rapport au boisé inférieure à 20 mètres, contre seulement 16 % (38 sur 242) des sites hors couloir forestier.

Dans ces conditions, nous avons convenu d'utiliser une zone tampon de 20 mètres de part et d'autre des sites accidentogènes et témoins que nous avons ensuite croisée avec la couche forestière de CanVec. À l'observation de la portion de la limite de la zone tampon chevauchant un boisé de CanVec, on note que plus cette portion se rapproche de 100 %, plus le site a une forte probabilité d'être touché par une ou plusieurs portions de couloirs forestiers.

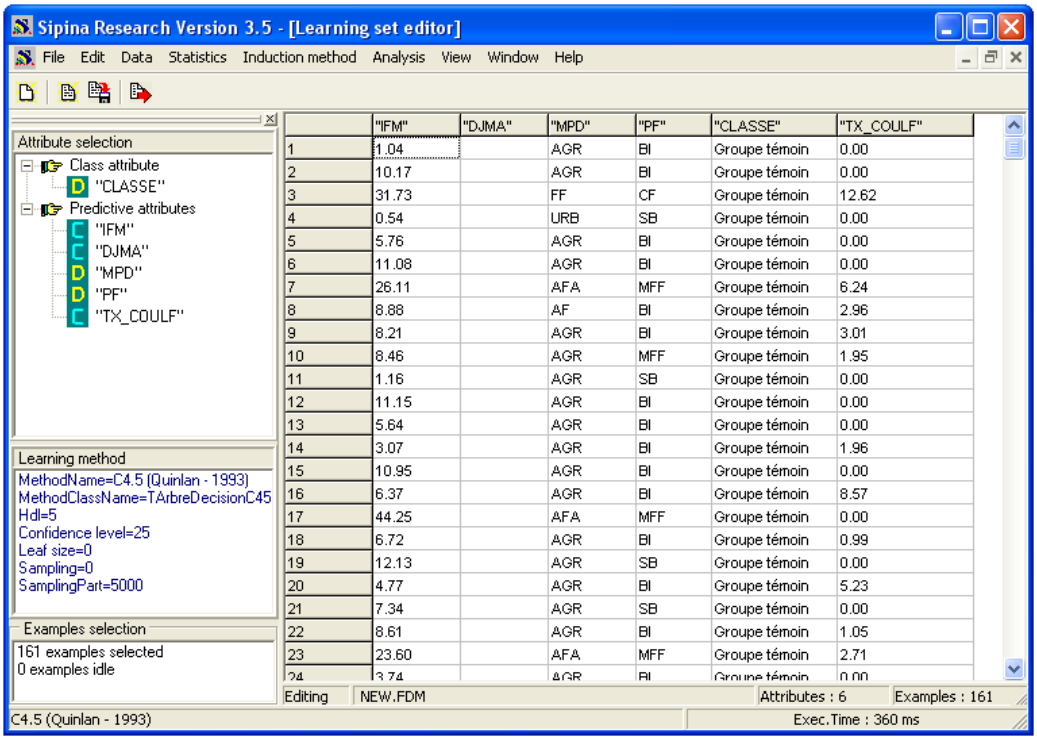
6.2.2 Intégration des données

SIPINA accepte des données tabulaires au format texte. Une exportation de la table d'attributs des données d'apprentissage de ArcGis vers un format texte (séparateur : tabulation) permet de produire un fichier lisible par SIPINA. Lors de l'importation, le logiciel reconnaît automatiquement le type des données, selon qu'elles sont de nature continue (ex. : indice forestier moyen) ou discrète (ex. : milieu paysager dominant). Après importation, nous constatons que le logiciel a bien reconnu 8 colonnes et 161 observations. Concernant les variables descriptives, les acronymes suivants ont été utilisés :

- IFM : indice forestier moyen

- DJMA : débit journalier moyen annuel
- MPD : milieu paysager dominant
- PF : patron forestier
- CB : connectivité bilatérale
- TX_COULF : pourcentage de couloirs forestiers
- CLASSE : catégorie du site (accidentogène ou témoin)

Par la suite, on indique à SIPINA la variable à prédire et les variables prédictives. Pour ce faire, il faut activer le menu Analysis/Define class attribute. Une boîte de dialogue apparaît, nous plaçons en Class (*Target*) la variable « CLASSE », en Attributes (*Input*) le reste des variables allant de « IFM » à « TX_COULF ». La sélection est résumée dans la partie gauche de la fenêtre.



	"IFM"	"DJMA"	"MPD"	"PF"	"CLASSE"	"TX_COULF"
1	1.04		AGR	BI	Groupe témoin	0.00
2	10.17		AGR	BI	Groupe témoin	0.00
3	31.73		FF	CF	Groupe témoin	12.62
4	0.54		URB	SB	Groupe témoin	0.00
5	5.76		AGR	BI	Groupe témoin	0.00
6	11.08		AGR	BI	Groupe témoin	0.00
7	26.11		AFA	MFF	Groupe témoin	6.24
8	8.88		AF	BI	Groupe témoin	2.96
9	8.21		AGR	BI	Groupe témoin	3.01
10	8.46		AGR	MFF	Groupe témoin	1.95
11	1.16		AGR	SB	Groupe témoin	0.00
12	11.15		AGR	BI	Groupe témoin	0.00
13	5.64		AGR	BI	Groupe témoin	0.00
14	3.07		AGR	BI	Groupe témoin	1.96
15	10.95		AGR	BI	Groupe témoin	0.00
16	6.37		AGR	BI	Groupe témoin	8.57
17	44.25		AFA	MFF	Groupe témoin	0.00
18	6.72		AGR	BI	Groupe témoin	0.99
19	12.13		AGR	SB	Groupe témoin	0.00
20	4.77		AGR	BI	Groupe témoin	5.23
21	7.34		AGR	SB	Groupe témoin	0.00
22	8.61		AGR	BI	Groupe témoin	1.05
23	23.60		AFA	MFF	Groupe témoin	2.71
24	3.74		AGR	BI	Groupe témoin	0.00

Figure 22 : Interface graphique du logiciel SIPINA

6.2.3 Détermination de la méthode optimale d'apprentissage

Comme nous l'avons indiqué précédemment, il était difficile d'effectuer un choix d'algorithme *a priori*, considérant le manque de critères objectifs. Nous avons donc pris le parti, laborieux, mais justifié, de manipuler plusieurs algorithmes sur un mode exploratoire, afin de trouver un arbre de décision qui nous semble le plus efficace en nous basant sur le mode opératoire suivant :

- Test de chacun des algorithmes de manière non supervisée, c'est-à-dire en ne modifiant pas les paramètres d'entrée et en ne modifiant pas la structure de l'arbre manuellement (suppression ou ajout de branches);

- Test de modification de certains paramètres d'entrée et observation de leurs répercussions sur l'arbre généré;
- Intervention manuelle sur l'arbre par ajout ou suppression de branches;
- Vérification de la fiabilité du modèle par calcul de l'erreur en test par l'emploi d'une matrice de confusion.

Le tout est réalisé dans la perspective de création d'un arbre de décision dont la structure se confronte avec succès à notre connaissance du phénomène.

À noter qu'une synthèse descriptive des différents algorithmes testés est disponible sur un blogue professionnel destiné au logiciel SIPINA (http://sipina.over-blog.fr/categorie-10370111.html).

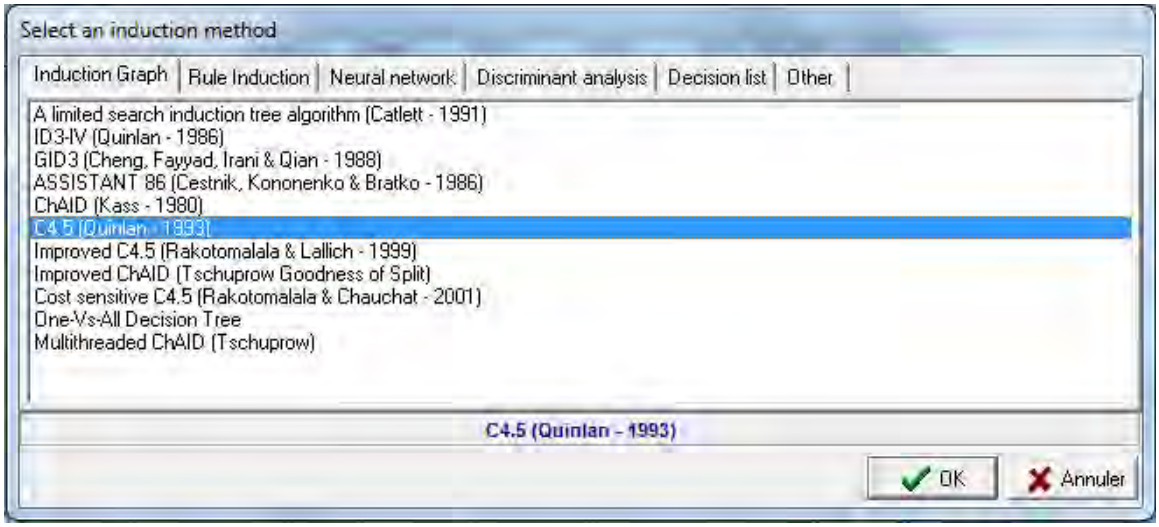


Figure 23 : Les différents algorithmes proposés dans SIPINA

6.2.3.1 Concernant la spécialisation de certains algorithmes

À l'observation des différents algorithmes, on constate d'emblée que certains sont produits dans un cadre bien spécifique. C'est le cas, par exemple, de l'algorithme A limited search induction tree algorithm (Catlett – 1991), dans lequel l'opérateur définit le nombre de nœuds (ou de segmentations) à l'avance. Cette méthode déterministe est conseillée spécifiquement pour de très gros volumes de données, ce qui est loin d'être notre cas. L'algorithme Multithreaded ChAID (Tschuprow) est aussi écarté d'emblée dans la mesure où il vise aussi le traitement de très gros volumes de données tout en étant redondant avec Improved ChAID (Tschuprow Goodness of Split), si ce n'est qu'il est conçu pour mieux exploiter les ressources d'ordinateurs dotés de multiples processeurs.

Nous avons écarté l'algorithme One-Vs-All Decision Tree pour deux raisons, l'une dérivant de l'autre. Comparativement aux autres algorithmes, il n'existe pas de descriptif disponible dans les tutoriels du logiciel SIPINA ni des paramètres associés, rendant difficile un emploi avisé de ce dernier. On retrouve par ailleurs la référence de l'approche « un contre tous » dans différentes documentations spécialisées, mais aucune de celles-ci ne nous éclaire de manière satisfaisante. Néanmoins, nous avons pris la peine de

tester cet algorithme en prenant soin de laisser les différents paramètres par défaut. Cela nous a permis de constater que les résultats étaient loin d'être concluants, avec un choix de segmentation très peu satisfaisant (ex. : au troisième niveau, regroupement des modalités faibles et élevées de connectivité forestière au sein d'une feuille) et une probabilité résultante avoisinant les 17 % de classer un site routier de manière erronée.

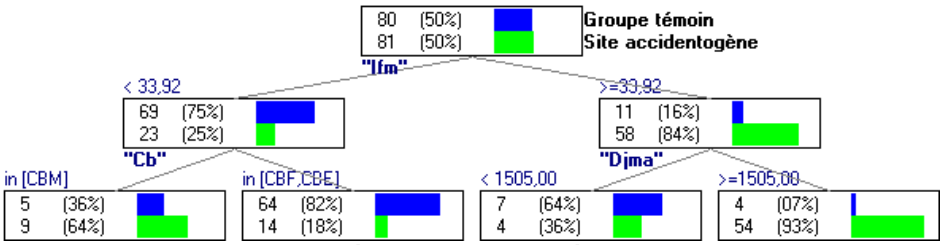


Figure 24 : Arbre de décision avec la méthode « One-vs-All »

6.2.3.2 Concernant le choix des variables prédictives

Les tests nous montrent qu'aucun algorithme n'utilise l'ensemble des six variables possibles. Dans les faits, le nombre maximum de variables prédictives relevées dans nos tests est de quatre. Mais, comme l'exemple précédent en témoigne, ce n'est pas parce qu'une variable est utilisée qu'elle est forcément pertinente. Par exemple, Assistant 86 utilise la connectivité forestière bilatérale au septième niveau de segmentation (figure 25) et crée deux feuilles. La première feuille rassemble les individus affectés d'une connectivité faible et moyenne (12 sites accidentogènes contre 4 sites témoins). La seconde rassemble les individus affectés d'une connectivité élevée (3 sites témoins contre 0 site accidentogène). Si l'on suit la logique non supervisée de l'arbre de décision, cela signifie que la feuille rassemblant les individus affectés d'une connectivité élevée n'est pas accidentogène, logique fondée sur la pureté de la feuille qui donne 100 % de sites témoins (3) contre 0 % de sites accidentogènes. Ce qui ne résiste pas à la confrontation avec notre connaissance du phénomène. Cette branche devrait donc être supprimée manuellement (post-élagage).

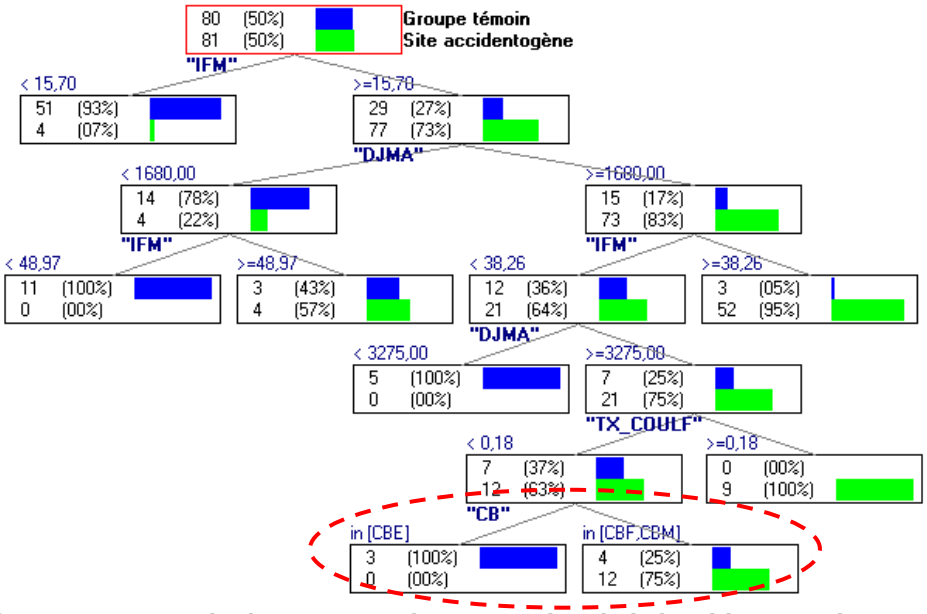


Figure 25 : Exemple de segmentation excessive de l'algorithme Assistant 86

De même, pour l'ensemble des algorithmes, les deux premiers niveaux de segmentation sont occupés par seulement trois variables prédictives (IFM ou DJMA ou PF). Cela tend à confirmer que ces trois variables sont les plus discriminantes. De plus, la littérature indique qu'il y a un lien de cause à effet entre la taille de l'effectif observé et la taille de l'arbre résultant; plus l'effectif est restreint (et c'est le cas de nos travaux), moins on a de probabilités d'obtenir un arbre profond (présentant beaucoup de niveaux) avec beaucoup de feuilles. Cela s'explique entre autres par le fait que plus on s'élève dans l'arborescence, moins le nombre d'individus restants dans chacune des feuilles de l'arbre sera suffisant pour occasionner une nouvelle segmentation.

