

2m11.2780.3

Université de Montréal

Dynamique spatio-temporelle des réseaux de haies de
trois paysages agricoles du sud-ouest du Québec

par

Reto Schmucki

Département de sciences biologiques

Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

En vue de l'obtention du grade de

Maîtrise ès sciences (M. Sc.)

Janvier, 2000

© Reto Schmucki, 2000



Σ.0855.11mb

QK

3

U54

2000

V.001



Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :
Dynamique spatio-temporelle des réseaux de haies de
trois paysages agricoles du sud-ouest du Québec

présenté par :

Reto Schmuki

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Président-rapporteur : Jean-Pierre Simon

Directeur de recherche : André Bouchard

Co-directeur de recherche : Gérald Domon

Membre du Jury : François-Joseph Lapointe

Mémoire accepté le : ^{21 mars} ~~2000~~ 2000

SOMMAIRE

Il est aujourd'hui reconnu que les haies peuvent contribuer de façon significative à la conservation et à la restauration de la diversité biologique à l'intérieur des paysages fragmentés. Généralement situées en marge des parcelles agricoles, les haies répondent à des dynamiques complexes qui sont fortement associées à l'intensification et à la concentration des activités agricoles. Cette étude a pour but de décrire et d'analyser la dynamique (1958-1997) des haies de trois paysages agroforestiers du sud-ouest du Québec qui se distinguent au niveau de leurs dépôts de surface. Les haies et les réseaux formés par celles-ci ont été décrits en fonction de la longueur, du degré de connexité, du nombre de connexions forestières et du type de végétation (arbustive ou arborescente) qui les composent. Par la suite, ces données ont été mises en relation avec l'occupation des sols ainsi que la configuration des dépôts de surfaces.

On constate que les haies des trois paysages diffèrent au niveau de leur structure et de leur dynamique. Ainsi, les haies associées aux dépôts de surfaces qui présentent un potentiel agricole élevé (dépôts marins) ont subi des transformations plus importantes que celles associées aux dépôts peu propices à l'agriculture intensive (dépôts glaciaires). En effet, l'intensification des productions et la consolidation des exploitations agricoles situées sur les dépôts marins ont entraîné l'élimination de nombreuses haies qui délimitaient d'anciennes parcelles. De plus, l'expansion des productions céréalières a nécessité d'importants travaux d'aménagements qui ont directement affecté les réseaux de haies. Ces perturbations ont provoqué des diminutions considérables au niveau de la longueur et du degré de connexité des réseaux de haies. Ainsi, ces changements pourraient avoir entraîné d'importantes réductions de

la diversité floristique et faunique des haies puisque celle-ci est fortement influencée par la structure des réseaux. Suite à ces transformations, les réseaux de haies des paysages sur dépôts marins se sont reconstruits en réenvahissant les marges de certaines parcelles. Par conséquent, la structure de ces nouveaux réseaux est fortement influencée par la configuration spatiale des nouvelles parcelles agricoles. Ainsi, les réseaux du paysage de la plaine argileuse se composent généralement de longues haies très peu connectées, tandis que les réseaux du paysage mixte sont composés de haies plus courtes avec des degrés de connexité plus élevés.

Contrairement aux réseaux de haies situés dans les paysages sur dépôts marins, les réseaux de haies du paysage à dépôts glaciaires présentent des diminutions consécutives entre 1968 et 1997. Cette dynamique est attribuable à l'abandon progressif des terres agricoles et à la transformation de ces superficies en friche et en forêt. Ces changements de l'occupation des sols ont entraîné des diminutions au niveau de la longueur et du degré de connexité des réseaux de haies de ces paysages puisque de nombreuses haies ont été intégrées à ces nouveaux habitats. Ces résultats soulignent l'importance d'intégrer l'occupation des sols dans l'analyse et la compréhension de la dynamique des réseaux de haies en paysages agricoles.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	iii
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	vii
REMERCIEMENTS	viii
INTRODUCTION	1
MÉTHODE	4
<i>Site d'étude</i>	4
<i>Échantillonnage</i>	8
<i>Analyse des données</i>	10
RÉSULTATS	13
<i>Caractéristiques générales des réseaux</i>	13
<i>Dynamiques des réseaux de haies</i>	15
<i>Dynamiques de l'occupation des parcelles adjacentes aux réseaux de haies</i>	16
<i>L'occupation des sols et les changements de densités des réseaux de haies</i>	19
DISCUSSION	25
<i>Envahissement des marges non cultivées : 1958-1968</i>	28
<i>Diminution des densités et des degrés de connexités : 1968-1979</i>	29
<i>Reprise des haies en bordures des parcelles : 1979-1997</i>	31
<i>Conséquences écologiques des transformations</i>	35
CONCLUSION	36
RÉFÉRENCES	38

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau I : Dynamique (densité, degré de connexité, nombre de connexions avec les habitats forestiers, proportion de haies arbustives et arborescentes) des réseaux de haies de trois paysages agroforestiers (plaine argileuse, mixte et morainique) de la municipalité régionale de comté (MRC) du Haut-Saint-Laurent (Québec) entre 1958 et 1997. 14
- Tableau II : Corrélations de rangs entre la longueur des réseaux de haies de trois paysages agroforestiers (plaine argileuse, mixte, morainique) de la municipalité régionale de comté (MRC) du Haut-Saint-Laurent (Québec) et les degrés de connexité de ceux-ci pour les années 1958, 1968, 1979, 1992 et 1997. 15
- Tableau III : Evolution des proportions (%) de superficies couvertes par les différentes occupations (pâturage, production fourragère, production céréalière, friche et forêt) en marge des réseaux de haies des trois paysages agroforestiers (plaine argileuse, mixte et morainique), entre 1958 et 1997. 17
- Tableau IV : Résultats des tests de Mantel calculés à partir des matrices de ressemblance (coefficient de Gower) de l'occupation des sols et de l'organisation des dépôts de surface (marin, glaciaire et autres) sous-jacents. 19

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Situation géographique de la municipalité de Godmanchester à l'intérieur de la province de Québec (Canada). 6
- Figure 2 : Carte des dépôts de surface des trois paysages à l'intérieur de la municipalité de Godmanchester. 7
- Figure 3 : Plan d'ordination de l'analyse en composantes principales de la dynamique de l'occupation des sols observée dans le paysage de la plaine argileuse entre 1958-1997. Centroïdes des stations d'échantillonnage qui présentent des augmentations et des diminutions de la longueur de haies pour les intervalles de temps échantillonnés. 21
- Figure 4 : Plan d'ordination de l'analyse en composantes principales de la dynamique de l'occupation des sols observée dans le paysage mixte entre 1958-1997. Centroïdes des stations d'échantillonnage qui présentent des augmentations et des diminutions de la longueur des haies pour les intervalles de temps échantillonnés. 23
- Figure 5 : Plan d'ordination de l'analyse en composantes principales de la dynamique de l'occupation des sols observée dans le paysage morainique entre 1958-1997. Centroïdes des stations d'échantillonnage qui présentent des augmentations et des diminutions de la longueur des haies pour les intervalles de temps échantillonnés. 24
- Figure 6 : Représentation schématique de l'influence des dépôts de surfaces sur l'occupation des sols et la structure des haies. 26
- Figure 7 : Représentation schématique de la dynamique (1958-1997) des réseaux de haies en fonction de trois types de paysages agroforestiers (plaine argileuse, mixte et morainique). 33

REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent tout d'abord à André Bouchard et à Gérald Domon, directeurs de recherche, qui m'ont soutenu tout au long de mes travaux. Je tiens également à adresser mes plus sincères remerciements à Sylvie de Blois pour son écoute et ses judicieux conseils qui m'ont suivi tout au long de cette maîtrise. Finalement, je voudrais remercier mes parents et amis, tout particulièrement Michel Elyse et Amélie, qui ont su me redonner confiance lorsque j'en avais besoin.

INTRODUCTION

Durant la deuxième moitié du 20^{ième} siècle, la structure des paysages agroforestiers en zones tempérées a été considérablement modifiée par la spécialisation des activités agricoles (Forman et Godron 1986, Iverson 1988, Simpson et al. 1994, Bouchard et Domon 1997, Pan et al. 1999). L'adoption de systèmes de production intensifs, peu diversifiés et très polarisés, a généralement entraîné la fragmentation et la perte de nombreux habitats indispensables au maintien de la flore et de la faune locale (Sotherton 1998). Devant l'ampleur de ces changements, plusieurs études ont été menées afin d'identifier les différents éléments du paysage qui interviennent dans la conservation de la diversité biologique à l'intérieur des mosaïques fragmentées (Burel et Baudry 1990, Burel 1992, Demers et al. 1995, Jobin et al. 1996, White et al. 1997, Metzger et Decamps 1997, Heinen et al. 1998). Certains de ces travaux ont démontré que le taux de survie des métapopulations est fortement influencé par la qualité des éléments qui connectent les habitats (Fahrig et Merriam 1985, Henein et Merriam 1990, Anderson et Danielson 1997, Clergeau et Burel 1997, Henein et al. 1998). Le terme métapopulation représente un groupe de populations où les évènements de dispersion sont suffisamment importants pour réduire les risques d'extinction et de fluctuations locales de celles-ci (Taylor 1990). Parmi les éléments qui favorisent ces échanges, les haies en marge des parcelles agricoles, qu'elles soient spontanées ou plantées, peuvent jouer le rôle de corridors et de relais (stepping stone) entre les habitats pour plusieurs espèces animales (Fahrig et Merriam 1994, Burel 1992, Bennett et al. 1994, Best et al. 1995). Bien que ces fonctions n'aient pas été vérifiées pour les espèces végétales, les réseaux de haies peuvent tout de même contribuer à la conservation et à la restauration de la

diversité floristique en agissant comme habitats à l'intérieur des paysages agricoles (Baudry 1988, Fritz et Merriam 1994, McCarthy 1994, Jobin et al. 1996, Riffell et Gutzwiller 1996). Par ailleurs, l'abondance des espèces zoochores, espèces dispersées par un vecteur animal, à l'intérieur des haies suggère qu'il existe d'importantes relations fonctionnelles entre les espèces animales et végétales qui occupent et utilisent ces habitats (Fritz et Merriam 1994). De plus, on tend à reconnaître que la conservation et la restauration de la diversité biologique à l'intérieur des paysages agricoles peuvent contribuer au maintien et à l'augmentation de la productivité agricole (Kort 1988, Mineau et McLaughlin 1996). Par exemple, l'hétérogénéité spatiale engendrée par les réseaux de haies permet d'augmenter l'abondance et la diversité des prédateurs qui favorisent le contrôle biologique des populations d'insectes nuisibles (Thomas et al. 1991, Dennis and Fry 1992). De plus, les réseaux de haies permettent également d'augmenter le rendement agricole en influençant le microclimat, le régime des eaux ainsi qu'en assurant la stabilité et la fertilité des sols (Forman et Baudry 1984, Soltner 1985, Kort 1988).