À l'inverse et en toute logique, il existe certaines variables prédictives qui sont difficilement utilisables dans un contexte où l'objectif est de parvenir à une « pureté » optimale des feuilles de l'arbre. C'est le cas en particulier de deux variables, soit la connectivité bilatérale (CB) et la proportion de couloir forestier (TX_COULF). Si on observe la connectivité bilatérale, on s'aperçoit que chacune des modalités de cette variable regroupe un nombre relativement similaire de sites accidentogènes avec 24 sites de type « connectivité bilatérale faible », 30 de type « connectivité bilatérale moyenne » et 27 de type « connectivité bilatérale élevée ». Cela signifie que l'utilisation de cette variable dans les premiers niveaux de segmentation est à éviter sous peine de perdre du même coup la possibilité de bien classer près d'un tiers des sites accidentogènes. On peut faire le même constat en ce qui concerne la proportion de couloirs forestiers. En effet, on remarque que 23 des 81 sites accidentogènes ne sont caractérisés d'aucun couloir forestier (TX_COULF = 0 %). Cela signifie que si on se fonde sur le taux de couloirs forestiers dans les premier et deuxième niveaux de segmentation, on aboutit irrémédiablement au classement erroné de 28 % des sites accidentogènes.

Il est également possible de constater que deux modèles caractéristiques ressortent. Le premier est doté d'un premier niveau de segmentation fondé sur l'indice forestier moyen (6 algorithmes sur 8). Le second est fondé sur le patron forestier (ID3-IV et ChAID). On remarque d'ailleurs que le second obtient de manière systématique une erreur en test plus importante. Dans le même ordre d'idées, on note une tendance lourde relativement à certaines variables prédictives ainsi qu'à certains seuils de segmentation. Ainsi, six fois sur huit, c'est l'IFM qui est utilisé comme variable de premier niveau et le DJMA est systématiquement utilisé comme variable de second niveau.

De même, on retrouve une grande similitude entre les bornes de segmentation. Ainsi, 6 fois sur 8, les individus sont segmentés au premier niveau sur la base d'un indice forestier moyen inférieur (<) ou supérieur ou égal (≥) à 15,7 % et 6 fois sur 8, les individus sont segmentés au second niveau sur la base d'un DJMA inférieur (<) ou supérieur ou égal (≥) à 1 680 véhicules/jour.

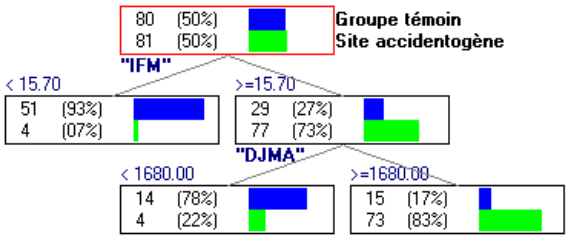


Figure 26 : Segmentation fondée sur l'indice forestier

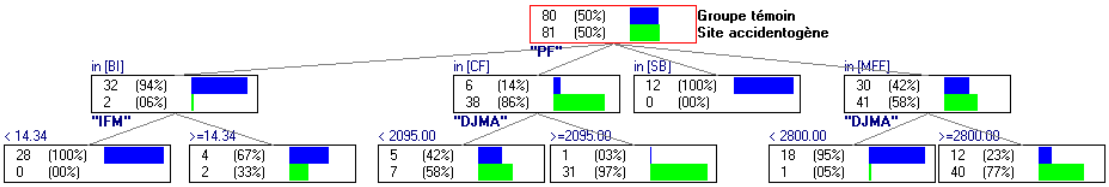


Figure 27: Segmentation fondée sur le patron forestier

6.2.3.3 Concernant l'erreur en test de l'arbre de décision

En ce qui a trait à l'erreur en test (rappelons qu'elle donne une estimation non biaisée de la performance de l'arbre de décision), on constate des variations notables entre l'erreur la plus faible (C4.5), avec 6,21 %, et la plus élevée (partagée par GID3 et Improved ChAID), avec 14,29 %. Par ailleurs, si l'on s'attarde à l'algorithme Cost sensitive C4.5, on constate que cette méthode est une variante de C4.5 intégrant explicitement une matrice de coûts de mauvais classement lors de l'exploration de l'espace des solutions. Cette variante est fondée sur le principe que lors d'une analyse, les coûts de mauvais classements ne sont pas symétriques. Dans un problème à deux classes (sites accidentogènes contre sites témoins), prédire de façon erronée l'absence de risque sur un site accidentogène n'a pas la même signification que de prédire de manière erronée l'existence d'un risque sur un site témoin. C'est une démarche séduisante. Cependant, le problème est qu'elle ne supporte pas l'étape de mise en pratique. En effet, nous avons fait le test : classer un site accidentogène en site témoin coûte deux fois plus que l'inverse. L'algorithme cherche donc par tous les moyens à éviter de mal classer un site accidentogène. Cela produit une matrice de confusion qui donne l'impression d'un modèle très performant, puisque l'ensemble des 81 sites accidentogènes est correctement classé avec une erreur en test égale à 8,69 % :

Lignes : valeurs observées Colonnes : valeurs prédites	Prédiction négative (site témoin)	Prédiction positive (site accidentogène)
Modalité négative (site témoin)	66	14
Modalité positive (site accidentogène)	0	81

Pourtant, lorsqu'on considère l'arbre de décision ainsi généré, on constate que la réalité du phénomène n'est pas respectée. En effet, 4 sites accidentogènes sont classés dans

une feuille sur la base d'une expression logique équivalant à dire que les sites d'indice forestier moyen inférieur à 15,7 %, mais supérieur à 9,05 %, avec un DJMA supérieur ou égal à 5 450 véhicules/jour, mais inférieur à 24 800 véhicules/jour ont une probabilité élevée d'être des sites accidentogènes, Ce qui, dans la pratique, est faux. Or, si l'on retire manuellement ce nœud erroné, on aboutit exactement au même arbre que C4.5, ce qui nous fait dire qu'il n'est pas judicieux de considérer cette notion de coût dans notre démarche.

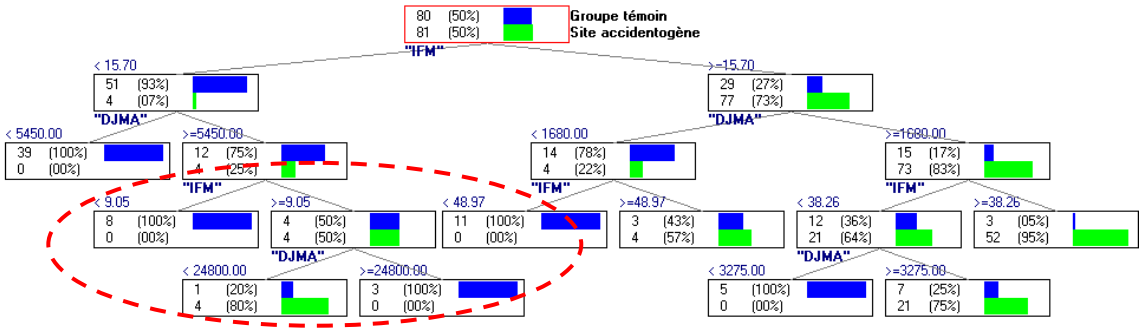


Figure 28 : Segmentation fondée sur le coût différentiel

On remarque aussi que les algorithmes Assistant 86 et C4.5 génèrent des arbres de décision qui se ressemblent beaucoup, mais que C4.5 a une erreur en test moins importante. Cet algorithme possède d'ailleurs la meilleure performance à ce titre, avec une probabilité de mauvais classement de seulement 6,21 %. Cependant, une observation plus fine permet de constater qu'à partir du sixième niveau, plus précisément le niveau où surviennent des différences entre les deux algorithmes, les segmentations ne sont plus pertinentes. Par exemple, C4.5 créé une feuille de 3 individus avec 2 sites témoins (soit 67 %) et 1 site accidentogène (soit 33 %) sur la base d'une segmentation de la variable DJMA au seuil de 33 750 véhicules/jour. Cette donnée nous permet de pronostiquer une probabilité plus grande qu'il s'agisse de sites témoins pour les sites ayant un DJMA supérieur ou égal à 33 750 véhicules/jour.

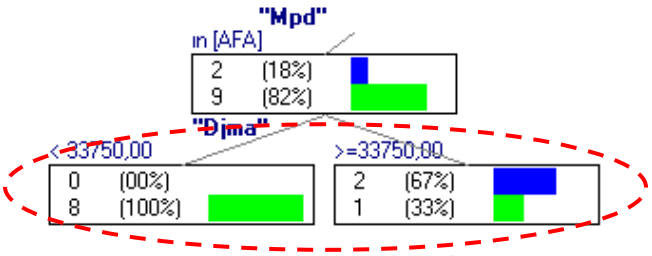


Figure 29 : Exemple de segmentation erronée sur le DJMA avec C4.5

Dans le même sens, on retrouve à la figure 30 l'exemple de deux segmentations (niveaux 6 et 7) réalisées avec Assistant 86 qui posent problème. Au sixième niveau, l'algorithme crée une segmentation fondée sur le taux de couloirs forestiers (seuil à 0,18 %). Cette segmentation est pertinente dans la mesure où elle génère une feuille pure (à droite) avec neuf sites accidentogènes. Le problème, c'est que l'autre feuille abrite encore une majorité de sites accidentogènes, comprenant un nombre non négligeable d'individus de cette classe (12). De même, au septième niveau, l'algorithme crée une segmentation fondée sur la connectivité forestière bilatérale et rassemble en une même feuille les sites caractérisés par une modalité faible et moyenne et, dans

l'autre, les sites affectés d'une modalité élevée. Or, dans cette dernière se retrouvent uniquement trois sites témoins. Suivant la logique du modèle, les sites affectés d'une connectivité forestière bilatérale élevée ont une probabilité plus grande d'être des sites témoins, ce qui, encore une fois, ne supporte pas la confrontation avec la réalité.

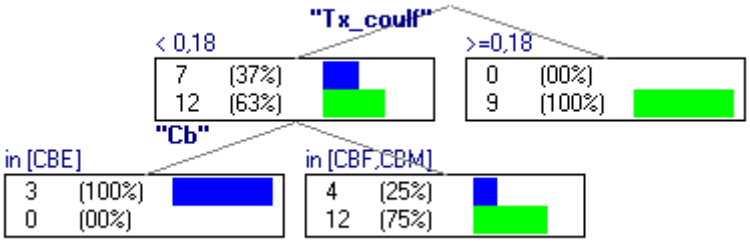


Figure 30 : Exemple de segmentation erronée sur la connectivité forestière bilatérale avec Assistant 86

En définitive, une fois l'étape de post-élagage manuel effectuée, nous pouvons dégager une structure d'arborescence récurrente (six algorithmes sur huit) fondée uniquement sur deux variables prédictives : l'indice forestier moyen et le DJMA. Cet arbre de décision donne la matrice de confusion suivante :

Lignes : valeurs observées Colonnes : valeurs prédites	Prédiction négative (site témoin)	Prédiction positive (site accidentogène)
Modalité négative (site témoin)	67	13
Modalité positive (site accidentogène)	4	77

On obtient un taux d'erreur e de 10,5 %, qui équivaut à affirmer qu'il existe une probabilité de 10,5 % de classer un site routier de manière erronée et, inversement, 89,5 % de classer ce site correctement :

$$e_t = \frac{13 + 4}{67 + 13 + 4 + 77}$$

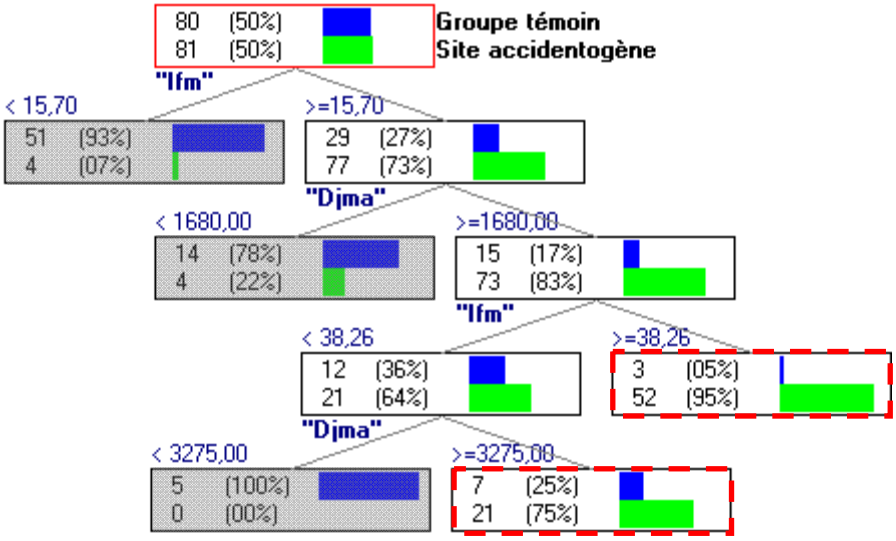


Figure 31 : Arbre de décision issu des tests algorithmiques

6.3 Raffinement spatial du modèle prédictif

Le modèle mis au point se révèle particulièrement intéressant dans la mesure où on parvient à développer un « classifieur » pertinent qui utilise seulement deux variables prédictives, soit l'indice forestier moyen et le DJMA. Cela sous-entend que ces deux variables sont celles qui illustrent le mieux l'aléa-cerf (IFM) d'une part et, d'autre part, la vulnérabilité-véhicules (liée au DJMA), soit les deux composantes du risque de CVC.

Par contre, la contrepartie de l'efficacité du modèle est de laisser de côté plusieurs variables explicatives. On obtient ainsi un modèle peu discriminant du point de vue spatial. L'appliquer tel quel conduirait à inclure une portion trop importante du réseau routier dans la règle prédictive.

Or, si l'on examine les 83 individus (73 sites accidentogènes et 10 sites témoins) inclus dans les deux feuilles désignées comme « accidentogènes » (tirets rouges), on note que des modalités de certaines variables non utilisées sont sous-représentées. Il s'agit plus précisément du milieu paysager dominant (MPD) et du patron forestier (PF). Dans le premier cas (MPD), on retrouve seulement un individu affecté d'une modalité « agricole » et cinq (dont trois sites accidentogènes) affectés d'une modalité de type « urbain ». Dans le second cas (PF), on retrouve seulement un individu (un site accidentogène) affecté d'une modalité de type « boisé isolé » et aucun affecté d'une modalité de type « sans boisé ». Ces constats sont à mettre en perspective avec les variables « connectivité forestière bilatérale » (CB) et « couloir forestier » (TX_COULF), qui, dans les mêmes feuilles terminales, sont encore largement représentées. Par exemple, on a 31 individus affectés d'un taux nul de couloir forestier, dont 24 sont des sites accidentogènes. De même, on obtient une répartition à peu près égale des individus quant à la connectivité forestière (CB), avec 25 individus classés dans la modalité « faible », 29 dans la modalité « moyenne » et 29 dans la modalité « élevée ».