Situés en marges des parcelles agricoles, les réseaux de haies présentent des dynamiques qui pourraient être influencées par les changements qui s'opèrent au niveau de l'occupation du territoire. La compréhension des mécanismes et des facteurs qui agissent dans cette dynamique est essentielle pour orienter les activités de gestion et d'aménagement en fonction des différentes vocations écologiques et économiques des paysages agroforestiers.

Alors qu'en Europe les paysages ruraux sont généralement composés de haies plantées et aménagées (Burel et Baudry 1995), au Québec les haies sont surtout issues de l'envahissement naturel des marges non exploitées. Bien que l'abandon de plusieurs

fermes ait entraîné une importante diminution de la superficie cultivée, la taille moyenne des exploitations a considérablement augmenté au cours des dernières décennies (Statistique Canada 1997). Ces deux processus, l'un impliquant le réenvahissement du territoire agricole par la forêt et l'autre l'agrandissement et l'uniformisation des parcelles, peuvent avoir entraîné l'élimination sélective de certaines haies. Ces changements semblent s'être opérés de façon différentielle selon le potentiel et les contraintes imposées par les caractéristiques physiques des paysages. En effet, l'étude des transformations récentes (1958-1993) des paysages agroforestiers du Québec a montré un accroissement des superficies forestières sur les dépôts glaciaires et une concentration des activités agricoles intensives sur les dépôts marins (Bouchard et Domon 1997, Pan et al. 1999). Par conséquent, les réseaux de haies des paysages dominés par l'un ou l'autre de ces dépôts pourraient présenter des dynamiques distinctes.

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'un projet multidisciplinaire qui vise à mieux comprendre les paysages agroforestiers du sud-ouest du Québec (Bouchard et al. 1985, Bouchard et Domon 1997, de Blois et al. en prép.). Elle a pour objectif d'analyser l'organisation et la dynamique spatiales (1958-1997) de réseaux de haies à l'intérieur de trois paysages qui se distinguent par la configuration de leurs dépôts géomorphologiques. De façon plus spécifique, il s'agit de comprendre comment ces dynamiques varient en fonction de l'organisation des dépôts de surface et de l'utilisation du territoire. Pour ce faire, une approche intégrant à la fois les relations entre les haies, l'occupation des sols et les caractéristiques géomorphologiques des paysages est privilégiée. En analysant l'influence de la restructuration de la matrice agroforestière sur la dynamique des réseaux de haies, cette étude permet d'évaluer

l'impact des pratiques d'aménagement sur des qui peuvent contribuer à la conservation et la restauration de la diversité floristique et faunique.

MÉTHODE

Site d'étude

La présente étude a été menée dans trois paysages agroforestiers de 600 ha qui se situent sur le territoire de la municipalité rurale de Godmanchester dans la région du Haut-Saint-Laurent. Limitée par le fleuve Saint-Laurent au nord et par la frontière américaine au sud, cette région se trouve dans la partie la plus méridionale de la province de Québec, Canada (Figure 1). L'origine de ses formations géomorphologiques remonte à la dernière période glaciaire, il y a environ 10 000 ans (Bariteau 1988). Le climat régional est caractérisé par un été chaud et humide et un hiver continental (Ecoregions Working Group 1989). La température annuelle moyenne est de 6,1°C (Huntingdon) avec des variations allant de -10°C en janvier à 20,8°C en juillet. La moyenne annuelle des précipitations se situe entre 961 mm et 975 mm répartie de façon uniforme tout au long de l'année avec une légère augmentation durant l'été (Jean et Bouchard 1991).

Localisé dans la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent (Rowe 1972), le site d'étude fait partie du domaine climacique de l'érablière à caryers (Grandtner 1966). Les peuplements matures sur sites mésiques y sont actuellement caractérisés par une dominance de l'Erable à sucre (*Acer saccharum*) accompagné du Tilleul d'Amérique (*Tilia americana*), du Hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia*), du Caryer cordiforme (*Carya cordiformis*), de l'Ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana*)

et du Frêne blanc (*Fraxinus americana*) (Meilleur et al. 1994). Essentiellement exploités pour leur valeur marchande, les peuplements forestiers ont vraisemblablement subi plusieurs coupes depuis l'arrivée des premiers colons au début du 19^e siècle (Sellar 1888, Brisson et al. 1988, Simard et Bouchard 1996). Aujourd'hui, les communautés forestières couvrent près de 40% du territoire et sont fortement fragmentées par la matrice agricole qui est principalement affectée aux grandes cultures et à la production laitière (Bouchard et Domon 1997). Le mode de division des terres de ce territoire est caractérisé par des lots rectangulaires et parallèles.

Délimités sur la base de leurs dépôts de surface, les trois paysages caractérisent bien les variations géomorphologiques de la municipalité rurale de Godmanchester (Figure 2). Le premier paysage (ci-après « plaine argileuse ») est composé de dépôts marins qui présentent une élévation moyenne de 50 m. L'agriculture y est très intensive et les haies représentent une des rares sources de diversité biologique. Le second paysage (ci-après « mixte ») est composé de dépôts marins qui forment une plaine argileuse parsemée de plusieurs bourrelets morainiques d'origine glaciaire dont l'élévation maximum peut atteindre 60 m. La forêt se limite aux dépôts glaciaires alors que la quasi totalité de la plaine argileuse est cultivée. Finalement, le troisième paysage (ci-après « morainique ») repose sur un dépôt d'origine glaciaire qui présente la plus importante élévation de la région, soit 90 m. On y retrouve une matrice forestière accompagnée de parcelles agricoles utilisée pour la production fourragère et le pâturage.

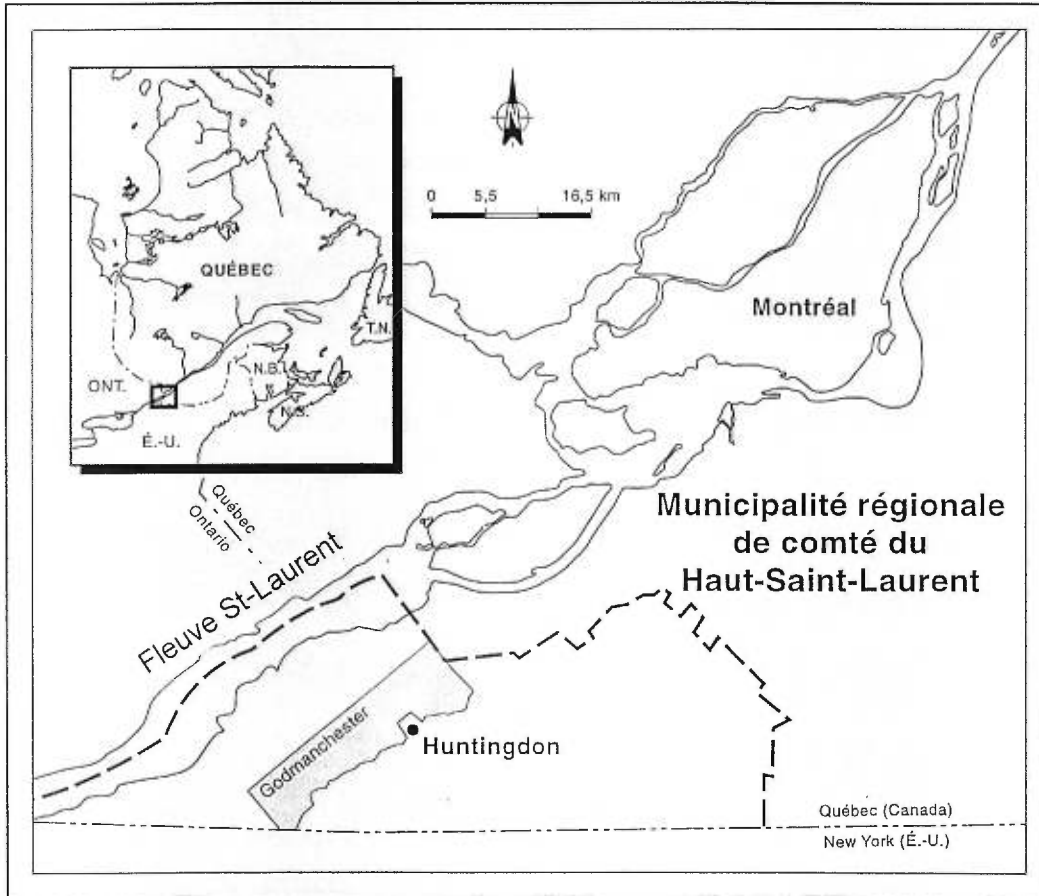


Figure 1 : Situation géographique de la municipalité de Godmanchester à l'intérieur de la province de Québec (Canada).

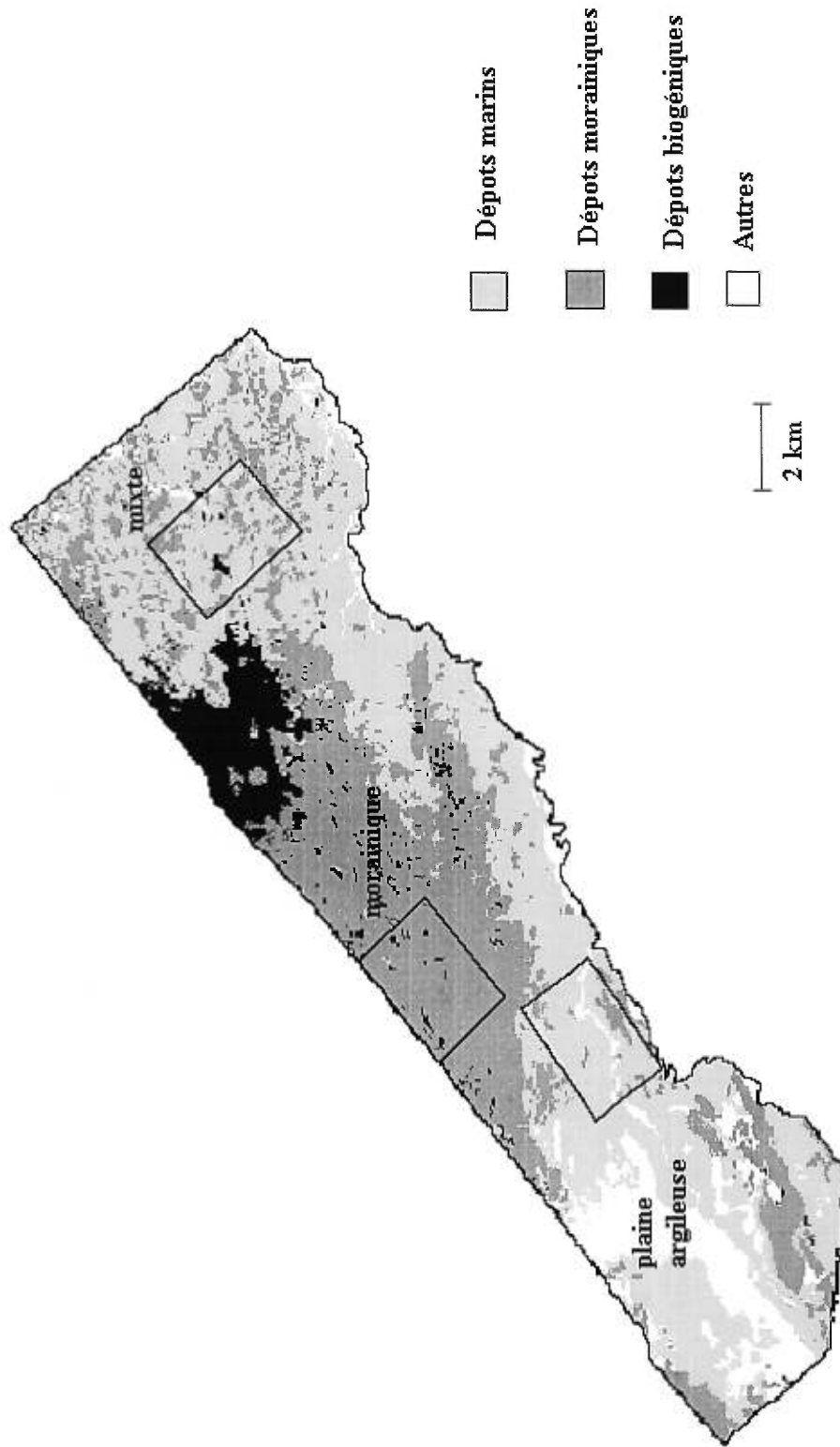


Figure 2: Carte des dépôts de surfaces des trois paysages à l'intérieur de la municipalité de Godmanchester

Échantillonnage

Cette étude se concentre sur la dynamique des réseaux de haies durant la deuxième moitié du 20^{ième} siècle et plus précisément pour la période comprise entre 1958 et 1997. Trois types d'informations ont été examinés à partir de photos aériennes et de relevés de terrain : l'organisation des dépôts de surface, l'occupation des sols ainsi que la structure des réseaux de haies. L'organisation des dépôts de surface est considérée comme une variable stable dont l'influence est structurante pour la végétation (Meilleur et al. 1994) et l'occupation des sols (Pan et al. 1999) de ce territoire. L'échantillonnage des variables a été effectué pour 5 périodes qui se rapportent respectivement aux années 1958, 1968, 1979, 1992 et 1997. Ces années ont été sélectionnées en fonction de la disponibilité des photos aériennes noir et blanc (1 :15 000), de la qualité de leur résolution ainsi que des intervalles de temps qu'elles représentent.

Afin de réduire les erreurs attribuables à l'interprétation des photos aériennes, le système de classification utilisé se limite à cinq classes d'occupation des sols (pâturage, production fourragère, production céréalière, friche et forêt) et à deux types de haies (arbustive et arborescente). Ainsi, la photo-interprétation a permis l'élaboration de cartes (1 :14 000) qui présentent l'occupation des sols ainsi que la structure spatiale des réseaux de haies durant les années 1958, 1968, 1979 et 1992 pour chacun des trois paysages étudiés. Les données qui se rapportent à l'année 1997 ont été cartographiées à partir de relevés de terrain effectués sur les sites d'études au cours de l'été 1997. La somme de ces informations a été superposée aux données géomorphologiques qui proviennent des travaux de Bariteau (1987, 1988).

Par la suite, nous avons échantillonné les trois paysages à l'aide de stations d'échantillonnage disposées de façon systématique (en quinconce) sur chaque série de cartes (5 cartes / paysage). Ces stations, d'une superficie de 4 hectares (200m × 200m) chacune, ont été disposées en utilisant un pas d'échantillonnage de 200m. Cette distance a été calculée en fonction de la largeur moyenne des parcelles agricoles de cette région. Seules les stations qui présentent des segments de haies pour au moins une des années d'échantillonnage (1958, 1968, 1979, 1992 et 1997) ont été retenues. Ainsi, on dénombre 51 stations dans le paysage de la plaine argileuse, 54 dans le paysage mixte et 39 dans le paysage morainique.

Pour chacune des stations d'échantillonnage, les dépôts de surface et l'occupation des sols ont été quantifiés par les superficies couvertes par les différents types de dépôts (glaciaires, marins et biogéniques) et d'occupations (pâturage, production fourragère, production céréalière, friche, forêt et autres). Ces superficies ont été calculées en utilisant un pixel de 14×14m (196 m²). La dimension de ce pixel a été établie en fonction de l'échelle des cartes échantillonnées (1 : 14 000). Les réseaux de haies ont pour leur part été caractérisés par quatre variables structurelles qui ont été mesurées dans chacune des stations d'échantillonnages. Ces variables ont été choisies en fonction des rôles écologiques qu'elles jouent dans les réseaux de haies à l'intérieur des paysages agricoles (Forman et Baudry 1984). D'abord, la longueur totale des haies permet d'évaluer la quantité potentielle de corridors de mouvements (Bennett 1990, Merriam et Lanoue 1990, Bennett et al. 1994) et d'habitats floristiques (Fritz et Merriam 1994, Jobin et al. 1996) et fauniques (Burel 1992). Ensuite, le degré de connectivité (Burel et Baudry 1990) observé entre les différentes haies des réseaux est

calculé en attribuant une valeur numérique à chaque type d'intersection en fonction du nombre de liens que celle-ci soutient. En fait, ces valeurs correspondent au nombre de directions qui s'offrent à un organisme se trouvant à l'intersection de plusieurs haies multiplié par le nombre d'avenues qui mènent à cette structure. Ainsi, la valeur 2 est attribuée à une intersection qui relie deux haies en formant un «L» puisque celle-ci offre une nouvelle direction et présente deux avenues. Une intersection qui relie trois haies en formant un «T» obtient une valeur de 6 (2×3) et une intersection de quatre haies qui forment un «+» obtient une valeur de 12 (3×4) (Burel et Baudry 1990). D'autre part, Riffell et Gutzwiller (1996) ont observé une corrélation positive entre le degré de complexité de ces intersections et leur richesse floristique. Le nombre de connexions boisées est la troisième variable structurelle mesurée, celle-ci rend compte des liens physiques qui existent entre les réseaux de haies et les habitats forestiers. En réduisant l'isolement des habitats forestiers à l'intérieur des paysages agricoles, ces connexions peuvent augmenter le taux de survie de certaines populations animales en favorisant les échanges entre les différents habitats (Fahrig et Merriam 1985, Bennett 1990). Enfin, les haies ont été divisées en deux catégories, soit les haies arbustives (moins de 5 mètres en hauteur) et les haies à dominance arborescentes (plus de 5 mètres). Ces deux types de haies présentent des conditions nettement différentes au niveau de la protection des sols ainsi que dans la diversité des habitats disponibles (Bennett et al. 1994, Best et al. 1995, Choinière 1995).

Analyse des données

Dans un premier temps, les variables de longueurs, de degrés de connexité et du nombre de connexions avec les habitats forestiers ont été ramenées à l'hectare afin de

pouvoir établir des comparaisons entre les réseaux des trois paysages échantillonnés. Les haies arbustives et arborescentes sont décrites sous forme de proportion de la longueur totale. Puisque les données des variables structurelles ne présentent pas une distribution normale, celles-ci ont été comparées entre les différents paysages au moyen d'analyses de variances non-paramétriques à un critère de classification (Kruskal-Wallis). Vérifiant si les distributions des trois paysages sont semblables, ces analyses permettent de souligner les différences structurelles entre les réseaux de haies des différents paysages. Ce test a été effectué en utilisant les valeurs des cinq périodes d'échantillonnage pour chacun des paysages. En raison de l'absence de normalité dans la distribution des données, les relations entre la longueur des réseaux de haies et leurs degrés de connectivité ont été examinées à l'aide d'analyses de corrélations de rangs (coefficient de Kendall). Ces analyses ont été effectuées dans les trois paysages pour chacune des années d'échantillonnage. Les tests de signification du coefficient de Kendall en apportant une correction de Holm (1979) qui ajuste la valeur de P (Wright 1992).

Afin de mesurer les relations entre l'occupation des sols et l'organisation des dépôts de surface, nous avons utilisé le test de Mantel (1967) qui mesure les relations linéaires entre deux matrices de ressemblance obtenues à partir des mêmes objets. Les matrices de ressemblance ont été calculées à partir des variables de l'occupation des sols et des dépôts de surfaces en utilisant le coefficient de similarité de Gower (1971). Ce coefficient permet de traiter les variables quantitatives et de considérer la double absence. Cette dernière qualité est jugée pertinente dans le cas présent puisque les variables mesurées ont été préalablement sélectionnées afin de caractériser chaque parcelle d'échantillonnage. L'absence de l'une ou l'autre de ces variables représente

donc une information pertinente dans la caractérisation des parcelles. Les tests de Mantel ont été effectués pour chacune des années d'échantillonnage en regroupant les échantillons des trois paysages. L'ensemble de ces calculs a été réalisé à l'aide du progiciel R (Legendre et Vaudor 1991).

Pour analyser les relations entre les dynamiques des réseaux de haies et de l'occupation des sols, nous avons procédé à des analyses en composantes principales (SAS Institute 1996). Cette analyse permet de représenter les relations entre les objets dans un espace réduit tout en conservant la distance euclidienne entre eux. Les résultats de ces analyses sont représentés à l'aide de plans d'ordinations à deux dimensions (Gabriel 1971) où les descripteurs sont illustrés par des vecteurs orthonormaux et les objets par des points. Ainsi, la projection orthogonale des objets sur les vecteurs des descripteurs permet d'interpréter les relations existant entre les stations d'échantillonnages et l'occupation des sols. De plus, la longueur de la projection des descripteurs sur les composantes principales indique la contribution de chacun des descripteurs à la construction de l'espace réduit à deux dimension. La dynamique de l'occupation des sols de chacun des paysages a été illustrée par une courbe qui relie les centroïdes de chaque période d'échantillonnage (1958, 1968, 1979, 1992 et 1997). Enfin, les fluctuations dans la longueur des réseaux de haies ont été calculées pour les quatre intervalles de temps étudiés : 1958-1968, 1968-1979, 1979-1992 et 1992-1997. Chaque échantillon a été caractérisé selon qu'il présentait une augmentation ou une diminution de la longueur des haies pendant la période de référence. Les centroïdes de ces groupes d'échantillons sont illustrés sur les plans d'ordinations précédents. Ainsi, la superposition de ces groupes de stations permet

d'analyser, de manière indirecte, l'influence des changements d'occupation des sols sur la longueur des haies.

RÉSULTATS

Caractéristiques générales des réseaux

L'organisation des réseaux de haies présente des différences significatives entre les trois paysages échantillonnés durant la deuxième moitié du 20^{ème} siècle (Tableau I). Les réseaux des paysages morainique, mixte et de la plaine argileuse se distinguent au niveau de leurs densités ($H=9,38 : P=0,0092$); de leurs degrés de connexité ($H=9,52 : P=0,0086$); du nombre de connexions qui les relient aux habitats forestiers ($H=13,18 : P=0,0014$) et des proportions de haies arbustives et arborescentes ($H=8,06 : P=0,0178$). Ces différences sont particulièrement importantes entre le paysage morainique et les paysages mixte et de la plaine argileuse.