Suivant ce raisonnement, et considérant que celui-ci est étayé par des constats antérieurs, nous avons décidé d'amender la règle prédictive en y intégrant deux critères supplémentaires, à savoir :

- **L'élimination des sites affectés d'un MPD de type « agricole » ou « urbain »;**
- **L'élimination des sites affectés d'un PF de type « sans boisé » ou « boisé isolé ».**

En conséquence, la matrice de confusion est modifiée, générant un taux d'erreur plus important équivalant à 12,4 % encore tout à fait satisfaisant. Par contre, et c'est là l'avantage de la méthode, on obtient un raffinement du modèle, qui revient à circonscrire davantage dans l'espace les portions considérées à risque accidentogène :

Lignes : valeurs observées Colonnes : valeurs prédites	Prédiction négative (site témoin)	Prédiction positive (site accidentogène)
Modalité négative (site témoin)	72	8
Modalité positive (site accidentogène)	12	69

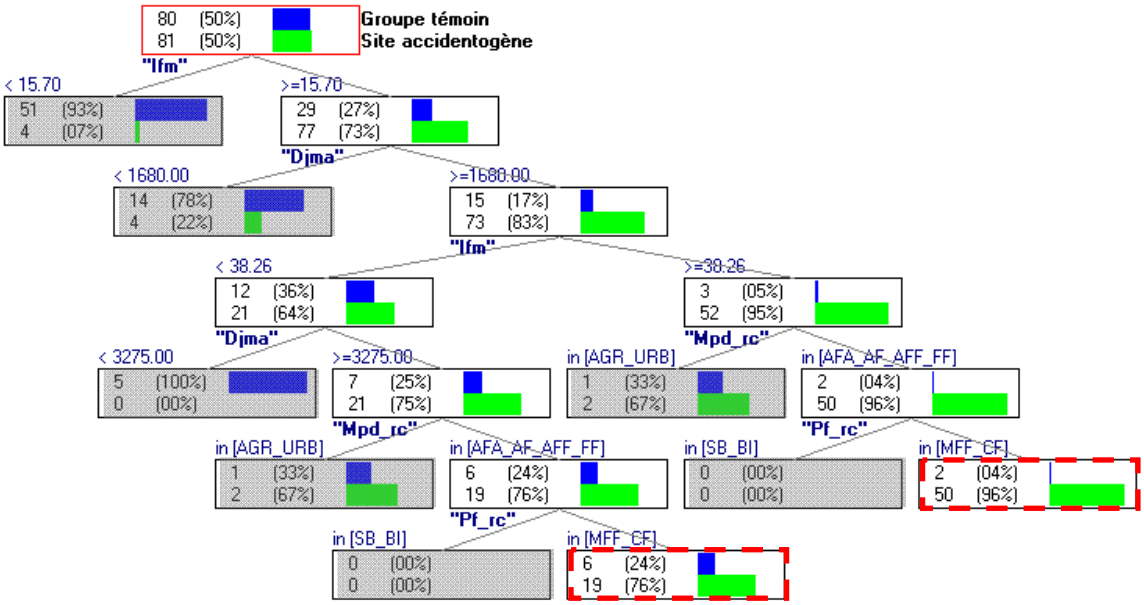


Figure 32 : Arbre de décision du modèle prédictif de la présence d'un site accidentogène

Voici, ci-dessous, la règle issue de l'utilisation de la technique de l'arbre de décision. Cette règle est la base du modèle prédictif qui sera déployé dans la partie suivante.

Si *"Ifm" >=15.70* ***et*** *"Djma" >=1680* ***et*** *"Ifm" >=38.26* ***et*** *"Mpd_rc" dans [AFA_AF_AFF_FF]* ***et*** *"Pf_rc" dans [MFF_CF]*

ou

Si *"Ifm" >=15.70* ***et*** *"Djma" >=1680* ***et*** *"Ifm" < 38.26* ***et*** *"Djma" >=3275* ***et*** *"Mpd_rc" dans [AFA_AF_AFF_FF]* ***et*** *"Pf_rc" dans [MFF_CF]*

6.4 Déploiement du modèle prédictif sur le réseau routier de la Montérégie

Comme expliqué plus haut, le modèle prédictif mis au point fait appel à un certain nombre de variables prédictives. Pour être déployé, ce modèle doit disposer d'indices spatiaux (reliés aux variables prédictives) applicables à l'ensemble du réseau routier supérieur, ce qui est le cas, hormis celui qui concerne le patron forestier et dont la production reposait initialement sur la photo-interprétation.

6.3.1 Création d'indices spatiaux

Si l'on résume les indices spatiaux nécessaires au déploiement du modèle prédictif, on obtient ceci :

- Pour l'**indice forestier moyen (IFM)**, on utilise la méthode présentée précédemment. L'indice forestier moyen affecté à l'unité spatiale considérée correspond donc à la moyenne des indices forestiers des pixels de 1 km^2 qui se retrouvent à l'intérieur de la zone;
- Pour le **DJMA** : on utilise le DJMA qui chevauche l'unité spatiale considérée. Lorsque l'unité spatiale chevauche plusieurs DJMA, on tient compte du DJMA le plus représenté;
- Pour le **milieu paysager dominant (MPD)** : on utilise la méthode exposée à la partie 3.2.6, qui consiste à caractériser l'unité spatiale considérée selon la proportion d'occupation du sol sur la base des critères suivants :
    - Milieu agricole : si la proportion d'occupation agricole du sol est égale ou supérieure à 75 %;
    - Milieu agroforestier : si la proportion cumulée d'occupation agricole et forestière du sol est égale ou supérieure à 75 %;
    - Milieu agroforestier à dominante agricole : si la proportion d'occupation agricole du sol est égale ou supérieure à 60 % à l'intérieur du milieu agroforestier;
    - Milieu agroforestier à dominante forestière : si la proportion d'occupation forestière du sol est égale ou supérieure à 60 % à l'intérieur du milieu agroforestier;
    - Milieu forestier : si la proportion d'occupation forestière du sol est égale ou supérieure à 75 %.
    - Les pixels restants sont classés en milieu urbain.

- Pour le **patron forestier (PF)** : À ce stade, le patron forestier est la seule variable à encore nécessiter l'élaboration d'un indice spatial. Cela est facilité par le fait qu'on cherche uniquement à discriminer les modalités « sans boisé » et « boisé isolé » de la modalité « massif forestier fragmenté » et « continuum forestier ». Pour ce faire, nous avons utilisé une source d'information déjà disponible, soit le taux de couverture forestière de l'unité spatiale considérée. Il permet d'identifier le seuil de 10 % comme étant suffisamment discriminant :
    - Sans boisé et boisé isolé : taux de couverture forestière inférieur ou égal à 10 %;
    - Massif forestier fragmenté et continuum forestier : taux de couverture forestière supérieur à 10 %.

En appliquant ces critères aux 161 sites accidentogènes et témoins, on obtient 143 sites (89 %) classés dans la bonne modalité, c'est-à-dire que la classification déduite de l'indice spatial correspond effectivement à la classification issue de la photo-interprétation. Ce résultat nous apparaît satisfaisant, d'autant plus que l'indice utilisé est aisément reproductible.

6.3.2 Segmentation du réseau routier en unités spatiales d'analyse

Le déploiement du modèle prédictif nécessite deux étapes supplémentaires relatives à la segmentation du réseau routier :

- La première consiste à déterminer une donnée source qui symbolise le réseau routier;
- La seconde est de définir une unité spatiale minimale qui détermine le chaînage de la segmentation.

En ce qui concerne la donnée source, nous nous sommes logiquement appuyés sur une donnée à référence spatiale provenant du MTQ. Plus précisément, nous nous sommes basés sur la couche linéaire du DJMA qui résulte d'une simplification des segments routiers de la BGR avec un double avantage. D'une part, cette couche d'information contient déjà le DJMA et, d'autre part, sa géométrie ne tient pas compte des voies doubles (ex. : autoroutes), des bretelles et autres échangeurs, dont la conservation est inutile et qui engendreraient par ailleurs des doublons dans l'information ou des segments de trop petite taille pour être signifiants.

En ce qui concerne la dimension du chaînage, quelle qu'en soit la longueur, il semble évident qu'elle engendre forcément une segmentation arbitraire du réseau routier qui, à son tour, influence la caractérisation des unités spatiales à travers des variables prédictives (ou indices spatiaux). Pour déterminer cette dimension, nous nous sommes appuyés sur l'observation de la taille des 81 sites accidentogènes à l'étude. Il en est ressorti que c'est dans l'intervalle 1 300-1 600 mètres que l'on retrouve le plus de sites accidentogènes (33,3 %), ce qui a conduit à fixer la longueur des segments de chaînage à 1 500 mètres.

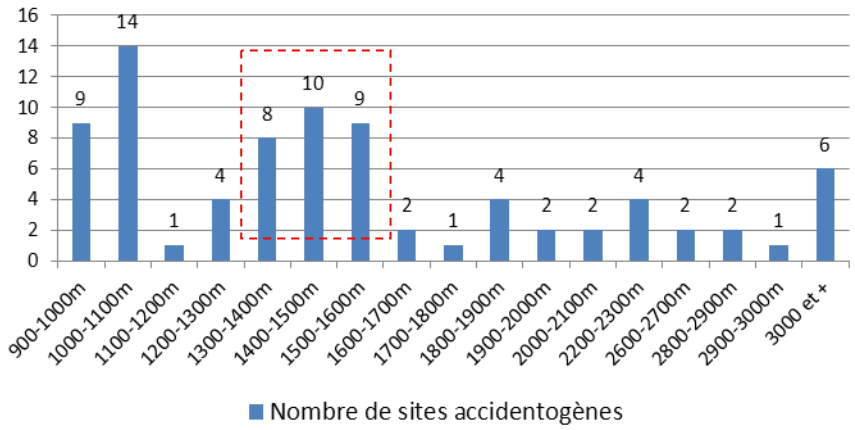


Figure 33 : Répartition des longueurs des sites accidentogènes

Utilisant les critères ainsi définis, nous avons procédé à une segmentation du réseau routier en unités de 1 500 mètres. Étant donné que la longueur des différents tronçons routiers ne correspond pas forcément à un multiple de 1 500 m, on retrouve une portion de segments de taille inférieure. Les segments d'une taille minimum de 900 mètres (taille minimum relevée du côté des sites accidentogènes) ont été conservés. Nous avons ainsi obtenu 1 979 segments routiers couvrant 2 933 kilomètres, soit 96,6 % des 3 036 kilomètres inclus dans la couche linéaire du DJMA. Par la suite, nous avons produit une zone tampon d'un kilomètre de diamètre, correspondant à une largeur de 500 mètres de part et d'autre des segments routiers. Cette zone tampon servant au calcul des différents indices est affectée d'un identifiant unique identique au segment routier correspondant, permettant ainsi d'attribuer les différents indices calculés à l'échelle de la zone tampon aux segments et réciproquement.

Une fois le calcul des indices spatiaux effectué, la règle prédictive a été appliquée à l'ensemble des segments routiers caractérisés; ceux sur lesquels la règle se vérifiait se sont vu affecter la classe « tronçon à risque de concentration de CVC ».

6.3.3 Résultats

La figure 34 illustre les résultats du déploiement du modèle prédictif sur le réseau routier de la Montérégie. Sur un total de 3 036 kilomètres, on retrouve 658 kilomètres classés à risque, soit 22 % du réseau considéré (réseau DJMA du MTQ). Les tronçons à risque englobent 73 des 81 sites accidentogènes, soit 90 % des sites. En ce qui concerne la longueur, les tronçons à risque recouvrent 125,5 kilomètres des 135,7 kilomètres de sites accidentogènes, soit 92,5 % de la longueur des sites.

Cette portion du réseau classée à risque inclut par ailleurs 2 194 des 4 954 CVC survenus entre 2003 et 2007 et qui se situent sur la partie du réseau considérée dans la segmentation, ce qui représente 44,3 % de la totalité des accidents. Le ratio CVC/km sur cette portion du réseau est de 3,72, soit plus du double du ratio moyen du réseau supérieur qui est de 1,63 CVC/km (4 954 CVC/3 036 km).

Nous avons passé en revue les sites accidentogènes n'ayant pas été relevés par le modèle prédictif afin de mieux cerner les éléments à l'origine de cette situation, en nous appuyant en particulier sur les photos aériennes de 2006. Ces observations montrent

que parmi les neuf sites concernés, huit sont effectivement affectés de variables environnementales qui ne concordent pas avec la règle prédictive. Un seul n'a pas été relevé en raison de l'imprécision d'un des indices spatiaux.

Ainsi, on peut considérer que le modèle prédictif s'applique pour les sites suivants :

- Site accidentogène 28, sur la route 219, au sud d'Hemmingford, en raison d'un DJMA (520 véhicules/jour) inférieur au seuil de 1 680 véhicules/jour;
- Site accidentogène 36, sur la route 325, à Très-Saint-Rédempteur, en raison d'un DJMA trop faible (530 véhicules/jour);
- Site accidentogène 38, sur la route 202, à Havelock, en raison d'un DJMA trop faible (1 240 véhicules/jour);
- Site accidentogène 25, sur la route 112, à la limite de Marieville et Richelieu en raison d'un indice forestier moyen inférieur au seuil de 15,7 %;
- Site accidentogène 41, sur l'autoroute 10, à Saint-Alphonse, en raison d'un paysage dominant de type « agricole » (81 % d'occupation du sol agricole);
- Site accidentogène 58, sur la route 116 à Saint-Liboire en raison d'un indice forestier moyen (13,9 %) inférieur au seuil;
- Site accidentogène 78, sur la route 219 à Saint-Cyprien-de-Napierville en raison d'un indice forestier (14,47 %) inférieur au seuil;
- Site accidentogène 79, sur l'autoroute 15, à la limite de Saint-Jacques-le-Mineur et de Saint-Patrice-de-Sherrington en raison d'un indice forestier moyen (10,94 %) inférieur au seuil et ce, malgré un taux de couverture forestière de 45,6 %.

Les indices spatiaux sont en question uniquement pour le site accidentogène 53, sur la route 112, à Carignan. Dans ce cas précis, le segment de route chevauchant ce site a été affecté d'un patron forestier de types « sans boisé » et « boisé isolé » et d'un paysage dominant de type « agricole », alors que la photo-interprétation l'avait classé en « massif forestier fragmenté » avec un paysage dominant de type « agroforestier à dominante agricole ». Cet écart découle de l'imprécision de la couche forestière de CanVec qui sous-estime la superficie boisée du secteur.

On observe par ailleurs des portions du réseau classées à risque en l'absence de tout site accidentogène. Néanmoins, on note avec intérêt que plusieurs de ces portions sont effectivement affectées par le phénomène des CVC, et ce, d'une manière plus prononcée que celle qui affecte les tronçons voisins. Nous prendrons pour exemple la portion de 6 kilomètres au nord du tronçon à risque situé sur la route 201, entre Ormstown et Franklin, qui cumule 20 CVC entre 2003 et 2007, soit un ratio de 3,3 CVC/km, ce qui correspond au double du ratio régional moyen de 1,63 CVC/km. C'est également le cas d'un tronçon classé à risque situé sur l'autoroute 20, entre Rivière-Beaudette et Saint-Zotique, affecté de 11 CVC sur 3 kilomètres (ratio de 3,7 CVC/km), ou encore d'un tronçon de 7,5 kilomètres situé sur la route 201, entre Sainte-Marthe et Rigaud, avec 26 CVC sur 5 ans, soit un ratio de 3.5 CVC/km.