Contrairement aux paysages mixte et de la plaine argileuse, les degrés de connexité des réseaux de haies du paysage morainique sont significativement corrélés à la longueur des réseaux pour chacune des années d'échantillonnage (Tableau II). Ces relations, lorsque significatives, sont plus faibles dans les paysages mixte et de la plaine argileuse. D'autre part, ces liens diminuent considérablement à partir de 1979 pour le paysage de la plaine argileuse. Pour le paysage mixte, il y a une augmentation des liens entre la longueur des réseaux de haies et le degré de connexité après 1979.

Tableau I. Dynamique (densité, degré de connexité, nombre de connexions avec les habitats forestiers, proportion de haies arbustives et arborescentes) des réseaux de haies de trois paysages agroforestiers (plaine argileuse, mixte et morainique) de la municipalité régionale de comté (MRC) du Haut-Saint-Laurent (Québec) entre 1958 et 1997.

Variable structurelle	Paysage	Année					Moyenne	Ecart type
		1958	1968	1979	1992	1997		
Densité des réseaux de haies (m/ha)	Plaine argileuse	14,99	18,33	14,39	21,97	23,88	18,71	4,18
	Mixte	12,23	14,28	11,11	21,33	17,45	15,28	4,15
	Morainique	26,32	28,33	25,29	23,10	22,77	25,16	2,31
Degré de Connexité/ha (Burel et Baudry 1990)	Plaine argileuse	0,13	0,12	0,04	0,07	0,04	0,08	0,04
	Mixte	0,02	0,03	*	0,21	0,20	0,12	0,10
	Morainique	0,67	0,63	0,52	0,32	0,45	0,52	0,14
Nombre de connexions avec les habitats Forestiers/ha	Plaine argileuse	-	-	-	-	-	-	-
	Mixte	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,01
	Morainique	0,12	0,10	0,12	0,12	0,11	0,11	0,01
Proportion de haies arbustives (%)	Plaine argileuse	39,31	43,03	49,10	79,49	44,10	51,01	16,30
	Mixte	48,09	39,22	53,78	73,63	58,29	54,60	12,80
	Morainique	41,49	25,86	18,82	29,90	21,72	27,56	8,84
Proportion de haies arborescentes (%)	Plaine argileuse	60,69	56,97	50,90	20,51	55,90	48,99	16,30
	Mixte	51,91	60,78	46,22	26,37	41,71	45,40	12,80
	Morainique	58,51	74,14	81,18	70,10	78,28	72,44	8,84

* - valeur inférieure à 0,005.

Tableau II. Corrélations de rangs (coefficient de Kendall) entre la longueur des réseaux de haies de trois paysages agroforestiers (plaine argileuse, mixte, morainique) de la municipalité régionale de comté (MRC) du Haut-Saint-Laurent (Québec) et les degrés de connexité de ceux-ci pour les années 1958, 1968, 1979, 1992 et 1997.

Paysage	Année				
	1958	1968	1979	1992	1997
Plaine argileuse	0,3577	0,5101 *	0,2225	0,2571	0,1541
Mixte	0,2283	0,1704	-	0,5338 *	0,4657 *
Morainique	0,5731 *	0,7281 *	0,7086 *	0,6106 *	0,5200 *

* Résultat significatif avec un risque alpha (α) < 0,05.

Dynamiques des réseaux de haies

Les dynamiques des réseaux de haies des trois paysages se divisent en trois périodes (Tableau I). Alors que les structures des réseaux de haies présentent d'importantes fluctuations durant ces périodes, le nombre de connexions avec les habitats forestiers demeure constant dans chacun des paysages. Couvrant les années 1958 à 1968, la première période présente des dynamiques très similaires pour les trois paysages. Celles-ci sont caractérisées par des augmentations de la densité avec des degrés de connexité relativement stables. On constate cependant que, contrairement au paysage de la plaine argileuse, les haies des paysages mixte et morainique présentent des augmentations au niveau des proportions de haies arborescentes.

La deuxième période qui est comprise entre 1968 et 1979, est caractérisée par des diminutions de densités de haies dans tous les paysages. Ces diminutions sont accompagnées de réductions au niveau des degrés de connexité. Les résultats du

Tableau I montrent que les diminutions de densités de haies coïncident avec des diminutions dans les proportions de haies arborescentes pour les paysages mixte et de la plaine argileuse.

La troisième période s'échelonne de l'année 1979 à 1997. Elle est caractérisée par d'importantes fluctuations qui distinguent les réseaux de haies des trois paysages. Durant cette période, la densité des réseaux de haies de la plaine argileuse connaît une augmentation de l'ordre de 66% par rapport à 1979, alors que dans le paysage mixte, on observe une augmentation (92%) de la densité entre 1979 et 1992, suivi d'une diminution (18%) entre 1992 et 1997. Pour sa part, la densité des réseaux de haies du paysage morainique présente une diminution (10%) quasi constante durant cette période (Tableau I). Ces changements dans la densité des réseaux s'accompagnent d'une diminution du degré de connexité pour le paysage morainique, tandis que les degrés de connexité demeurent relativement stables dans les paysages mixte et de la plaine argileuse (Tableau I). Quant aux rapports entre les proportions de haies arbustives et arborescentes, on remarque que la proportion de haies arbustives culmine en 1992 dans les trois paysages, alors qu'en 1997, les haies arborescentes dominent dans les paysages morainique et de la plaine argileuse (Tableau I).

Dynamiques de l'occupation des parcelles adjacentes aux réseaux de haies

Outre les changements cycliques de l'occupation des sols qui sont dus à la rotation des cultures, les mosaïques agroforestières des trois paysages ont subi d'importantes transformations au niveau des superficies allouées à chaque type d'occupation (Tableau III). Les dynamiques de ces occupations diffèrent considérablement entre les trois paysages.

Tableau III. Evolution des proportions (%) de superficies couvertes par les différentes occupations (pâturage, production fourragère, production céréalière, friche et forêt) en marge des réseaux de haies des trois paysages agroforestiers (plaine argileuse, mixte et morainique), entre 1958 et 1997.

Occupation	Paysage	Année				
		1958	1968	1979	1992	1997
Pâturage	Plaine argileuse	8,65	1,12	10,78	6,06	2,35
	Mixte	19,81	6,26	7,98	7,30	2,42
	Morainique	10,89	19,96	11,07	5,79	10,70
Production fourragère	Plaine argileuse	72,44	71,81	68,24	20,44	35,60
	Mixte	53,21	62,04	62,70	12,66	24,80
	Morainique	43,71	41,70	47,56	40,20	26,14
Production céréalière	Plaine argileuse	7,95	15,61	7,25	59,93	49,16
	Mixte	11,90	10,04	8,09	57,62	39,72
	Morainique	0,35	1,84	-*	4,28	9,29
Friche	Plaine argileuse	0,60	0,54	0,38	0,62	1,75
	Mixte	0,41	1,69	1,53	-	4,28
	Morainique	1,88	0,52	1,44	3,93	14,40
Forêt	Plaine argileuse	-	-	-	-	-
	Mixte	8,78	11,98	11,65	13,16	18,84
	Morainique	28,48	24,16	28,81	34,90	30,18
Autres	Plaine argileuse	10,36	10,91	13,36	12,95	11,14
	Mixte	5,89	7,99	8,05	9,26	9,94
	Morainique	14,69	11,81	11,11	10,91	9,29

* - valeur inférieure à 0,005

D'une part, la plaine argileuse présente des transformations au niveau des occupations agricoles. Entre 1958 et 1979, plus de la moitié de la superficie échantillonnée est couverte par la production fourragère. Après 1979, cette production est largement remplacée par la production céréalière qui occupe plus de la moitié de la superficie agricole échantillonnée en 1992. Pour leur part, les superficies allouées au pâturage fluctuent entre 1958 et 1979 et diminuent considérablement en 1997, alors que les terres non agricoles (forêt, friche) qui occupent des superficies moindres, demeurent relativement stables.

Contrairement à la plaine argileuse, le paysage mixte présente des transformations pour l'ensemble des occupations (Tableau III). Après avoir augmenté entre 1958 et 1979, les superficies occupées par la production fourragère diminuent considérablement en 1992. Tout comme dans le paysage de la plaine argileuse, la proportion des superficies occupées par la production céréalière augmente dans le paysage mixte entre 1979 et 1997. La proportion des superficies pâturées diminue de façon importante entre 1958 et 1997. De plus, les superficies occupées par les occupations non agricoles (friche et forêt) connaissent une importante expansion en passant de 9% en 1958 à plus de 20% de la superficie totale en 1997. Dans le paysage morainique, les transformations touchent également l'ensemble des occupations (Tableau III). Comme dans les autres paysages, la proportion des superficies couvertes par la production fourragère diminue fortement entre 1979 et 1997, alors que les superficies occupées par la production céréalière augmente entre 1968 et 1997. Occupant près de 10% des superficies échantillonnées en 1958, 1979 et 1997, les superficies pâturées présentent une augmentation entre 1958 et 1968 et une diminution entre 1968 et 1992. D'autre part, les superficies occupées par les friches augmentent

considérablement durant la période comprise entre 1968 et 1997, alors que les superficies forestières augmentent de façon moins marquée.

Les résultats des tests de Mantel présentés au Tableau IV montrent que l'organisation de l'occupation des sols est significativement ($p = 0,001$) reliée à la nature et la configuration des dépôts de surfaces pour chacune des périodes échantillonnées. De plus, cette relation a tendance à augmenter entre 1958 et 1997. Présentant une grande stabilité, les caractéristiques physiques des paysages ont donc une influence, entre 1958 et 1997, sur les dynamiques de l'occupation des sols.

Tableau IV. Résultats des tests de Mantel calculés à partir des matrices de ressemblance (coefficient de Gower) de l'occupation des sols et de l'organisation des dépôts de surface (marin, glaciaire et autres) sous-jacents.

Année	<i>R</i>	<i>P</i>
1958	0,20	0,001
1968	0,25	0,001
1979	0,20	0,001
1992	0,43	0,001
1997	0,35	0,001

L'occupation des sols et les changements de densité des réseaux de haies

Les analyses en composantes principales (Figures 3-5) qui illustrent les dynamiques de l'occupation des sols mettent en évidence deux périodes distinctes (1958 à 1979 et 1979 à 1997) pour les paysages mixte et de la plaine argileuse. La distinction entre ces deux périodes est beaucoup moins marquée pour le paysage morainique. En ce qui a trait aux changements de densité des réseaux de haies, les plans d'ordinations des trois paysages permettent de distinguer des relations complexes,

variant dans l'espace et dans le temps, entre l'occupation des sols et les changements (diminution et augmentation) de longueurs des réseaux de haies.

Pour le paysage de la plaine argileuse, le plan d'ordination de l'analyse en composantes principales illustre 74% de la variance contenue dans la matrice de l'occupation des sols (Figure 3). Les centroïdes formés par les stations des années 1958, 1968 et 1979 se situent dans la partie négative de l'axe I. Cette extrémité est fortement associée à la production fourragère. Pour leur part, les centroïdes des stations de 1992 et de 1997 se positionnent plutôt vers l'extrémité positive de l'axe qui est fortement corrélée à la production céréalière. En ce qui a trait à l'évolution des longueurs de haies, les analyses révèlent que les stations qui présentent des diminutions durant les périodes de 1958-1968, de 1968-1979 et de 1979-1992 sont reliées à d'importantes superficies en production fourragère. Pour les stations qui ont subi des diminutions entre 1992 et 1997, elles sont plutôt associées à des superficies allouées à la production céréalière. Pour leur part, les stations qui présentent des augmentations de longueurs entre les années 1968 et 1992 sont associées à une combinaison de pâturage et de production fourragère. Les augmentations survenues durant le premier et le dernier intervalle d'échantillonnage, sont respectivement reliées à la production fourragère et céréalière.

Pour le paysage mixte, le plan d'ordination de l'analyse en composantes principales illustre 59% de la variance contenue dans la matrice de l'occupation des sols (Figure 4). L'ordination présente une structure similaire à celle obtenue pour le

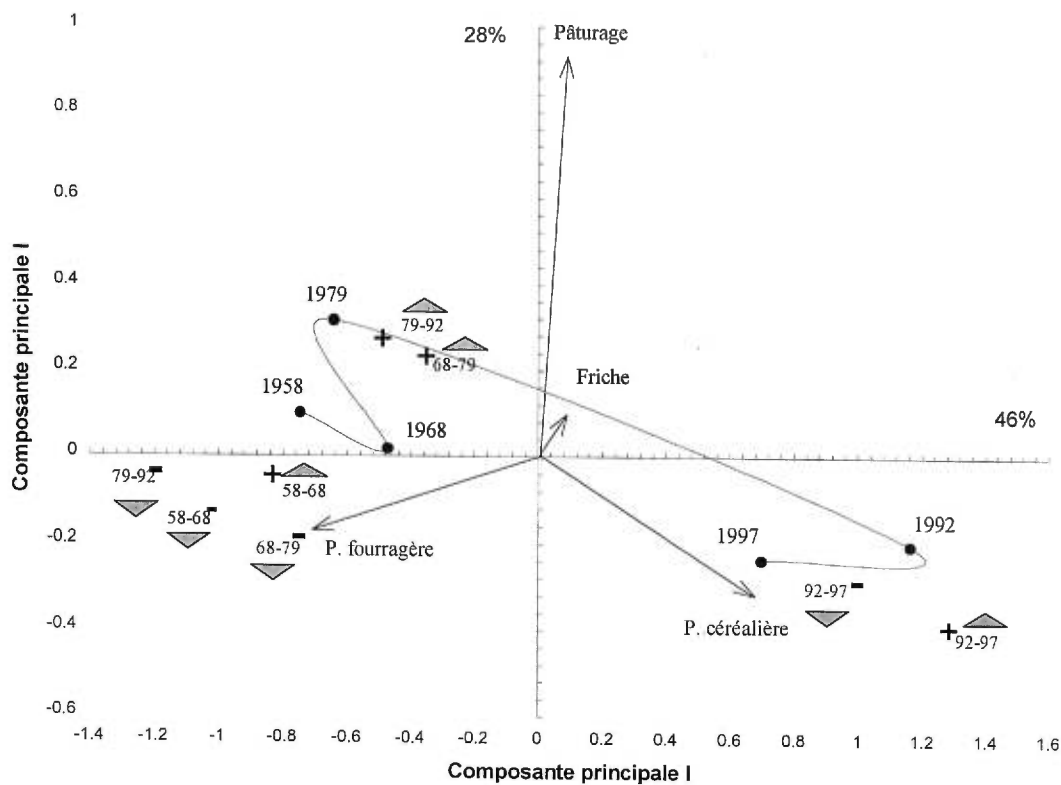


Figure 3. Plan d'ordination de l'analyse en composantes principales de la dynamique de l'occupation des sols observée dans le paysage de la plaine argileuse entre 1958-1997. Centroïdes des stations d'échantillonnage qui présentent des augmentations (+, \blacktriangle) et des diminutions (-, \blacktriangledown) de la longueur de haies pour les intervalles de temps échantillonnés.

paysage de la plaine argileuse (Figure 3). L'axe I du plan d'ordination sépare de façon très évidente les centroïdes des années 1958, 1968 et 1979 de ceux des années 1992 et 1997. Les centroïdes des stations d'échantillonnage qui présentent des diminutions de longueurs de haies sont associés aux superficies pâturées entre 1958 et 1968, à la production fourragère entre 1968, 1979 et 1992 et à la production céréalière entre 1992 et 1997. Pour leur part, les stations qui présentent des augmentations entre 1958 et 1968 ainsi qu'entre 1979 et 1992 sont reliées à la production fourragère, tandis que les autres intervalles de temps sont moins fortement liés à une forme spécifique d'occupation.

Pour le paysage morainique, le plan d'ordination de l'analyse en composantes principales illustre 58% de la variance contenue dans la matrice de l'occupation des sols (Figure 5). Contrairement aux deux autres plans d'ordinations, les centroïdes des stations d'échantillonnage des années 1958, 1968, 1979 et 1992 ne soulignent pas deux périodes distinctes. Pour sa part, le centroïde de l'année 1997 se distingue des autres points en étant relié à une augmentation des superficies forestières, de production céréalière et de terres en friche. Pour la période comprise entre 1958 et 1992, les stations d'échantillonnage qui présentent des diminutions de longueurs sont associées à d'importantes superficies en production fourragère. Cependant, entre 1992 et 1997, les diminutions de longueurs sont reliées aux superficies forestières. Pour leur part, les autres stations qui présentent des augmentations entre 1958 et 1992 sont associées aux superficies pâturées, tandis que les autres intervalles ne sont pas reliées à des formes spécifiques d'occupation.

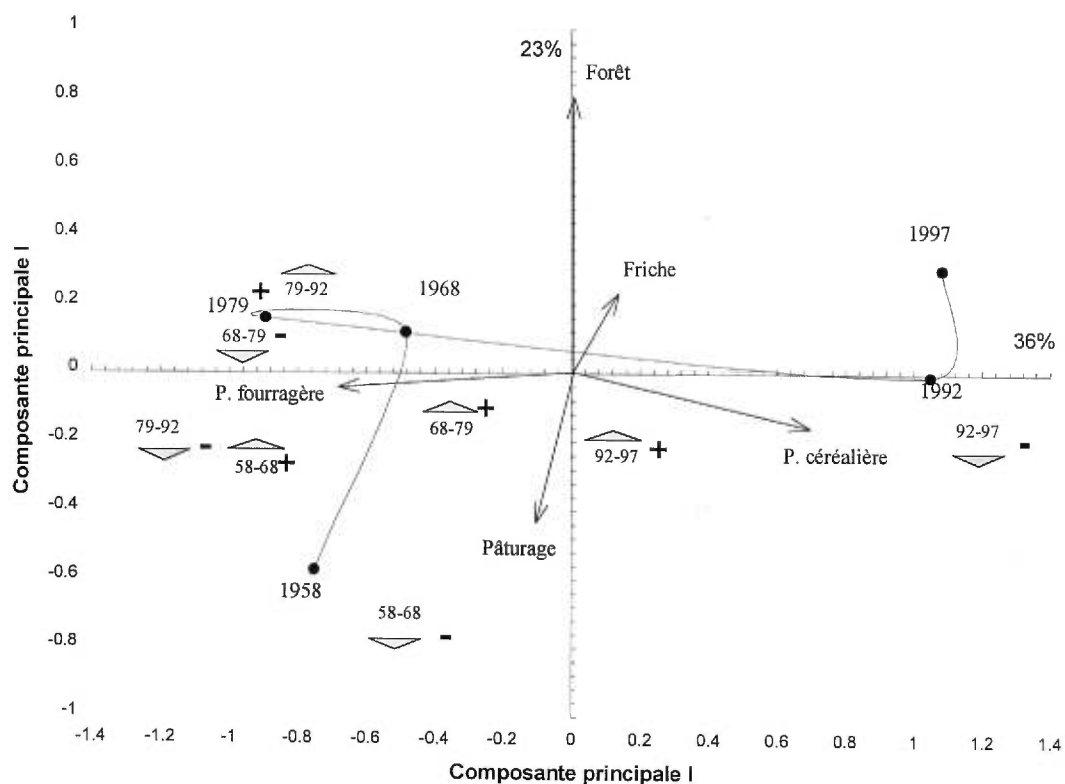


Figure 4. Plan d'ordination de l'analyse en composantes principales de la dynamique de l'occupation des sols observée dans le paysage mixte entre 1958-1997. Centroïdes des stations d'échantillonnage qui présentent des augmentations (+, \blacktriangle) et des diminutions (-, \blacktriangledown) de la longueur des haies pour les intervalles de temps échantillonnés.

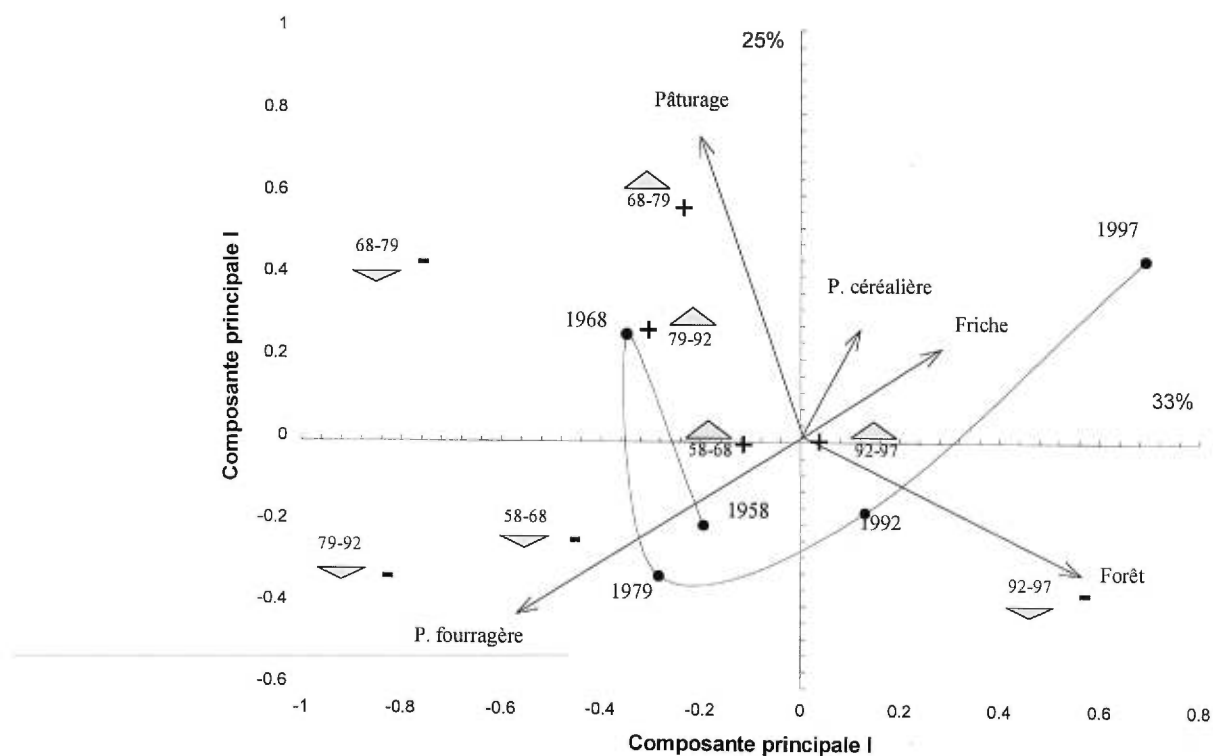


Figure 5. Plan d'ordination de l'analyse en composantes principales de la dynamique de l'occupation des sols observée dans le paysage morainique entre 1958-1997. Centroïdes des stations d'échantillonnage qui présentent des augmentations (+, △) et des diminutions (-, ▽) de la longueur des haies pour les intervalles de temps échantillonnés.