À l'inverse, on recense quelques cas isolés de portions classées à risque alors qu'elles ne comptent aucun CVC enregistré durant les cinq dernières années. L'observation plus

attentive de ces sites permet d'avancer une explication plausible. On a, par exemple, le cas d'un tronçon de 1,5 kilomètre sur l'autoroute 20, à la hauteur de Coteau-du-Lac. On réalise que ce tronçon est accoté au canal de Soulanges. De ce fait, il n'existe pour le cerf de Virginie pratiquement aucune possibilité de traversée. Donc, en dépit des variables qui concordent avec la règle prédictive (IFM de 18,3 %, DJMA de 3 500 véhicules/jour, paysage dominant de type « agroforestier à dominante forestière », etc.), on comprend dès lors pour quelle raison ce site n'est pas propice à la concentration de CVC.

Notons aussi le cas d'un tronçon de 1,5 kilomètre sur la route 235, à hauteur de Farnham, segment qui n'aurait pas dû être classé à risque du fait qu'il abrite beaucoup moins de superficies forestières que CanVec ne l'indique, ce qui influe, par voie de conséquence, sur l'indice forestier moyen, sur le paysage dominant et sur le patron forestier. En réalité, l'indice forestier de 17,9 % aurait dû être moindre et, à l'inverse, la superficie agricole évaluée à 71,3 % aurait dû être plus importante. Cela a pour origine un déboisement d'une superficie de près de 40 hectares effectué depuis la dernière mise à jour de la couche forestière de CanVec.

On remarque par ailleurs le cas des portions des routes 132 et 207 qui traversent Kahnawake. Comme énoncé plus tôt dans cette étude, nous relions cette situation à l'absence de rapport de police qui conduit à une méconnaissance de l'ampleur du phénomène. Notons enfin le cas d'un tronçon de 1,5 kilomètre sur la route numérotée 67220 (rue Maple), à Sutton. Le DJMA de 2 500 véhicules/jour qui correspond à la valeur la plus présente sur ce segment nous semble moins représentatif lorsqu'on le met en relation avec la valeur du DJMA dans la partie est du segment (1 060 véhicules/jour). La valeur supérieure (2 500 véhicules/jour) correspond surtout à l'entrée de la ville de Sutton.

En définitive, si ces résultats nous paraissent fort intéressants, il faudra tenir compte de l'incidence de la qualité des données sources sur la fiabilité des résultats. Il nous reste maintenant à réaliser le test du déploiement du modèle prédictif sur la région voisine de l'Estrie.

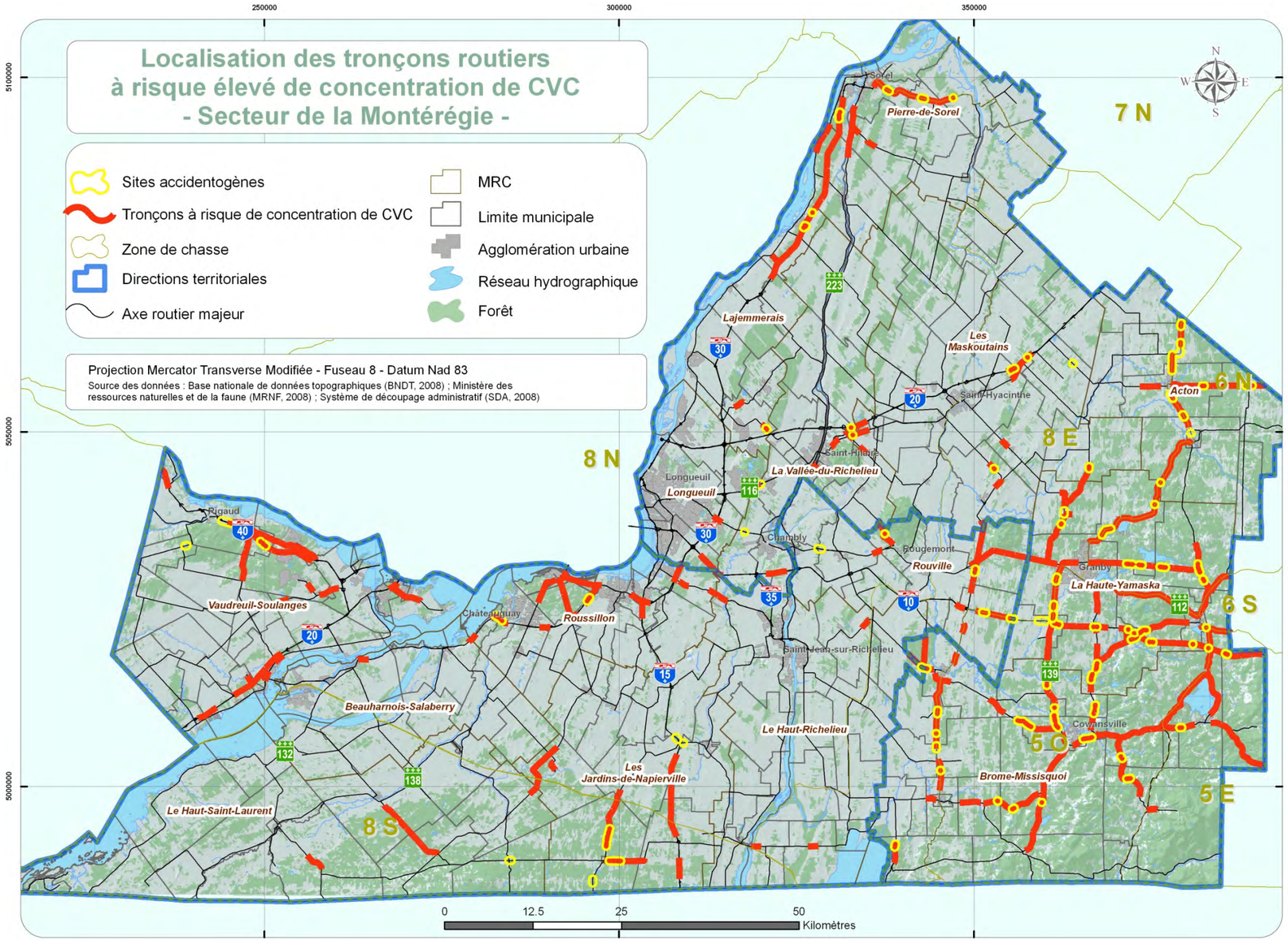


Figure 34 : Carte du risque de concentration de CVC en Montérégie

Transports Québec

RAPPORT FINAL

Analyse spatiale des conditions environnementales propices aux collisions routières impliquant le cerf de Virginie

Région de la Montérégie

Produit par

GéoMont

Janvier 2011
Saint-Hyacinthe

6.4 Déploiement du modèle prédictif sur l'Estrie

En vue de la réalisation du déploiement, nous nous sommes appuyés d'une part sur les mêmes données contextuelles que celles de la Montérégie (ex. : CanVec) ainsi que sur celles qui nous ont été fournies par le MTQ, direction régionale de l'Estrie (réseau routier BGR, DJMA et accidents entre 2005 et 2008).

6.4.1 Application du modèle prédictif

Le mode opératoire est strictement identique à celui utilisé pour la Montérégie, c'est-à-dire que les mêmes indices spatiaux ont été appliqués aux mêmes types de segments (900 mètres à 1 500 mètres). Par la suite, la même règle prédictive a prévalu.

La figure 35 illustre les résultats du déploiement du modèle prédictif sur le réseau routier de l'Estrie. Sur un total de 1 823 kilomètres, on retrouve 627 kilomètres classés à risque, soit une proportion de 34,4 % du réseau. Cette portion du réseau classée à risque regroupe par ailleurs 2 242 des 4 850 CVC survenus entre 2005 et 2008 sur le réseau considéré sur le plan de la segmentation, ce qui représente 46,2 % de la totalité des accidents. Le ratio CVC/km sur cette portion du réseau est de 3,58, ce qui représente un ratio supérieur au ratio moyen régional, qui s'élève à 2,66 CVC/km (4 850 CVC/1 823 km). L'écart entre ces deux ratios est moindre que celui observé en Montérégie, ce qui, de notre point de vue, traduit le caractère plus diffus du phénomène en Estrie, où la dichotomie « agricole comparativement à forestier » est beaucoup moins marquée.

6.4.2 Comparaison avec la localisation des sites accidentogènes

La détermination des sites accidentogènes a été réalisée en suivant la méthode de l'échelle mobile qui, rappelons-le, consiste à passer en revue chaque CVC survenu sur le réseau routier supérieur et à définir une zone tampon circulaire dont le rayon égale la distance retenue au stade de la définition des critères (1 kilomètre = 500 mètres de rayon de part et d'autre du CVC). Chacun des CVC se voit affecté du nombre de CVC voisins répertoriés à l'intérieur de cette zone tampon, plus un, correspondant à sa propre occurrence. La condition est cependant que les CVC voisins soient situés sur la même route, ce qui évite d'affecter des CVC situés à proximité immédiate, mais sur d'autres routes.

Après avoir réalisé le traitement des données d'accidents des 4 années disponibles, soit de 4 925 CVC, on obtient, pour chacun des CVC, le nombre de CVC voisins dans un rayon de 500 mètres. À l'observation du sommaire statistique issu du traitement des données, on voit que le minimum est à 1 (correspondant aux CVC n'ayant aucun voisin dans un rayon de 500 mètres) et le maximum à 40. On retrouve une moyenne de 6,26 et un écart-type de 5,13. Nous avons décidé de nous baser sur cet écart-type pour nous doter d'un nombre-seuil discriminant. Dans ce but, nous n'avons conservé que les valeurs de CVC/km supérieures à un écart-type, **donc supérieures ou égales à 11 CVC/km**. Sur la base de ce nombre-seuil supérieur ou égal à 11 CVC/km sur 4 ans, nous obtenons 55 tronçons accidentogènes d'une longueur de 926 mètres pour le plus court, et 5 205 mètres pour le plus long, avec une moyenne située à 1 905 mètres.

Au final, les tronçons à risque englobent 45 des 55 sites accidentogènes, soit 82 % des sites. En ce qui a trait à la longueur, les tronçons à risque recouvrent 81 kilomètres des 92,5 kilomètres de sites accidentogènes, soit 87,5 % de la longueur des sites (figure 35).

Malgré le potentiel discriminant du modèle prédictif un peu plus faible en Estrie qu'en Montérégie, il demeure intéressant de prendre en considération les résultats produits sur cette région. Ces résultats peuvent, entre autres, nous amener à jeter un nouvel éclairage sur la problématique des CVC en Estrie. Ils tempèrent l'idée que cette problématique a un caractère généralisé sur l'ensemble du réseau routier supérieur (Gagné, 2000) puisque notre démarche permet de circonscrire le risque de concentration de CVC à seulement un tiers du territoire. Dans le même sens, s'il est évident qu'aucun secteur n'est véritablement épargné par la problématique des CVC, nous avons pu néanmoins mettre en évidence l'existence de sites de concentration élevée de CVC.

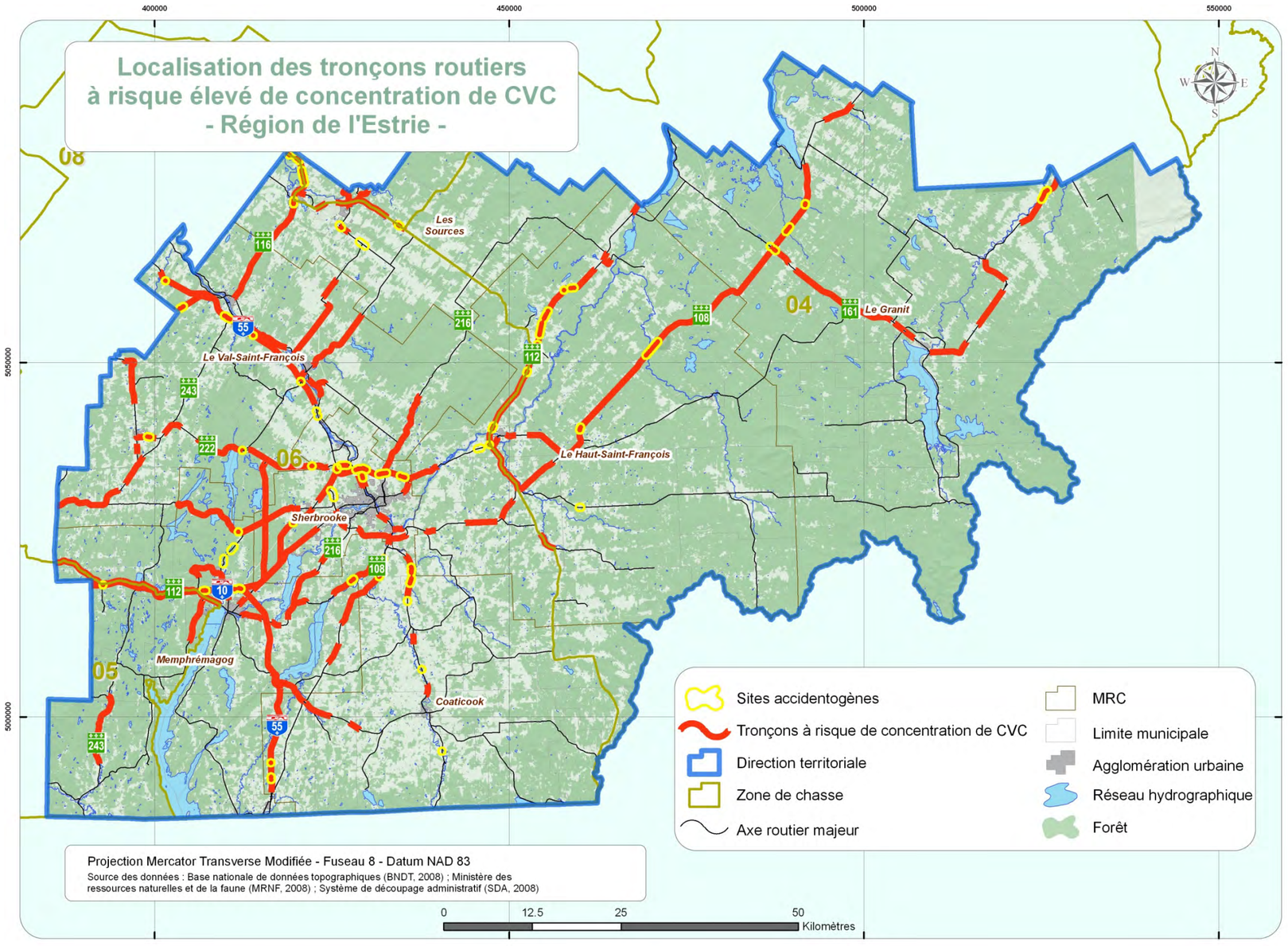


Figure 35 : Carte du risque de concentration de CVC en Estrie

Transports Québec

RAPPORT FINAL

Analyse spatiale des conditions environnementales propices aux collisions routières impliquant le cerf de Virginie

Région de la Montérégie

Produit par

GéoMont

Janvier 2011
Saint-Hyacinthe

7. DISCUSSION ET PROSPECTIVES

7.1 Sur l'intérêt du projet dans un contexte décisionnel

Au terme d'un projet qui nous a permis d'aller plus avant dans la compréhension du phénomène des conflits routiers impliquant le cerf de Virginie dans le contexte spécifique de la Montérégie et, subsidiairement de l'Estrie, nous sommes en mesure d'avancer un certain nombre de conclusions.

D'abord, le zonage du risque de concentration de CVC, qui est une des résultantes principales de notre travail, peut constituer un outil d'aide à la décision utile pour le ministère des Transports. Par là même, il donne une vision du phénomène des CVC qui gagne en permanence par rapport à la seule prise en compte des sites accidentogènes.

Pour appuyer notre propos, nous avons fait le test de générer des sites accidentogènes correspondant à la période 1997 à 2002 (période qui n'était pas prise en compte à l'étape de la mise en œuvre de l'échelle mobile) en utilisant le seuil de 9 CVC/km. Il en est résulté 96 sites accidentogènes. Or, seuls 47 des 81 sites accidentogènes (57 %) de la période 2003-2007 chevauchent partiellement ou en totalité un des 96 sites de la période 1997-2002. Cela traduit le caractère nomade du phénomène, puisque 49 sites de la période 1997-2002 n'ont pas réapparu par la suite.

Par contre, on constate que 79 des 96 sites (82,3 %) viennent se superposer partiellement ou en totalité à l'intérieur du zonage du risque produit. Ainsi retrouve-t-on des cas comme celui d'un tronçon de trois kilomètres zoné à risque sur la route 202, à Hinchinbrooke qui, s'il n'abritait pas de site accidentogène de la période 2003-2007 en abritait un dans la période précédente. On relèvera également le tronçon de 3 km situé sur la route 116, à Acton Vale, ou encore un tronçon de 1,5 km situé sur l'autoroute 30, à Châteauguay.

Une application concrète de ce zonage pourrait consister pour le MTQ en un positionnement efficace des panneaux de signalisation relatifs à la présence du cerf de Virginie. Notons à sujet que sur les 161 panneaux actuellement disposés sur le réseau régional, seuls 77 le sont à l'intérieur du zonage ciblé dans l'étude. Dans le même ordre d'idées, on retrouve des panneaux de signalisation sur seulement 17 des 42 routes les plus exposées aux CVC. Toujours en matière de signalisation, nous estimons qu'il pourrait être utile d'utiliser ce zonage dans le processus de ciblage optimal d'implantation de signalisation à messages variables (PMV).

Aussi, compte tenu du coût important qu'engendrent d'éventuels aménagements et dispositifs techniques de mitigation, une autre utilité possible de ce zonage serait de réserver ces installations à des secteurs dont on est pratiquement assuré qu'ils sont affectés par une certaine permanence quant à l'importance du phénomène, ce qui ne serait pas le cas en se fondant uniquement sur la présence d'un site accidentogène.

Toujours au sujet des mesures de mitigation et dans une optique de concertation avec d'autres partenaires, comme le MRNF, ce zonage pourrait entrer en ligne de compte dans une démarche de contrôle ciblé des populations de cerfs de Virginie, et ce, plus

particulièrement par une meilleure focalisation des secteurs de chasse intensive ou d'abattage professionnel.

7.2 Sur certains aspects de la méthodologie

Concernant la détermination des variables explicatives du risque de CVC, il nous est apparu que le principal défi ne résidait pas dans l'élaboration d'une variable de vulnérabilité, traduisant l'exposition au risque dans la mesure où le DJMA remplit parfaitement cette fonction. Néanmoins, nous avons mis en évidence qu'il n'existait pas de relation linéaire entre l'augmentation du DJMA et celle des CVC. L'essentiel du travail relatif à l'identification des variables explicatives du risque de CVC a donc porté sur les facteurs d'aléa, donc sur les différents paramètres expliquant la présence d'un cerf sur le réseau routier à un moment donné et en un lieu donné.

Pour la Montérégie, l'information utile (récolte sportive, inventaires aériens) sur la présence du cerf et sur ses mouvements saisonniers était trop parcellaire pour être prise en compte exclusivement. Il a donc été nécessaire de produire des indices indirects à base environnementale et, dans cette optique, il est clair que la géomatique a représenté un outil de prédilection. Dans la mesure où les protocoles d'inventaires aériens permettraient d'affiner la répartition des populations de cervidés, une démarche de constitution d'un zonage du risque s'en trouverait grandement facilitée.

Concernant les données sources permettant de renseigner les variables explicatives, l'utilisation de la photo-interprétation et le recours aux vidéographies routières témoignent de notre préoccupation en matière de qualité et de précision de l'information. Cependant, dans le contexte d'une application à l'échelle régionale, nous avons été conduits à nous appuyer sur des données sources comme la base fédérale de données CanVec, pour décrire l'occupation du territoire tout en ayant à l'esprit les limites inhérentes à cette information (précision, actualisation). Dans le cas où un projet comparable devrait être reproduit, il serait important au préalable de bien considérer la disponibilité de données contextuelles actualisées, en particulier, celles concernant le milieu forestier.

Dans le même ordre d'idées, il nous paraît évident que tout processus visant à une meilleure localisation des accidents routiers en général et des CVC en particulier aurait pour conséquence d'augmenter de façon notable l'efficacité de ce type de modèle prédictif.

Plus qu'un parti pris de départ, c'est notre cheminement intellectuel qui nous a conduits à aborder le phénomène des conflits véhicule/cerf, non pas sous le seul angle spatial, mais aussi dans une optique double et complémentaire dans laquelle étaient pris en compte également les critères temporels. Ainsi, nous avons mis en évidence la grande variabilité temporelle du risque, c'est-à-dire une variabilité annuelle, saisonnière et horaire. Si cette prise en compte des facteurs spatiotemporels avait déjà été le fait de précédentes études, l'intérêt de notre travail a été de documenter ces facteurs à l'échelle du territoire montérégien et de les avoir transcrits dans des formes aisément accessibles et reproductibles.

Si notre travail a porté principalement sur le réseau routier supérieur, la démarche qui l'a sous-tendu peut, si nécessaire, être appliquée au réseau municipal, étant entendu qu'une fraction non négligeable des CVC se produit sur ce réseau.

En conclusion, il ne paraît pas présomptueux d'affirmer, à ce stade de notre travail, que nous nous sommes efforcés de répondre aux objectifs énoncés lors de l'amorce du projet. Ces objectifs étaient de :

- Progresser dans la compréhension du phénomène des conflits routiers impliquant le cerf de Virginie;
- Localiser et de caractériser l'environnement des sites accidentogènes tout en relevant les facteurs spatiotemporels explicatifs du phénomène à différentes échelles d'observation;
- Nourrir la réflexion sur le ciblage et la mise en place de mesures de mitigation.

Tout en élaborant un système d'information et d'aide à la décision (SIAD) servant de support à l'interprétation des facteurs explicatifs relatifs aux CVC.

BIBLIOGRAPHIE

Québec – Canada

BEAUDOIN, M., M. ROBERGE, 2006. Étude de la distribution des accidents de la route causés par le cerf de Virginie, Document non publié. Ministère des Transports du Québec, Direction de l'Ouest-de-la-Montérégie, Châteauguay. 110 p.

CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, 2006. Paramètres d'exposition chez les mammifères – Cerf de Virginie. Fiche descriptive. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. 27 p.

CHRISTIE, J. S., S. NASON, 2003. Analysis of vehicle collisions with moose and deeron New-Brunswick arterial highways, Université du Nouveau-Brunswick, préparé dans le cadre de la 31e Conférence annuelle de la Société canadienne de génie civil, Moncton, Nouveau-Brunswick, du 4 au 7 juin 2003. 11 p.

DE BELLEFEUILLE, S., M. POULIN, 2004. Mesures de mitigation visant à réduire le nombre de collisions routières avec les cervidés. Ministère des Transports du Québec, Études et recherches en transport. 117 p.

DUSSAULT, C., M. POULIN, J.-P. OUELLET, R. COURTOIS, C. LAURIAN, M. LEBLOND, J. FORTIN, L. BRETON et H. JOLICOEUR, 2005. Existe-t-il des solutions à la problématique des accidents routiers impliquant la grande faune?, Le naturaliste canadien, volume 129, numéro 1, p. 57-62.

DUSSAULT, C., M. POULIN, R. COURTOIS et J.-P. OUELLET, 2004. Répartition temporelle et spatiale des accidents routiers impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides de 1990 à 2002. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune, Québec, Québec. 47 p.

LAGACÉ, J., N. BELLEMARE, 1997. Enquête sur la chasse en milieu périurbain. Fédération québécoise de la faune. 15 p.

MÉNARD, J., Y. BÉDARD, 2009. Portrait des problématiques concernant la grande faune et le réseau routier du Québec. Ministère des Transports du Québec, Service des inventaires et du Plan, 15 p.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, 2005. Le cerf de Virginie, comment faire face aux dommages qu'il peut causer dans la région de la Chaudière-Appalaches. Fascicules 1 à 5, [en ligne], http://www.mrnf.gouv.qc.ca/Chaudiere-Appalaches/faune/experimentation-dommages-cerf.jsp (consulté en mars 2009).

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC, 2000. Collisions avec la grande faune sur le réseau supérieur régional de l'Estrie (05). Fiche de promotion environnementale FPE-02, Direction de l'Estrie, 6 p.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC et SOCIÉTÉ DE L'ASSURANCE AUTOMOBILE DU QUÉBEC, 2001. Politique de sécurité dans les transports 2001-2005 : volet routier. Service des politiques de sécurité du ministère des Transports et Service des études et stratégies en sécurité routière de la Société de l'assurance automobile du Québec. Gouvernement du Québec, 112 p.

SOUCY-GONTHIER, Danielle MARCEAU, Marc DELAGE, Alain COGLIASTRO, Gérald DOMON et André BOUCHARD, 2003. Détection de l'évolution des superficies forestières en Montérégie entre juin 199 et août 2002 à partir d'images satellitaires LANDSAT-TM, Agence forestière de la Montérégie. 34 p.

États-Unis – Europe

BISSONETTE, J., KASSAR, C., 2008. Locations of deer-vehicle collisions are unrelated to traffic volume or posted speed limit, Human-Wildlife Conflicts 2 (1), p. 122-130.

BRILHAC, J.-F., 2006. Approche théorique des risques. Paris : UVED, 2006. [En ligne] http://www.uved.fr/fileadmin/user_upload/modules_introductifs/module3/risques/1.1/html/2_2-2_1.html#2-2-2 (consulté en janvier 2009).

AIPCR, COMITÉ TECHNIQUE DE LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE, 2004. Manuel de sécurité routière, Association mondiale de la route (AIPCR). 500 p.

D'ANGELO, G., WARREN, R., MILLER, K., GALLAGHER, G., VALITZSKI, S., 2004. Evaluation of strategies designed to reduce deer-vehicle collisions, Daniel B. Warnell School of Forestry and Natural Resources, University of Georgia. Department of Animal Sciences, Berry College, 74 p.

DANIELSON, J., HUBBARD, M. W., 1998. A literature review for assessing the status of current methods of reducing deer-vehicle collisions, The Iowa Department of Transportation and the Iowa Department of Natural Resources. 38 p.

HUIJSER, M. P., A. KOCIOLEK, P. McGOWEN, A. HARDY, A. P. CLEVENGER, R. AMENT, 2007. Wildlife vehicle collision and crossing mitigation measures : a toolbox for the Montana department of transportation, Montana State University. Western Transportation Institute, 112 p.

Maine Interagency Work Group on Wildlife/Motor Vehicle Collisions, 2001. Collisions Between Large Wildlife Species and Motor Vehicles in Maine Interim Report, 34 p.

MEYER, E., 2006. Assessing the effectiveness of deer warning signs, Kansas Department of Transportation,KansasStateUniversity, the University of Kansas, 135 p.

MICHELOUD, F-X., 1997. L'analyse des correspondances. [En ligne] http://www.micheloud.com/FXM/COR/index.htm (consulté en avril 2010).

MYERS W., W. CHANG, S. GERMAINE, W. VANDER HAEGEN, T. OWENS, 2008. An analysis of deer andelk-vehicle collision sites along state highways in WashingtonState. Completion Report, WashingtonDepartment of Fish and Wildlife. Olympia. 40 p.

PICON, B., P. ALLARD, C. CLAEYS-MEKDADE, S. KILLIAN, 2006. Gestion du risque inondation et changement social dans le delta du Rhône - les catastrophes de 1856 et 1993-1994, Cemagref, 124p.

REED, D.F., T. D. I. BECK, T. N. WOODWARD, 1982. Methods of reducing deer-vehicle accidents: benefit cost analysis. Wildlife Society Bulletin, 10:349-354.

Webographie

Site Web de AI Access, spécialisé dans les tutoriels et la formation sur l'exploration de données (*data mining*)
http://www.aiaccess.net/f_arbres.htm (consulté en décembre 2010)

Site Web SIPINA, dédié à des tutoriels sur le logiciel SIPINA spécialisé dans l'induction des arbres de décision. http://sipina.over-blog.fr/ (consulté en décembre 2010)

Site Web du Groupe de Recherche en Apprentissage Automatique de l'université de Lille 3, France, dédié à l'apprentissage automatique et aux arbres de décisions.
http://www.grappa.univ-lille3.fr/polys/apprentissage/sortie004.html. (consulté en décembre 2010)

Annexe 1

Description des sites accidentogènes de la Montérégie

Annexe 1 : Description des sites accidentogènes de la Montérégie

Numéro	DT	MRC	Municipalité	Route	RTSS	Classe fonctionnelle	Nom de la route	Long. (m)	nb CVC	ratio CVC/km
1	DEM	La Haute-Yamaska	Granby	00139	0013903087000C	Nationale	Route 139	1 597,55	14	8,76
2	DEM	La Haute-Yamaska	Roxton Pond	00139	0013903140000C	Nationale	Route 139	1 033,34	11	10,65
3	DEM	La Haute-Yamaska	Roxton Pond	00139	0013903140000C	Nationale	Route 139	1 006,92	9	8,94
4	DEM	Acton	Roxton Falls	00139	0013903180000C	Nationale	Route 139	998,87	10	10,01
5	DEM	Acton	Acton Vale	00139	0013903200000C	Nationale	Route 139r.	1 406,32	12	8,53
6	DEM	La Haute-Yamaska	Roxton Pond	00139	0013903120000C	Nationale	Route 139	2 681,62	28	10,44
7	DEM	Acton	Acton Vale	00139	0013903210000C	Nationale	Route 139	1 771,77	17	9,59
8	DEM	Acton	Saint-Théodore-d'Acton	00139	0013903250000C	Nationale	Route 139	5 945,45	52	8,75
9	DEM	Brome-Missisquoi	Stanbridge East	00202	0020203110000C	Régionale	Route 202	1 090,20	9	8,26
10	DEM	Brome-Missisquoi	Dunham	00202	0020203120000C	Régionale	Route 202	1 305,53	9	6,89
11	DEM	Les Maskoutains	Saint-Valérien-de-Milton	00211	0021101020000C	Régionale	Chemin de Milton	1 304,20	13	9,97
12	DEM	Brome-Missisquoi	Dunham	00213	0021301031000C	Régionale	Route 213	1 010,34	9	8,91
13	DEM	Acton	Saint-Théodore-d'Acton	00139	0013903250000C	Nationale	Route 139	1 498,57	12	8,01
14	DEM	Brome-Missisquoi	Saint-Ignace-de-Stanbridge	00235	0023501070000C	Régionale	Route 235	1 093,89	9	8,23
15	DEM	Brome-Missisquoi	Saint-Ignace-de-Stanbridge	00235	0023501080000C	Régionale	Route 235	1 452,65	13	8,95
16	DEM	Brome-Missisquoi	Sainte-Sabine	00235	0023501090000C	Régionale	Route 235	999,19	8	8,01
17	DEM	Lajemmerais	Sainte-Julie	00229	0022902070000C	Régionale	Montée des Quarante-Deux	1 191,43	9	7,55
18	DEM	Les Maskoutains	Saint-Pie	00235	0023502091000C	Régionale	Route 235 r.	1 094,48	10	9,14
19	DEM	Brome-Missisquoi	Sainte-Sabine	00235	0023501090000C	Régionale	Route 235	1 529,36	12	7,85
20	DEM	Brome-Missisquoi	Brigham	00241	0024101030000C	Régionale	Route 241	2 255,86	18	7,98
21	DEM	La Haute-Yamaska	Bromont	00241	0024101067000C	Régionale	Route 241	3 566,98	37	10,37
22	DEM	La Haute-Yamaska	Saint-Joachim-de-Shefford	00241	0024101170000C	Régionale	Route 241	1 296,66	10	7,71
23	DEM	La Haute-Yamaska	Saint-Joachim-de-Shefford	00241	0024101170000C	Régionale	Route 241	2 257,15	19	8,42
24	DEM	La Haute-Yamaska	Roxton Pond	69691	6969105000000C	Collectrice	Boulevard David-Bouchard	3 243,75	30	9,25
25	DOM	Rouville	Marieville	00112	0011202040000D	Nationale	Route 112	1 511,91	12	7,94
26	DOM	Roussillon	Léry	00132	0013203017000D	Nationale	Boulevard René-Lévesque	2 257,07	22	9,75
27	DOM	Les Jardins-de-Napierville	Hemmingford	00202	0020201170000C	Régionale	Route 202	2 622,19	27	10,30
28	DOM	Les Jardins-de-Napierville	Hemmingford	00219	0021901011000C	Collectrice	Chemin de la Frontière	1 518,17	12	7,90
29	DOM	Rouville	Ange-Gardien	00010	0001002120000D	Autoroute	Autoroute 10	1 490,23	15	10,07
30	DOM	Rouville	Saint-Paul-d'Abbotsford	00235	0023502050000C	Régionale	Chemin de L'Ange-Gardien	1 483,23	10	6,74
31	DOM	Vaudreuil-Soulanges	Vaudreuil-Dorion	00040	0004001030000D	Autoroute	Autoroute 40	2 001,07	17	8,50
32	DOM	Rouville	Rougemont	00229	0022901011000C	Collectrice	Chemin de Marieville	1 222,87	10	8,18