DISCUSSION

Les trois paysages étudiés diffèrent par la nature et la configuration de leurs dépôts de surfaces. Nos résultats soulignent que cette hétérogénéité environnementale influence considérablement l'occupation des sols et la structuration des réseaux de haies (Figure 6). Ces résultats sont en accord avec ceux de Pan et al. (1999) qui ont montré, pour le même territoire et la même période, l'importance des contraintes imposées par les dépôts de surface sur la configuration de la mosaïque agro-forestière. La relation est particulièrement marquée pour les champs en culture qui occupent majoritairement les dépôts marins alors que friches et forêts se concentrent sur les dépôts glaciaires (Pan et al. 1999). Nos travaux montrent que les changements dans les patrons d'occupation du territoire, eux-mêmes fortement associés aux caractéristiques physiques des paysages, ont des conséquences sur la structure des réseaux de haies des paysages agricoles.

Les réseaux de haies du sud-ouest du Québec sont généralement issus de l'envahissement naturel des marges non cultivées. Ces marges ont été constamment soumises à des perturbations liées aux changements des pratiques agricoles durant la période de référence. De plus, la nature et l'intensité de ces changements varient en fonction des paysages et des intervalles de temps observés. Conséquemment, les réseaux de haies de chacun de ces paysages se distinguent à la fois par leurs structures et leurs dynamiques. L'explication de ces patrons nécessite donc l'intégration de certaines variables socio-économiques qui ont entraîné ces changements dans les modes d'occupation du territoire.

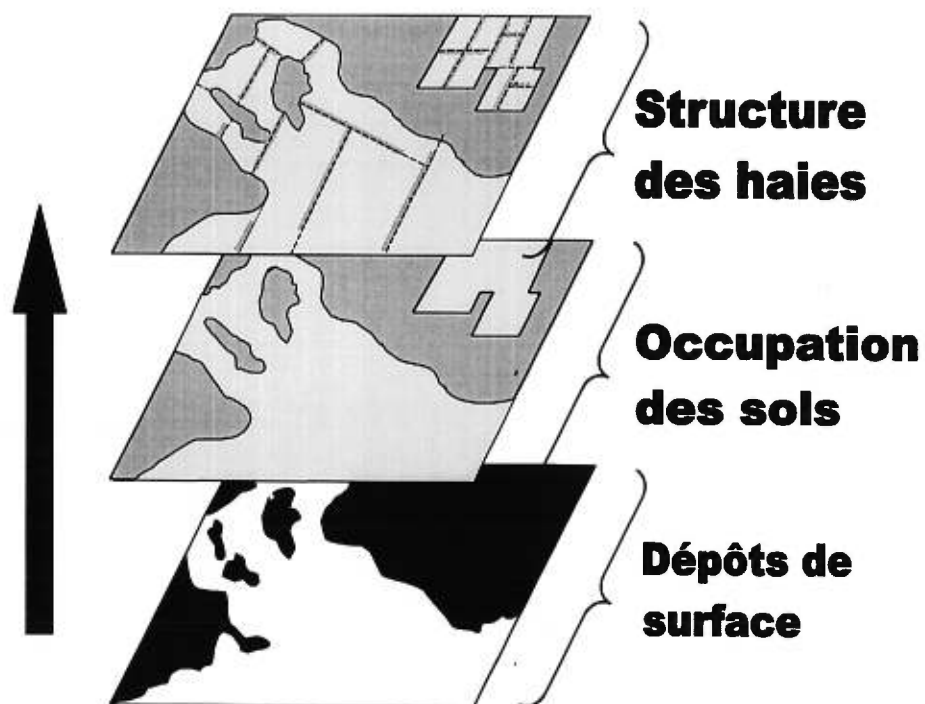


Figure 6. Représentation schématique de l'influence des dépôts de surfaces sur l'occupation des sols et la structure des haies. Dépôt marin , dépôt glaciaire , occupation agricole , occupation non-agricole , haie , limite de champ .

Déjà au début de la période de référence, soit en 1958, les trois paysages agroforestiers étudiés présentaient des réseaux de haies bien distincts au niveau de leur densité et de leur degré de connexité. En effet, bien qu'en 1958, les haies arborescentes étaient dominantes dans les trois paysages, les réseaux de haies des paysages mixte et de la plaine argileuse présentaient de faibles densités avec très peu de connexions, alors que les réseaux de haies du paysage morainique étaient plus denses et très connectés entre eux et avec les habitats forestiers. On peut supposer que les conditions observées en 1958 prennent leur origine dans les changements dans les pratiques agricoles amorcées dans la première moitié du 20^{ième} siècle alors qu'on observait un passage d'une agriculture traditionnelle, caractérisée par des pratiques diversifiées dans des parcelles généralement plus petites, à une agriculture plus intensive caractérisée par la mécanisation des travaux et par l'aménagement accru des terres exploitées (Séguin 1980). En effet, l'uniformisation des productions et l'utilisation de machines plus imposantes a conduit à l'agrandissement et à la restructuration de plusieurs parcelles agricoles à la fin de la première moitié du 20^{ième} siècle. Ces réorganisations pourraient avoir entraîné l'élimination de plusieurs haies qui délimitaient les parcelles agricoles, et ce principalement sur les dépôts marins. En effet, Paquette et Domon (1997) ont conclu que les pratiques agricoles au 19^{ième} siècle n'étaient pas contraintes par les dépôts de surface, tandis que Pan et al. (1999) ont montré une concentration des activités agricoles sur les dépôts marins au cours des dernières décennies. Ainsi, on peut assumer que les trois paysages pouvaient présenter des activités agricoles de nature et d'intensité similaires à la fin du 19^{ième} siècle. Par la suite, les restructurations observées dans les modes d'occupation du territoire auraient affecté de manière différente les réseaux de haies du paysage morainique par rapport à ceux des deux

autres paysages. Ainsi, ces différences pourraient être une conséquence directe de la concentration et de l'intensification des activités agricoles sur les dépôts marins. Ceci est d'autant plus plausible que les observations effectuées sur le terrain ont montré que les haies du paysage morainique étaient généralement associées à des clôtures de pierre, des structures anciennes et relativement stables, alors les haies des paysages mixte et de la plaine argileuse étaient souvent associées à des fossés de drainage.

Envahissement des marges non cultivées : 1958-1968

Entre 1958 et 1968, la densité des réseaux de haies a considérablement augmenté dans les trois paysages (Tableau I). Dans les paysages mixte et de la plaine argileuse, ces augmentations sont généralement associées à des stations qui présentent d'importantes superficies en production fourragère (Figures 3 et 4). Cependant, ces augmentations ont peu modifié les degrés de connexité des réseaux de haies. Ces résultats suggèrent une augmentation des haies parallèles plutôt que transversales puisque ces dernières sont généralement très connectées et influencent fortement les degrés de connexité des réseaux (Figure 7). Ces augmentations de densité seraient donc le résultat du réenvahissement des marges non cultivées qui coïncide avec l'utilisation accrue des engrais et des pesticides inorganiques (Reiss et al. 1984). Ces nouvelles pratiques ont permis aux agriculteurs québécois d'accroître leurs productions animales et végétales sans devoir procéder à d'importantes restructurations et des aménagements au niveau des parcelles agricoles. Ce contexte entraîne alors une stabilisation des marges non-exploitées et par conséquent une diminution de l'intensité des perturbations qui affectent les réseaux de haies. L'utilisation intensive d'engrais

pourrait même avoir favorisé le développement de haies arborescentes et arbustives dans l'ensemble des trois paysages (Jobin et al. 1997).

Diminution des densités et des degrés de connexités: 1968-1979

Durant la période comprise entre 1968 et 1979, les réseaux de haies des trois paysages ont subi d'importantes transformations. Ces transformations se sont traduites par des diminutions générales de la densité des réseaux de haies et par d'importantes réductions au niveau des degrés de connexité pour les paysages mixte et de la plaine argileuse. On observe également des diminutions au niveau des proportions de haies arborescentes dans ces deux paysages. Pour leur part, les réseaux de haies du paysage morainique demeurent majoritairement (81%) constitués de haies arborescentes. Ces résultats sous-entendent que les réseaux de haies de ce paysage ont été soumis à des perturbations différentes de celles rencontrées sur les dépôts marins.

Comme le montrent les analyses en composantes principales, les diminutions de la longueur des haies mesurées entre 1968 et 1979 dans les paysages mixtes et de la plaine argileuse sont fortement associées à la production fourragère. De plus, les résultats du Tableau III montrent que les superficies couvertes par les friches et les forêts y sont demeurées relativement constantes durant cette période. Les réseaux de haies de ces paysages auraient alors été affectés par des activités de restructuration et de réaménagement des parcelles agricoles. En effet, suite à la saturation des marchés laitiers internationaux et à la hausse des coûts de productions qui ont bouleversé le secteur agricole au début des années 1970, plusieurs programmes gouvernementaux ont été mis en place afin de subventionner des travaux d'aménagement qui visaient à favoriser le développement des grandes cultures (Domon et al. 1993). Parmi ces

programmes, l'aménagement de systèmes de drainage souterrain et l'entretien des fossés de lignes en marge des parcelles pourraient avoir affecté le développement des réseaux de haies des paysages mixte et de la plaine argileuse. Ces travaux se sont d'ailleurs intensifiés au cours des années 1970 (Ministère de l'agriculture 1980), ce qui a accentué les pressions sur les réseaux de haies. Cette période a également entraîné la consolidation de plusieurs fermes, réduisant ainsi le nombre de producteurs tout en augmentant la taille moyenne des exploitations (Statistique Canada 1997). Cette consolidation des capitaux a favorisé l'agrandissement des parcelles et par conséquent l'élimination de certaines haies qui délimitaient celles-ci. Ces dernières transformations ont particulièrement affecté les degrés de connexité des réseaux de haies, ce qui suggère que les haies éliminées étaient généralement des haies transversales qui connectaient d'autres haies (Figure 7).