33	DOM	Roussillon	Saint-Constant	00030	0003002070000D	Autoroute	Autoroute 30	1 599,36	15	9,38
34	DOM	Les Jardins-de-Napierville	Hemmingford	00219	0021901040000C	Collectrice	Route 219	3 553,23	40	11,26
Numéro	**DT**	**MRC**	**Municipalité**	**Route**	**RTSS**	**Classe fonctionnelle**	**Nom de la route**	**Long. (m)**	**nbre CVC**	**ratio CVC/km**
35	DOM	Vaudreuil-Soulanges	Rigaud	00040	0004001024000D	Autoroute	Autoroute 40	2 800,56	27	9,64
36	DOM	Vaudreuil-Soulanges	Très-Saint-Rédempteur	00325	0032501090000C	Collectrice	Route principale	1 302,44	9	6,91
37	DEM	Brome-Missisquoi	Lac-Brome	00104	0010407170000C	Régionale	Route 104	1 311,59	12	9,15
38	DOM	Le Haut-Saint-Laurent	Havelock	00202	0020201130000C	Régionale	Route 202	1 298,45	10	7,70
39	DEM	Brome-Missisquoi	Cowansville	00104	0010407090000C	Régionale	Route 104	3 164,97	28	8,85
40	DEM	La Haute-Yamaska	Saint-Joachim-de-Shefford	69691	6969106000000C	Collectrice	8e Rang Ouest	1 801,35	19	10,55
41	DEM	La Haute-Yamaska	Saint-Alphonse	00010	0001002132000D	Autoroute	Autoroute 10	1 985,97	14	7,05
42	DEM	La Haute-Yamaska	Bromont	00010	0001002161000D	Autoroute	Autoroute 10	991,23	10	10,09
43	DEM	La Haute-Yamaska	Bromont	00010	0001002150000D	Autoroute	Autoroute 10	1 485,27	21	14,14
44	DEM	La Haute-Yamaska	Bromont	00010	0001002161000D	Autoroute	Autoroute 10	1 508,92	9	5,96
45	DEM	La Haute-Yamaska	Shefford	00010	0001002191000D	Autoroute	Autoroute 10	997,95	11	11,02
46	DEM	Brome-Missisquoi	Bolton-Ouest	00010	0001002210000D	Autoroute	Autoroute 10	1 328,42	10	7,53
47	DEM	La Vallée-du-Richelieu	Mont-Saint-Hilaire	00020	0002004013000D	Autoroute	Autoroute 20	1 000,76	9	8,99
48	DEM	La Haute-Yamaska	Waterloo	00010	0001002191000D	Autoroute	Autoroute 10	997,96	14	14,03
49	DEM	Les Maskoutains	Saint-Simon	00020	0002004110000D	Autoroute	Autoroute 20	998,10	12	12,02
50	DEM	Lajemmerais	Contrecœur	00030	0003003104000D	Autoroute	Autoroute 30	996,92	10	10,03
51	DEM	Les Maskoutains	Saint-Hyacinthe	00020	0002004090000D	Autoroute	Autoroute 20	1 625,46	15	9,23
52	DEM	Lajemmerais	Contrecœur	00030	0003003104000D	Autoroute	Autoroute 30	1 345,53	12	8,92
53	DEM	La Vallée-du-Richelieu	Carignan	00112	0011201121000D	Nationale	Route 112	998,69	10	10,01
54	DEM	Le Bas-Richelieu	Sorel-Tracy	00030	0003003121000D	Autoroute	Autoroute 30	1 988,47	18	9,05
55	DEM	La Haute-Yamaska	Shefford	00112	0011202290000C	Nationale	Route112	1 060,87	9	8,48
56	DEM	La Haute-Yamaska	Granby	00112	0011202231000C	Nationale	Route 112	1 394,92	9	6,45
57	DEM	La Vallée-du-Richelieu	Mont-Saint-Hilaire	00116	0011602021000D	Nationale	Route 116	1 007,01	10	9,93
58	DEM	Les Maskoutains	Saint-Liboire	00116	0011602160000C	Nationale	Route 116	1 092,15	9	8,24
59	DEM	Acton	Acton Vale	00116	0011602230000C	Nationale	Route 116	1 298,43	11	8,47
60	DEM	La Vallée-du-Richelieu	Saint-Basile-le-Grand	00116	0011601200000D	Nationale	Route 116	1 598,30	14	8,76
61	DEM	Le Bas-Richelieu	Sorel-Tracy	00132	0013205080000C	Nationale	Route 132	1 472,74	11	7,47
62	DEM	Acton	Sainte-Christine	00116	0011602240000C	Nationale	Route 116	1 897,88	16	8,43
63	DEM	Le Bas-Richelieu	Yamaska	00132	0013205101000C	Nationale	Route 132.	1 002,15	10	9,98
64	DEM	Le Bas-Richelieu	Saint-Robert	00132	0013205090000C	Nationale	Route 132	1 515,38	11	7,26
65	DEM	La Haute-Yamaska	Sainte-Cécile-de-Milton	00137	0013701140000C	Nationale	Route 137	1 496,94	12	8,02
66	DEM	La Haute-Yamaska	Sainte-Cécile-de-Milton	00137	0013701140000C	Nationale	Route 137	1 097,97	9	8,20
67	DEM	Brome-Missisquoi	Lac-Brome	00139	0013901060000C	Régionale	Route 139	1 342,57	11	8,19

68	DEM	Brome-Missisquoi	Saint-Armand	00133	0013301040000C	Nationale	Route 133	1 441,11	11	7,63
69	DEM	Brome-Missisquoi	Sutton	00139	0013901050000C	Régionale	Route 139	1 572,02	15	9,54
Numéro	**DT**	**MRC**	**Municipalité**	**Route**	**RTSS**	**Classe fonctionnelle**	**Nom de la route**	**Long. (m)**	**nbre CVC**	**ratio CVC/km**
70	DEM	Brome-Missisquoi	Brigham	00139	0013903020000C	Régionale	Route 139	1618,80	15	9,27
71	DEM	Brome-Missisquoi	East Farnham	00139	0013903010000C	Régionale	Route 139	997,38	11	11,03
72	DEM	Brome-Missisquoi	Cowansville	00139	0013902040000C	Régionale	Route 139	2 838,05	30	10,57
73	DEM	Brome-Missisquoi	Dunham	00104	0010407130000C	Régionale	Route 104	2 265,16	24	10,60
74	DEM	Brome-Missisquoi	Farnham	00104	0010407010000C	Régionale	Route 104	1 842,48	15	8,14
75	DEM	La Haute-Yamaska	Saint-Alphonse	00010	0001002132000D	Autoroute	Autoroute 10	2 037,84	10	4,91
76	DEM	La Haute-Yamaska	Saint-Alphonse	00010	0001002140000D	Autoroute	Autoroute 10	1 882,85	10	5,31
77	DEM	La Haute-Yamaska	Granby	00139	0013903081000C	Nationale	Route 139	2 993,07	23	7,68
78	DOM	Les Jardins-de-Napierville	Saint-Cyprien-de-Napierville	00219	0021901090000C	Régionale	Montée Douglas	1 004,06	9	8,96
79	DOM	Les Jardins-de-Napierville	Saint-Jacques-le-Mineur	00015	0001501033000D	Autoroute	Autoroute 15	1 431,98	10	6,98
80	DEM	La Haute-Yamaska	Bromont	00241	0024101067000C	Régionale	Route 241	3 709,11	30	8,09
81	DEM	La Haute-Yamaska	Bromont	00010	0001002161000D	Autoroute	Autoroute 10	1 000,58	7	7,00

Annexe 2

Description des sites témoins de la Montérégie

Annexe 2 : Description des sites témoins de la Montérégie

Numéro	DT	MRC	Municipalité	Route	RTSS	Classe fonctionnelle	Nom de la route	Long. (m)	nbre CVC	ratio CVC/km
1	DOM	Rouville	Saint-Césaire	112	0011202130000C	Nationale	Route 112	1 696,94	1	0,59
2	DOM	Le Haut-Saint-Laurent	Ormstown	201	0020101071000C	Régionale	Rue Gale/Rue Church	2 219,76	0	0
3	DOM	Le Haut-Richelieu	Venise-en-Québec	202	0020202150000C	Régionale	58e Rue Ouest et Avenue de Venise Ouest	1 886,53	0	0
4	DEM	Longueuil	Longueuil	134	0013401090000D	Nationale	Route 134	1 745,73	0	0
5	DEM	Les Maskoutains	Saint-Simon	224	0022401080000C	Collectrice	Route 224	1 818,44	2	1,1
6	DOM	Les Jardins-de-Napierville	Saint-Cyprien-de-Napierville	219	0021901120000C	Régionale	Chemin de St-Cyprien	1 706,05	1	0,59
7	DOM	Vaudreuil-Soulanges	Sainte-Justine-de-Newton	325	0032501071000C	Collectrice	Montée de la Station/3e Rang/Montée Latulipe/2e Rang/Montée	1 694,08	2	1,18
8	DOM	Rouville	Richelieu	133	0013302010000C	Nationale	Chemin des Patriotes	1 726,03	2	1,16
9	DEM	Acton	Saint-Nazaire-d'Acton	72291	7229103000000C	Collectrice	Rang Brodeur	1 609,16	3	1,86
10	DEM	La Vallée-du-Richelieu	Saint-Basile-le-Grand	223	0022301140000C	Régionale	Boulevard Richelieu	1 732,64	0	0
11	DOM	Roussillon	Mercier	138	0013801182000C	Nationale	Boulevard Saint-Jean-Baptiste	1 704,2	1	0,59
12	DOM	Le Haut-Richelieu	Saint-Alexandre	65580	6558003000000C	Collectrice	Chemin de la Grande-Ligne	1 697,05	2	1,18
13	DOM	Les Jardins-de-Napierville	Saint-Rémi	221	0022101161000C	Régionale	Boulevard Saint-Rémi	1 693,69	0	0
14	DOM	Le Haut-Saint-Laurent	Très-Saint-Sacrement	138	0013801125000C	Nationale	Route 138	1 699,34	1	0,59
15	DEM	Les Maskoutains	La Présentation	70671	7067101000000C	Collectrice	Rang des Grands-Étangs	1 698,24	1	0,59
16	DEM	Acton	Saint-Théodore-d'Acton	72480	7248001000000C	Collectrice	Route Major	1 579,27	0	0
17	DEM	Les Maskoutains	Saint-Bernard-de-Michaudville	71450	7145002000000C	Collectrice	Route Michaudville	1 693,7	0	0
18	DEM	Brome-Missisquoi	Saint-Pierre-de-Véronne-à-Pike-River	133	0013301070000C	Nationale	Route 133	1 698,17	0	0
19	DOM	Le Haut-Saint-Laurent	Godmanchester	60773	6077301000000C	Collectrice	Montée Leblanc	1 696,48	1	0,59
20	DOM	Vaudreuil-Soulanges	Sainte-Justine-de-Newton	340	0034001040000C	Collectrice	Chemin de la Cité-des-Jeunes	1 696,06	0	0
21	DEM	Les Maskoutains	Saint-Damase	231	0023101040000C	Collectrice	Route 231	1 697,08	1	0,59
22	DEM	Les Maskoutains	Saint-Hyacinthe	20	0002004070000D	Autoroute	Autoroute 20	1 693,05	2	1,18
23	DOM	Le Haut-Saint-Laurent	Godmanchester	202	0020201020000C	Régionale	Chemin Sainte-Barbe/Chemin New Erin	1 876,88	3	1,6
24	DEM	La Vallée-du-Richelieu	Saint-Denis-sur-Richelieu	133	0013302160000C	Nationale	Route 133	1 707,81	0	0
25	DEM	Brome-Missisquoi	Frelighsburg	66980	6698001000000C	Collectrice	Chemin de Richford	1 789,69	0	0
26	DOM	Le Haut-Saint-Laurent	Godmanchester	138	0013801060000C	Nationale	Route 138	1 696,88	2	1,18
27	DEM	Lajemmerais	Contrecœur	30	0003003101000D	Autoroute	Autoroute 30	1 704,26	5	2,93
28	DOM	Le Haut-Richelieu	Lacolle	221	0022101011000C	Collectrice	Route 221	1 007,76	0	0
29	DEM	La Vallée-du-Richelieu	Saint-Denis-sur-Richelieu	133	0013302130000C	Nationale	Route 133	1 701,08	3	1,76
30	DOM	Roussillon	Saint-Mathieu	63719	6371902000000C	Collectrice	Chemin principal	1 720,92	0	0

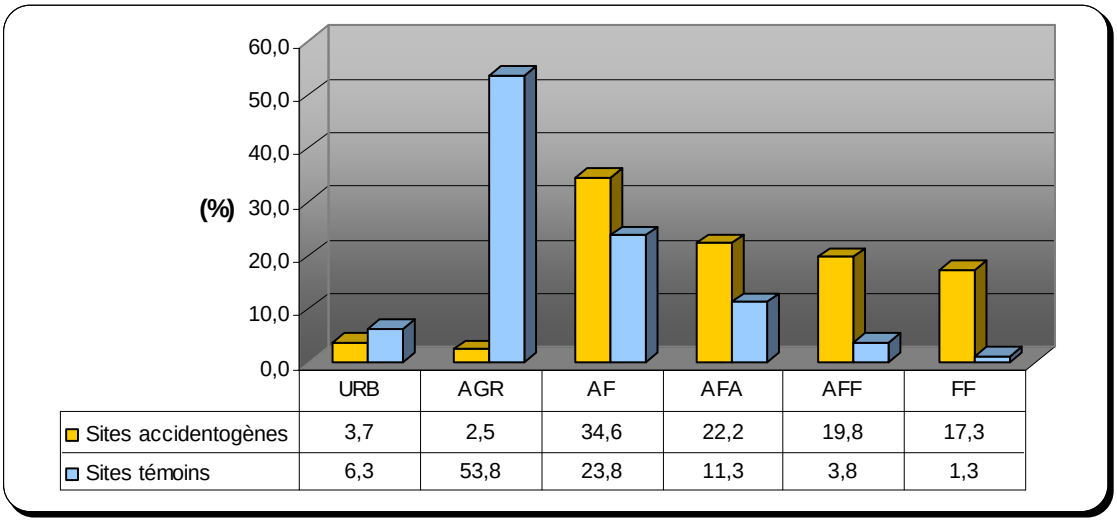
31	DOM	Le Haut-Richelieu	Saint-Jean-sur-Richelieu	104	0010405010000G	Nationale	Boulevard Saint-Luc	1 727	1	0,58
32	DOM	Le Haut-Richelieu	Saint-Paul-de-l'Île-aux-Noix	223	0022301030000C	Régionale	Route 223	1 700,03	5	2,94
33	DOM	Vaudreuil-Soulanges	Vaudreuil-Dorion	40	0004001051000D	Autoroute	Autoroute 40	1 698,59	3	1,77
34	DOM	Roussillon	Candiac	15	0001501070000D	Autoroute	Autoroute 15	1 697,76	4	2,36
Numéro	**DT**	**MRC**	**Municipalité**	**Route**	**RTSS**	**Classe fonctionnelle**	**Nom de la route**	**Long. (m)**	**nbre CVC**	**ratio CVC/km**
35	DEM	Le Bas-Richelieu	Saint-Robert	239	0023901020000C	Régionale	Route 239	1 736,82	0	0
36	DOM	Le Haut-Saint-Laurent	Hinchinbrooke	202	0020201061000C	Régionale	Route 202	1 796,27	2	1,11
37	DOM	Vaudreuil-Soulanges	Les Cèdres	338	0033801070000C	Régionale	Route 338	1 697,63	0	0
38	DOM	Vaudreuil-Soulanges	Vaudreuil-Dorion	540	0054001015000D	Autoroute	Autoroute 540	1 877,29	1	0,53
39	DOM	Le Haut-Richelieu	Saint-Georges-de-Clarenceville	202	0020202140000C	Régionale	Route 202	1 699,38	4	2,35
40	DEM	Les Maskoutains	Saint-Barnabé-Sud	71300	7130003000000C	Collectrice	Rang du Haut-Saint-Amable	1 739,54	3	1,72
41	DEM	Les Maskoutains	Sainte-Hélène-de-Bagot	20	0002004131000D	Autoroute	Autoroute 20	1 693,63	1	0,59
42	DOM	Vaudreuil-Soulanges	Saint-Clet	201	0020102071000C	Régionale	Route 201	1 699,19	0	0
43	DOM	Le Haut-Richelieu	Saint-Jean-sur-Richelieu	35	0003502034000D	Autoroute	Autoroute 35	1 699,96	2	1,18
44	DOM	Le Haut-Saint-Laurent	Très-Saint-Sacrement	60990	6099001000000C	Collectrice	Rang du Quarante	1 699,79	0	0
45	DEM	Brome-Missisquoi	Bedford	235	0023501020000C	Collectrice	Route 235	1 763,92	3	1,7
46	DEM	Les Maskoutains	Saint-Hyacinthe	231	0023101071000C	Collectrice	Route 231	1 726,99	1	0,58
47	DEM	Acton	Sainte-Christine	222	0022201031000C	Régionale	Route 222	1 738,9	7	4,03
48	DOM	Le Haut-Saint-Laurent	Saint-Chrysostome	203	0020301050000C	Collectrice	Rang Sainte-Anne	1 724,35	1	0,58
49	DOM	Rouville	Sainte-Angèle-de-Monnoir	227	0022702010000C	Régionale	Rang de L'Église	1 693,77	2	1,18
50	DEM	Lajemmerais	Contrecœur	132	0013205022000C	Nationale	Route 132	1 698,36	2	1,18
51	DEM	Les Maskoutains	Saint-Pie	235	0023502070000C	Régionale	Route 235	1 809,79	3	1,66
52	DOM	Les Jardins-de-Napierville	Saint-Édouard	61800	6180002000000C	Collectrice	Chemin principal	1 717,97	2	1,16
53	DOM	Les Jardins-de-Napierville	Saint-Patrice-de-Sherrington	15	0001501031000D	Autoroute	Autoroute 15	1 708,05	2	1,17
54	DOM	Rouville	Saint-Paul-d'Abbotsford	112	0011202180000C	Nationale	Rue principale Est	1 695,06	3	1,77
55	DOM	Les Jardins-de-Napierville	Saint-Bernard-de-Lacolle	202	0020202030000C	Régionale	Route 202	1 696,01	0	0
56	DOM	Le Haut-Richelieu	Lacolle	221	0022101051000C	Régionale	Route 221	1 698,27	2	1,18
57	DEM	Les Maskoutains	Saint-Hugues	224	0022401101000C	Collectrice	Route 224	1 694,08	0	0
58	DEM	Les Maskoutains	Saint-Liboire	211	0021101040000C	Régionale	Rang Saint-Georges	1 693,07	1	0,59
59	DOM	Vaudreuil-Soulanges	Très-Saint-Rédempteur	325	0032501090000C	Collectrice	Route principale	1 692,63	0	0
60	DEM	La Vallée-du-Richelieu	Saint-Charles-sur-Richelieu	133	0013302101000C	Nationale	Route 133	1 724,39	3	1,74
61	DOM	Le Haut-Saint-Laurent	Franklin	202	0020201090000C	Régionale	Route 202	1 696,91	1	0,59
62	DOM	Beauharnois-Salaberry	Saint-Stanislas-de-Kostka	236	0023601050000C	Régionale	Route 236	1 566,75	0	0
63	DOM	Beauharnois-Salaberry	Saint-Urbain-Premier	205	0020501050000C	Collectrice	Rang double/Rue principale	1 694,58	0	0
64	DOM	Vaudreuil-Soulanges	Coteau-du-Lac	20	0002001040000D	Autoroute	Autoroute 20	1 699,3	0	0
65	DEM	Acton	Upton	116	0011602170000C	Nationale	Route 116	1 694,06	5	2,95

66	DOM	Vaudreuil-Soulanges	Les Cèdres	20	0002001060000D	Autoroute	Autoroute 20	1 699,67	2	1,18
67	DEM	Les Maskoutains	Saint-Hyacinthe	137	0013701120000C	Nationale	Route 137	1 694,11	1	0,59
68	DEM	Longueuil	Brossard	10	0001001045000D	Autoroute	Autoroute 10	1 696,48	0	0
69	DEM	Longueuil	Longueuil	116	0011601170000D	Nationale	Route 116	1 693,85	1	0,59
Numéro	**DT**	**MRC**	**Municipalité**	**Route**	**RTSS**	**Classe fonctionnelle**	**Nom de la route**	**Long. (m)**	**nbre CVC**	**ratio CVC/km**
70	DEM	La Vallée-du-Richelieu	Saint-Basile-le-Grand	223	0022301140000C	Régionale	Boulevard Richelieu	1 699,8	0	0
71	DOM	Le Haut-Saint-Laurent	Saint-Anicet	132	0013201021000C	Nationale	Route 132	1 703,02	1	0,59
72	DEM	Longueuil	Boucherville	30	0003003020000D	Autoroute	Autoroute 30	1 696,47	3	1,77
73	DOM	Beauharnois-Salaberry	Salaberry-de-Valleyfield	201	0020101200000D	Nationale	Boulevard Mgr-Langlois	1 697,72	1	0,59
74	DOM	Roussillon	La Prairie	15	0001501101000D	Autoroute	Autoroute 15	1 709,18	0	0
75	DOM	Roussillon	Saint-Constant	209	0020901180000C	Régionale	Rang et Rue Saint-Pierre	1 759,22	2	1,14
76	DEM	Acton	Béthanie	72551	7255103000000C	Collectrice	Chemin de Béthanie	1 698,97	0	0
77	DEM	Brome-Missisquoi	Saint-Armand	62980	6298004000000C	Collectrice	Chemin de Saint-Armand	1 699,22	5	2,94
78	DOM	Vaudreuil-Soulanges	Sainte-Justine-de-Newton	30116	3011601000000C	Collectrice	3e Rang	1 695,88	0	0
79	DEM	Le Bas-Richelieu	Saint-Roch-de-Richelieu	223	0022302041000C	Régionale	Route 223	1 706,68	2	1,17
80	DOM	Le Haut-Richelieu	Saint-Jean-sur-Richelieu	63653	6365301000000C	Collectrice	Chemin du Clocher	1 726,54	2	1,16

Annexe 3

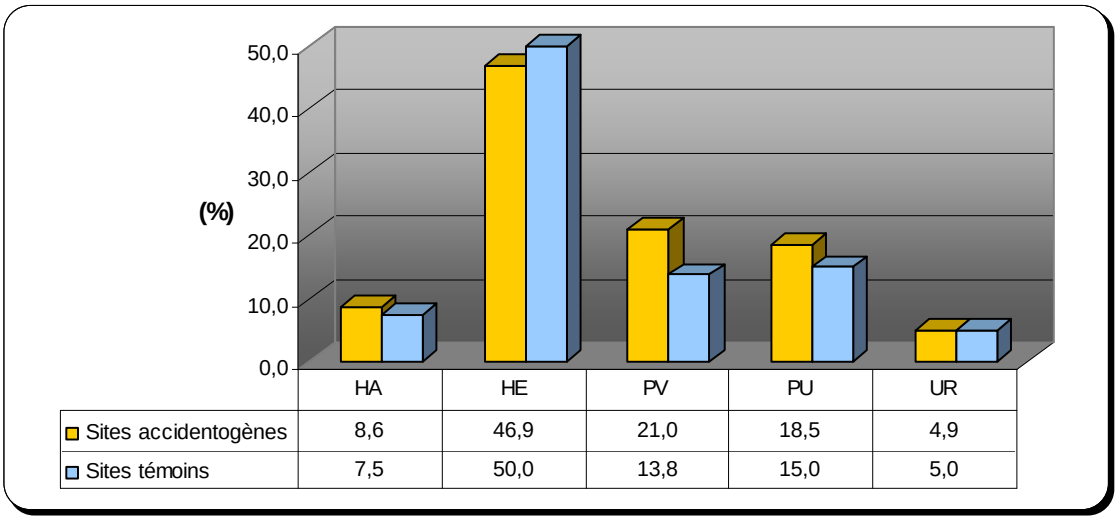
Graphes de répartition des variables à l'échelle intermédiaire

Annexe 3 : Graphes de répartition des variables à l'échelle intermédiaire



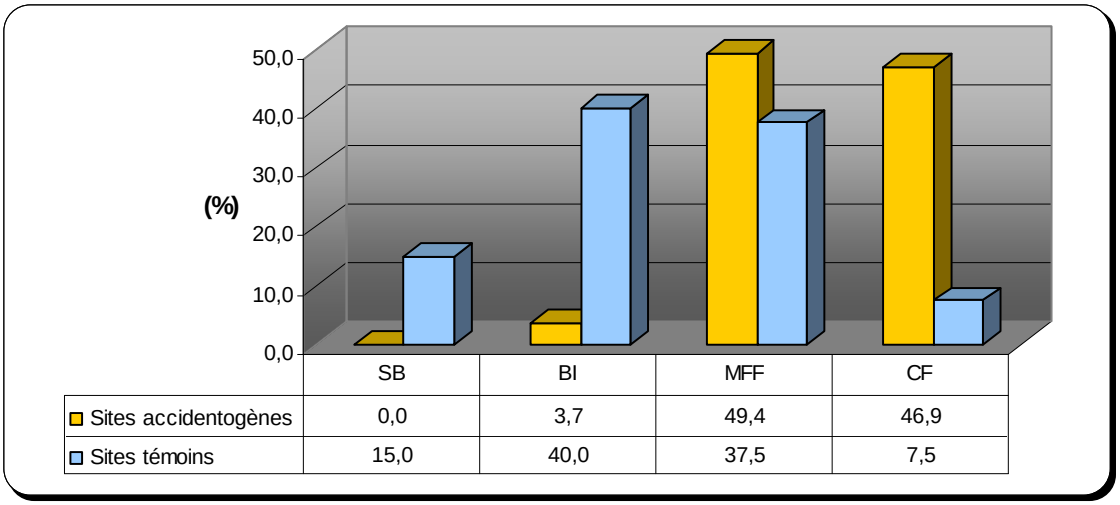
	URB	AGR	AF	AFA	AFF	FF
Sites accidentogènes	3,7	2,5	34,6	22,2	19,8	17,3
Sites témoins	6,3	53,8	23,8	11,3	3,8	1,3

Figure 36 : Le milieu paysager dominant



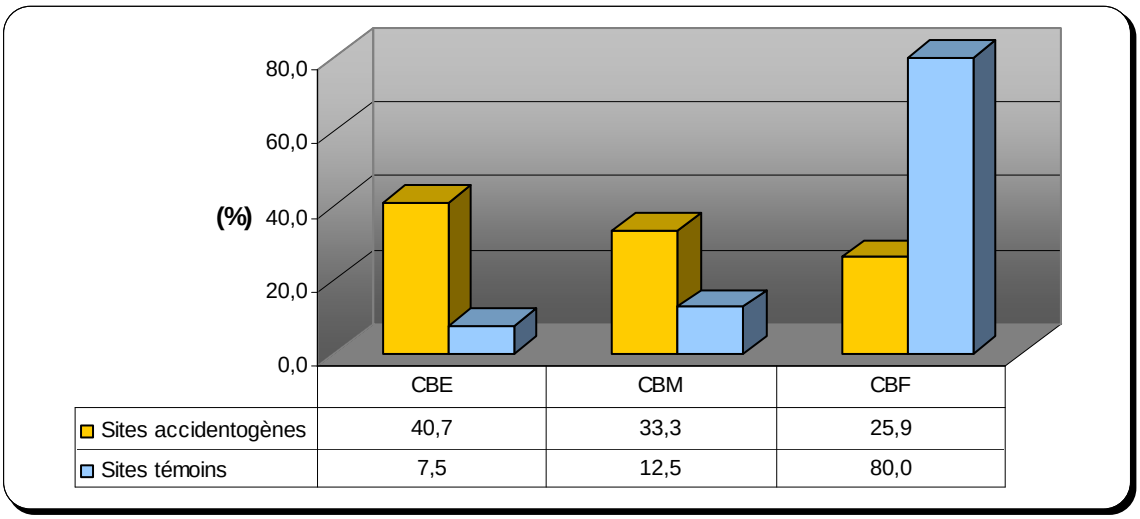
	HA	HE	PV	PU	UR
Sites accidentogènes	8,6	46,9	21,0	18,5	4,9
Sites témoins	7,5	50,0	13,8	15,0	5,0