Contrairement aux paysages qui présentent un potentiel agricole élevé (mixte et de la plaine argileuse), la réduction de la densité et des degrés de connexité des réseaux de haies du paysage morainique semble être attribuable à l'abandon de plusieurs parcelles agricoles entre 1968 et 1979 (Figure 7). Les résultats obtenus au tableau III montrent en effet une augmentation des superficies associées aux friches et aux forêts. Cette augmentation a pour conséquence d'entraîner l'intégration des haies adjacentes aux friches et aux milieux forestiers. On note par ailleurs que ces transformations ont également pu être observées dans le paysage mixte où certaines parcelles agricoles (majoritairement de pâturages) situées sur les îlots de dépôts glaciaires ont été laissées à l'abandon entre 1958 et 1979.

En résumé, les diminutions de densité des réseaux de haies des paysages mixte et de la plaine argileuse pour la période 1968–1979 seraient attribuables aux travaux

d'aménagement et de restructuration des parcelles agricoles, alors que dans le paysage morainique, les diminutions seraient plutôt liées au réenvahissement des parcelles par les friches et les forêts. Les conséquences écologiques de ces dynamiques sont bien différentes. En effet, dans le premier cas, la disparition des haies entraîne une perte d'habitat et de corridors potentiels pour le mouvement de certaines espèces (Bennett et al. 1994), alors que dans l'autre on observe plutôt une transformation de ces habitats.

Reprise des haies en bordures des parcelles : 1979-1997

Tel que le démontrent les résultats du tableau I, les densités des réseaux de haies des paysages mixte et de la plaine argileuse ont considérablement augmenté durant la période qui a suivi la restructuration et l'aménagement du territoire agricoles (1968-1979). Ces augmentations de densités seraient attribuables au réenvahissement végétal des zones non cultivées en marges des parcelles agricoles. Ces réenvahissements ont entraîné d'importantes augmentations au niveau des proportions de haies arbustives en 1992. De plus, ces changements coïncident avec la diminution des sommes allouées au programmes d'amélioration et d'aménagement des terres durant les années 1980 (Domon et al. 1993). On constate par ailleurs que durant cette même période, les productions fourragères ont été remplacées par les productions céréalières. Il semble donc que ces changements n'aient pas limité le développement des réseaux de haies. En effet, on constate que les structures des réseaux de haies sont généralement affectées par les aménagements qui précèdent les changements de productions.

Pour leur part, les réseaux de haies du paysage morainique ont continué à subir des diminutions au niveau de leur densité et de leur degré de connexité. Ces transformations seraient toujours associées à la diminution des superficies agricoles et à

l'augmentation des superficies en friches et en forêts, donc à une assimilation des haies par ces occupations. Par ailleurs, le fait que les superficies allouées aux pâturage diminuent faiblement et que les productions fourragères laissent place aux friches plutôt qu'à la production céréalière, indique une marginalisation des activités agricoles sur les dépôts glaciaires.

On constate donc que les réseaux de haies des trois paysages se sont développés de façons très différentes durant la deuxième moitié du 20^{ième} siècle (Figure 7). Par conséquent, on observe en 1997 des réseaux de haies bien distincts dans chacun des paysages. En effet, les réseaux de la plaine argileuse se constituent de longues haies, généralement associées aux fossés de drainage et faiblement connectées entre elles, dans un paysage qui présente de grandes parcelles rectangulaires résultant de l'intensification des activités et de la consolidation des terres agricoles. Pour leur part, les réseaux de haies du paysage mixte sont associés à une matrice agricole dont l'expansion a été limitée par la présence d'îlots forestiers sur les dépôts morainiques. En fait, en limitant la grandeur des parcelles agricoles, ces îlots favorisent le développement de haies moins longues avec un degré de connexité plus élevé. Enfin, les réseaux de haies du paysage morainique, généralement associés à des clôtures de pierres, se sont développés dans un contexte agricole moins intensif qui a permis le développement de réseaux relativement stables comme en témoigne la proportion des haies arborescentes. La réduction de la densité des réseaux de haies de ce paysage serait attribuable à l'intégration de celles-ci à l'intérieur des friches et des forêts.

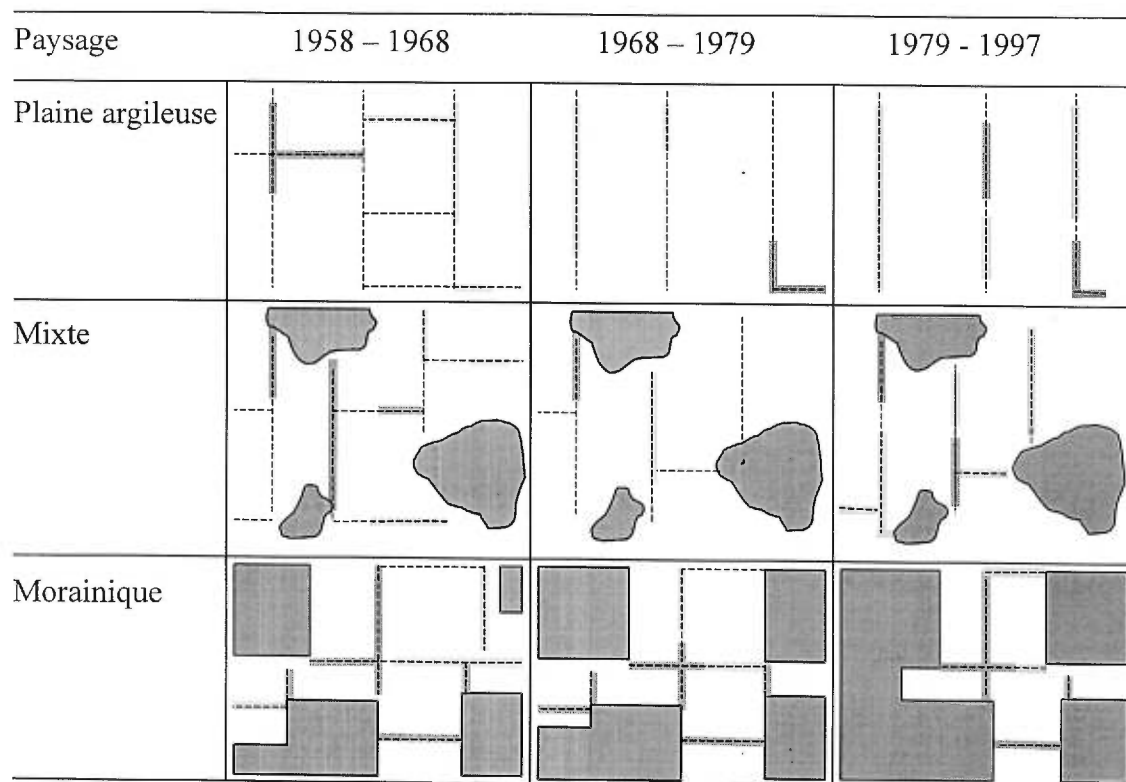


Figure 7. Représentation schématique de la dynamique (1958-1997) des réseaux de haies en fonction de trois types de paysages agroforestiers (plaine argileuse, mixte et morainique). Haie arborescente ———, haie arbustive ———, limite de champ ······, parcelle agricole □, forêt ■.

L'ensemble de ces résultats montre que les dynamiques des réseaux de haies du sud-ouest du Québec diffèrent considérablement des tendances qui se dégagent de la littérature. En effet, des études menées en Europe (Brackevelt 1988, Burel et Baudry 1990) soulignent d'importantes diminutions de la longueur et de la connexité des réseaux de haies durant la deuxième moitié du 20^{ième} siècle. Ces transformations ont été attribuées à la mécanisation des activités agricoles et aux politiques de réalottement. Pour leur part, les réseaux de haies des paysages agricoles du nord-est des Etats-Unis (Demers et al. 1995) présentent des dynamiques qui se distinguent en fonction du type de dépôt de surface. Ainsi, entre 1940 et 1988, Demers et al. (1995) notent d'importantes augmentations au niveau de la longueur des haies sur les dépôts morainiques tandis que celle-ci demeure relativement stable sur les dépôts argileux. Les augmentations observées sur les dépôts morainiques sont attribuées à la subdivision de plusieurs fermes marginales. Bien que l'influence des dépôts de surfaces ait été soulignée par l'étude de Demers et al. (1995), les dynamiques des réseaux de haies de deux paysages de l'Ohio diffèrent considérablement de celles rencontrées au sud-ouest du Québec sur les mêmes types de dépôts. De plus, les résultats de la présente étude soulignent l'importance d'analyser simultanément les variables de longueur, de connexité et de composition des haies afin de bien représenter l'évolution des réseaux à l'intérieur des paysages agricoles. D'autre part, l'intégration des données d'occupation des sols permet de mieux comprendre le contexte dans lequel les transformations structurelles des réseaux de haies se produisent. La compréhension de ces différents contextes est très importante dans l'évaluation des impacts écologiques qu'entraîne l'évolution des réseaux de haies à l'intérieur des paysages agricoles.

Conséquences écologiques des transformations

L'intensification et la modernisation des pratiques agricoles a des conséquences sur la structure de l'ensemble des réseaux de haies et possiblement sur leur fonctions écologiques (Forman et Baudry 1984, Burel et Baudry 1995, Jobin et al. 1997, Le Cœur et al. 1997). Ainsi, la diminution du degré de connexité des réseaux dans la plaine argileuse observée dans les 39 dernières années pourraient avoir réduit la diversité floristique à l'échelle du paysage puisque plusieurs intersections qui présentent généralement une richesse plus élevées que les haies, ont été éliminées (Riffell et Gutzwiller 1996). D'autre part, la disparition des haies peut limiter considérablement les échanges biologiques importants pour assurer la survie des métapopulations à l'intérieur des paysages fragmentés (Fahrig et Merriam 1985, Fritz et Merriam 1994).

Par ailleurs, certaines études ont démontré que l'utilisation accrue des fertilisants et des herbicides associés aux productions céréalières pouvait affecter la composition floristique et faunique des réseaux de haies (Van Strien et al. 1989, Freemark et Boutin 1995, Jobin et al. 1997, Marrs et Frost 1997). Ainsi, l'intensification des activités agricoles aurait comme conséquences d'accroître l'appauvrissement de la diversité biologique à l'intérieur des haies (Arnold 1983, Osborne 1984, Thomas et al. 1991, Burel 1992, Best et al. 1995, Jobin et al. 1997). La conservation de cette diversité représente un bénéfice considérable pour le développement d'un système agricole durable (Mineau et McLaughlin 1996).