Figure 37 : L'emprise humaine



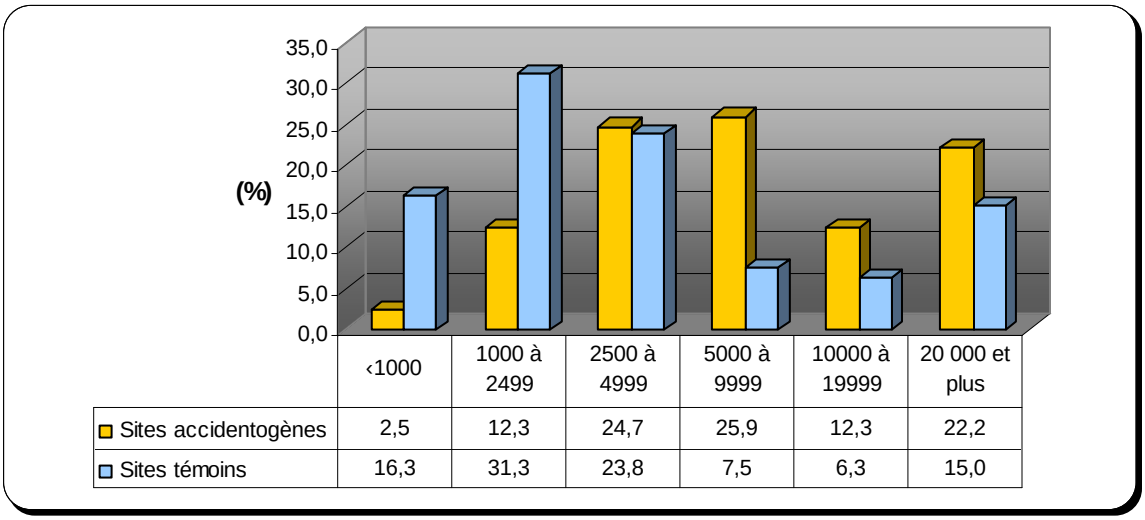
	SB	BI	MFF	CF
Sites accidentogènes	0,0	3,7	49,4	46,9
Sites témoins	15,0	40,0	37,5	7,5

Figure 38 : Le patron forestier



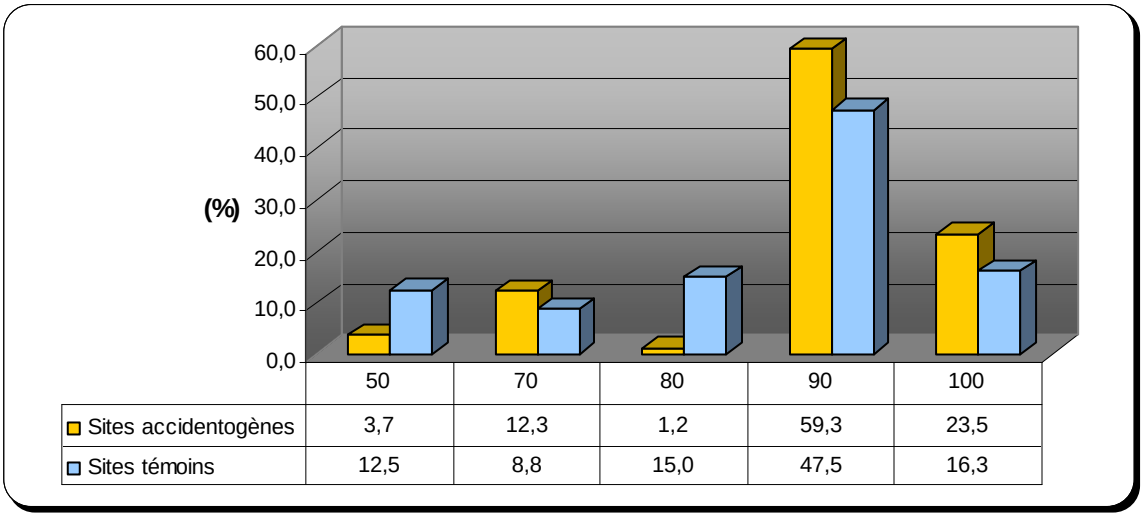
	CBE	CBM	CBF
Sites accidentogènes	40,7	33,3	25,9
Sites témoins	7,5	12,5	80,0

Figure 39 : Connectivité forestière bilatérale



	‹1000	1000 à 2499	2500 à 4999	5000 à 9999	10000 à 19999	20 000 et plus
Sites accidentogènes	2,5	12,3	24,7	25,9	12,3	22,2
Sites témoins	16,3	31,3	23,8	7,5	6,3	15,0

Figure 40 : Le DJMA



	50	70	80	90	100
Sites accidentogènes	3,7	12,3	1,2	59,3	23,5
Sites témoins	12,5	8,8	15,0	47,5	16,3

Figure 41 : La limite de vitesse

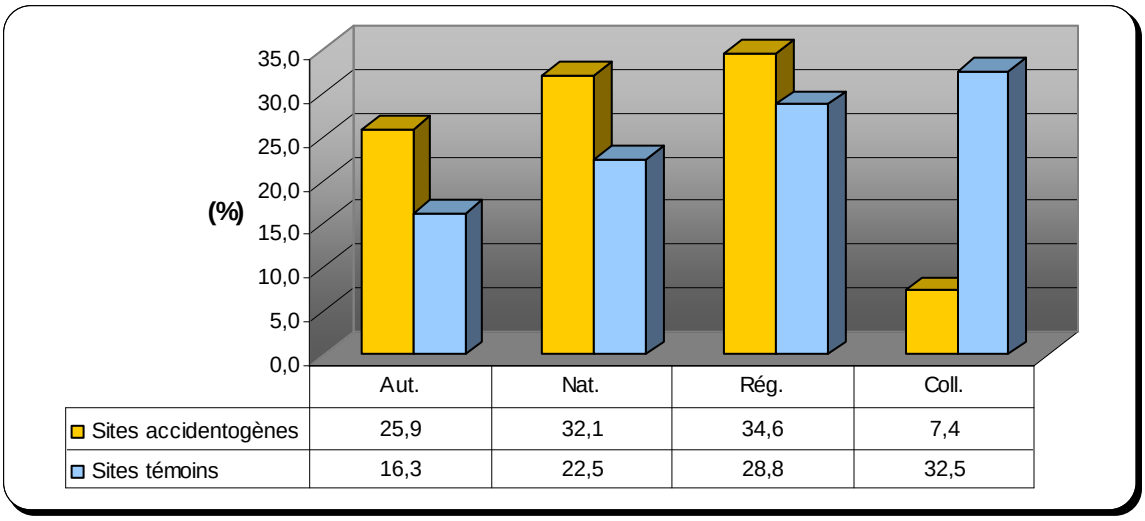
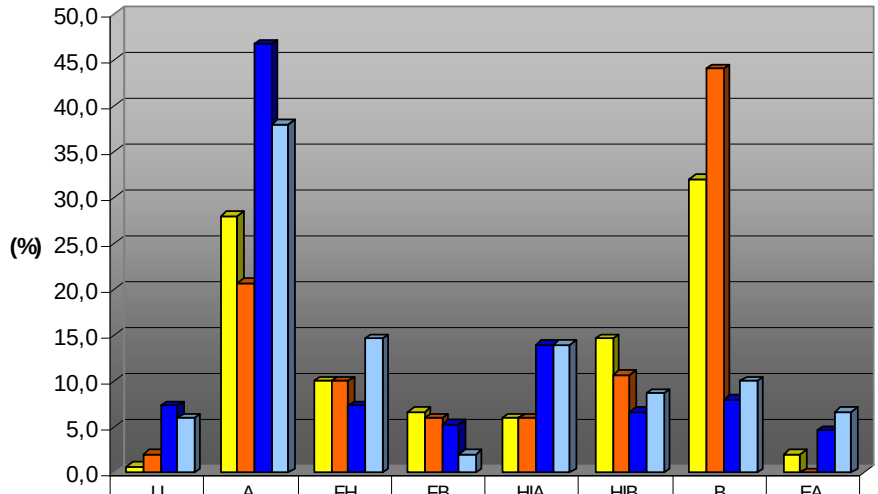


Figure 42 : La classification fonctionnelle

Annexe 4

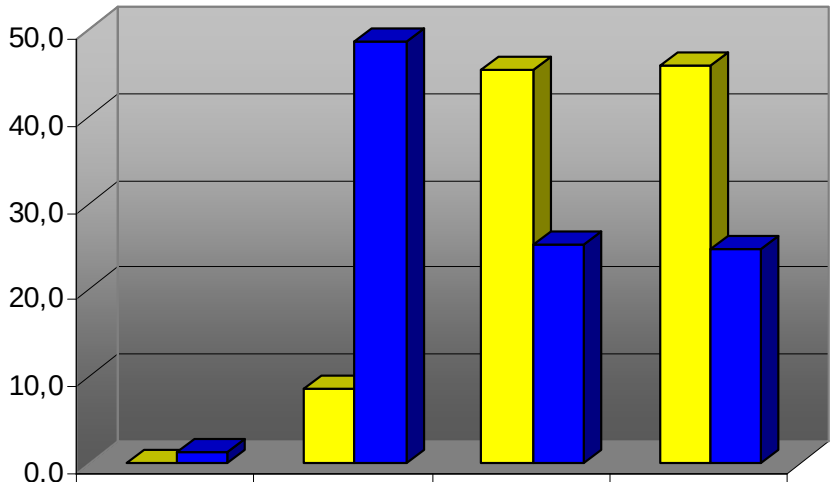
Graphes de répartition des variables à l'échelle locale

Annexe 4 : Graphes de répartition des variables à l'échelle locale



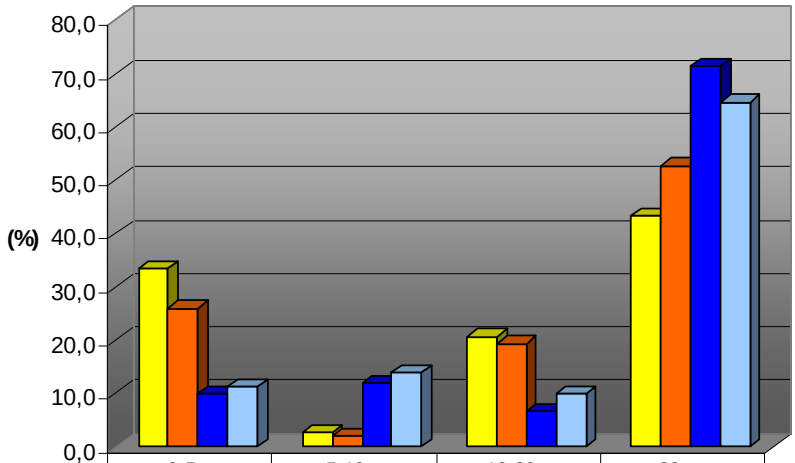
	U	A	FH	FB	HIA	HIB	B	EA
AVC sur sites accidentogènes (D)	0,7	28,0	10,0	6,7	6,0	14,7	32,0	2,0
AVC sur sites accidentogènes (G)	2,0	20,7	10,0	6,0	6,0	10,7	44,0	0,0
Échantillons témoins (D)	7,3	46,7	7,3	5,3	14,0	6,7	8,0	4,7
Échantillons témoins (G)	6,0	38,0	14,7	2,0	14,0	8,7	10,0	6,7

Figure 43 : Occupation du sol dans les premiers 100 mètres (gauche et droite)



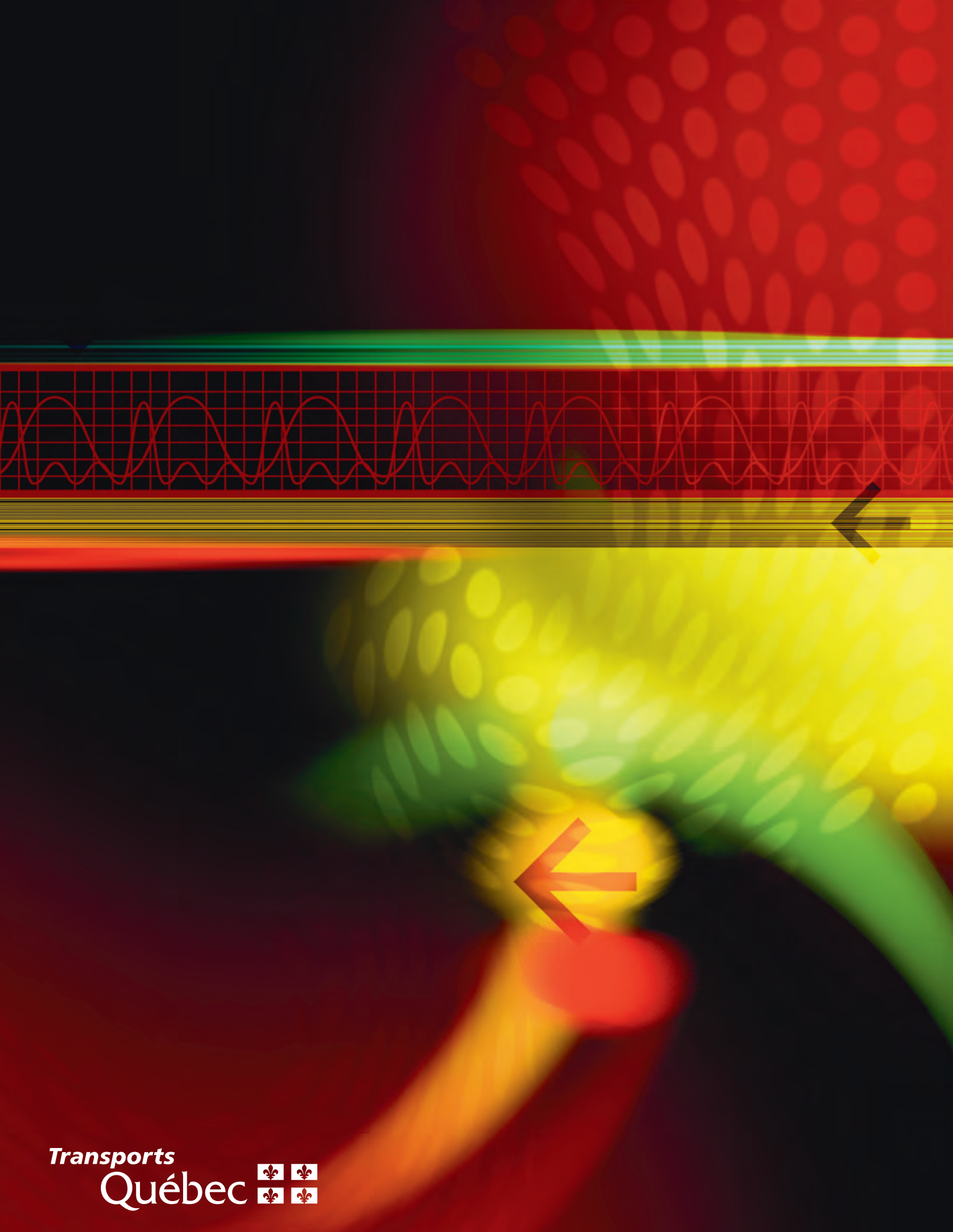
	5m	10m	15m	20m
AVC sur sites accidentogènes (D)	0,0	8,7	45,3	46,0
Échantillons témoins (D)	1,3	48,7	25,3	24,7

Figure 44 : Largeur de l'emprise



	0-5m	5-10m	10-20m	20m+
AVC sur sites accidentogènes (D)	33,3	2,7	20,7	43,3
AVC sur sites accidentogènes (G)	26,0	2,0	19,3	52,7
Échantillons témoins (D)	10,0	12,0	6,7	71,3
Échantillons témoins (G)	11,3	14,0	10,0	64,7

Figure 45 : Distance latérale de dégagement


Transports
Québec