CONCLUSION

La dynamique des réseaux de haies observés entre 1958 et 1997 dans les paysages agroforestiers du sud-ouest du Québec est fortement associée à la nature et à l'organisation spatiale des dépôts de surfaces. Ainsi, les réseaux de haies situés sur les dépôts de surfaces qui présentent un potentiel agricole élevé (dépôts marins) ont subi des perturbations plus importantes que ceux situés sur des dépôts moins propices à l'agriculture intensive (dépôts glaciaires). En effet, l'intensification des productions agricoles et la consolidation des exploitations ont entraîné l'élimination de nombreuses haies qui délimitaient les anciennes parcelles des paysages à dominance de dépôts marins. De plus, la structure des réseaux de haies a été considérablement affectée par les travaux d'aménagements associés à l'expansion des productions céréalières. Par ailleurs, on constate que les réseaux de haies sur dépôts marins sont en reconstruction suite aux transformations des années 1970. On constate cependant que les nouveaux réseaux de la plaine argileuse sont généralement constitués de longues haies qui présentent peu de connexions entre elles. En réduisant le degré de connexité des réseaux de haies, ces transformations pourraient avoir d'importantes conséquences sur la diversité biologique des haies puisque celle-ci est fortement influencée par la structure spatiale des réseaux. Pour leur part, les diminutions de la longueur et du degré de connexité des réseaux de haies du paysage morainique sont fortement associées à la déprise agricole. En effet, la diminution des activités agricoles a entraîné l'augmentation des superficies en friche et en forêt suite à l'envahissement d'anciennes parcelles agricoles. On constate donc que les mécanismes qui agissent sur la dynamique des réseaux de haies diffèrent considérablement en fonction des

caractéristiques physiques des paysages ainsi que du contexte socio-économique des activités agricoles.

Puisque les réseaux de haies peuvent augmenter l'hétérogénéité spatiale à l'intérieur des paysages agricoles, il est important d'accentuer la gestion de ces éléments afin de favoriser le développement de systèmes de productions agricoles durables. En effet, les haies peuvent contribuer de façon significative à l'augmentation de la qualité et de la quantité des habitats disponibles à l'intérieur de paysages fortement simplifiés par l'intensification des activités agricoles. Par ailleurs, ces habitats permettent d'augmenter la diversité biologique à proximité des parcelles agricoles et favorisent le contrôle des populations nuisibles aux productions agricoles. Les haies permettent également de stabiliser les sols et de limiter le lessivage des nutriments et des engrais résiduels par les eaux de ruissellement. Il est donc important d'intégrer l'aménagement des réseaux de haies dans l'élaboration de plans de gestion qui visent à harmoniser les rôles écologiques et économiques des paysages agricoles.

RÉFÉRENCES

- Anderson, G.S. et Danielson, B.J. 1997. The effect of landscape composition and physiognomy on metapopulation size : the role of corridors. *Landscape Ecol.* 12: 261-271.
- Arnold, G.W. 1983. The influence of ditch and hedgerow structure, length of hedgerows, and area of woodlands and garden on bird numbers on farmland. *J. Appl. Ecol.* 20 : 731-750.
- Bariteau, L. 1988. La cartographie géomorphologique au 1:20 000 de modèles polygéniques : un exemple des basses terres du Saint-Laurent. M.Sc. Thesis, Université de Montréal, 185 pp. et appendices.
- Bariteau, L. 1987. Haut-Saint-Laurent : écologie et aménagement, carte géomorphologique, feuillet 1. Carte à 1/20 000 de Cazaville (feuille no 31 g 01-200-0101). Centre de recherches écologique de Montréal (CREM), Université de Montréal.
- Baudry, J. 1988. Structure et fonctionnement écologique des paysages : Cas des bocages. *Bull. Ecol.* 19 : 523-530.
- Bennett, A.F. 1990. Habitat corridors and the conservation of small mammals in a fragmented forest environment. *Landscape Ecol.* 4 : 109-122.
- Bennett, A.F., Merriam, G. et Henein, K. 1994. Corridor use and the elements of corridor quality : chipmunks and fencerows in a farmland mosaic. *Biological Conservation* 68 : 155-165.

- Best, L.B., Freemark, K.E., Dinsmore, J.J. et Camp, M. 1995. A review and synthesis of habitat Use by breeding bird in agricultural landscapes of Iowa. *Am. Midl. Nat.* 134 : 1-29.
- Bouchard, A. et. Domon, G. 1997. The transformations of the Natural Landscapes of the Haut-Saint-Laurent (Québec) and their Implications on Future Resource Management. *Landscape Urban Plann.* 37 : 99-107.
- Bouchard, A., Bergeron, Y., Camiré, C., Gangloff, P. et Gariépy, M. 1985. Proposition d'une méthodologie d'inventaire et de cartographie écologique : le cas de la MRC du Haut-Saint-Laurent. *Cah. Géogr. Québec* 29 (76) : 79-95.
- Braekevelt, A. 1988. Evolution of the spatial structure of the hedgerow in the houtland (NW-Belgium). dans *Connectivity in Landscape Ecology*, Proceedings of the 2nd International Seminar of the International Association for Landscape Ecology. *Münstersche Geographische Arbeiten* 29, Münster.
- Brisson, J., Bergeron, Y. et Bouchard, A. 1988. Les successions secondaires sur sites mésiques dans le Haut-Saint-Laurent, Québec, Canada. *Can. J. Bot.* 66 : 1192-1203.
- Burel, F. 1992. Effect of landscape structure and dynamics on species diversity in hedgerow networks. *Landscape Ecol.* 6 : 161-174.
- Burel, F. 1996. Hedgerows and their Role in agricultural Landscapes. Critical reviews in *Plant Sciences* 15 (2): 169-190.
- Burel, F. et Baudry, J. 1990. Structural dynamic of a hedgerow network landscape in Brittany France. *Landscape Ecol.* 4 (4):197-210.

- Burel, F. et Baudry, J. 1995. Social, aesthetical and ecological aspects of hedgerows in rural landscapes as a framework for greenways. *Landscape Urban plan.* 33 (1-3): 327-340.
- Choinière, L. et Bélanger, L. 1995. Fréquentation des haies brise-vent par la faune aviaire en milieu agricole et perspectives d'intégration faune-agriculture. Service canadien de la faune, Région du Québec. Série de rapports techniques (Service canadien de la faune) no 239.
- Clergeau, P. et Burel, F. 1997. The role of spatio-temporal patch connectivity at the landscape level : an example in a bird distribution. *Landscape Urban Plann.* 38, 37-43.
- de Blois, S., Domon, G. et Bouchard, A. Environmental, historical and contextual determinants of vegetation cover : a landscape perspective. (en preparation).
- Demers, M.N., Simpson, J.W., Boerner, R.E.J., Silva, A., Berns, L. et Artigas, F. 1995. Fencerows, Edges, and Implications of Changing Connectivity Illustrated by Two Contiguous Ohio Landscapes. *Conservation Biology* 9 (5) :1159-1168.
- Dennis, P. et Fry, G.L.A. 1992. Field margins : can they enhance natural enemy population densities and general arthropod diversity on farmland. *Agricultural, Ecosystems & Environment* 40: 95-115.
- Domon, G., Bouchard, A. et Gariépy, M., 1993. The dynamics of the forest landscape of Haut-Saint-Laurent (Québec, Canada) : interactions between biophysical factors, perceptions and policy. *Landscape Urban Plann.* 25 : 53-74.
- Ecoregions Working Group, 1989. Ecoclimatic regions of Canada, first approximation. Ecoregions working group of the Canada committee on ecological land classification. Ecological and classification series, No. 23, Sustainable

development branch, Canadian Wildlife Service, Conservation and Protection, Environment Canada, Ottawa. 119 pp. et carte à 1 : 7,500.000.

Fahrig, L. et Merriam, G. 1985. Habitat patch connectivity and population survival. *Ecology* 66 : 1762-1768.

Fahrig, L. et Merriam, G. 1994. Conservation of fragmented populations. *Conservation Biology* 8 : 50-59.

Forman, R.T.T. et Baudry, J. 1984. Hedgerows and hedgerow networks in *Landscape Ecology*. *Environmental Management* 8 : 499-510.

Forman, R.T.T. et Godron, M. 1986. *Landscape ecology*. John Wiley & Sons, New York.

Freemark, K. et Boutin, C. 1995. Impacts of agricultural herbicide use on terrestrial wildlife in temperate lanscape : A review with special référence to North America. *Agricultural, Ecosystems & Environment* 52 : 67-91.

Fritz, R. et Merriam, G. 1994. Fencerow and forest edge vegetation structure in eastern Ontario farmland. *Ecoscience* 1 (2) :160-172.

Gabriel, K.R. 1971. The biplot graphic display of matrices whit application to principal component analysis. *Biometrika* 58 : 453-467.

Gower, J.C. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics* 27 : 857-871.

Grandtner, M.M. 1966. *La végétation forestière du Québec méridional*. Les Presses de l'Université de Laval, Québec, 216 pp.

- Heinen, K. et Merriam, G. 1990. The elements of connectivity where corridor quality is variable. *Landscape Ecol.* 4: 171-176.
- Heinen, K., Wegner, J. et Merriam, G. 1998. Population effects of landscape model manipulation on two behaviourally different woodland small mammals. *Oikos* 81 : 168-186.
- Holm, S. 1979. A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics* 6: 65-70.
- Iverson, L.R. 1988. Land-use change in Illinois, USA : The influence of landscape attribute on current and historic land use. *Landscape Ecol.* 2 :45-62.
- Jean, M. et Bouchard, A. 1991. Temporal Changes in Wetland Landscapes of a Section of the St. Lawrence River, Canada. *Environmental Management* 15 :241-250.
- Jobin, B., Boutin, C. et DesGranges, J.-L. 1996. Habitats fauniques du milieu rural québécois : une analyse floristique. *Can. J. Bot.* 74 323-336.
- Jobin, B., Boutin, C. et DesGranges, J.-L. 1997. Effects of agricultural practices on the flora of hedgerows and woodland edges in Southern Quebec. *Can. Jour. Plant. Sciences* 77 : 293-299.
- Kort, J. 1988. Benefits of windbreaks to field and forage crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 22-23 : 165-190.
- Le Cœur, D., Baudry, J. et Burel, F. 1997. Field margins, plant assemblages : variation partitioning between local and landscape factors. *Landscape and Urban Plann.* 37: 57-71.

- Legendre, P. et Vaudor, A. 1991. Le progiciel R - Analyse multidimensionnelle, analyse spatiale. Département de sciences biologiques, Université de Montréal. iv +144p.
- Mantel, N. 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research* 27 : 209-220.
- Marrs, R.H. et Frost, A.J. 1997. A microcosm approach to the detection of the effects of herbicide spray drift in plant communities. *Journal of environmental management* 50 : 369-388.
- McCarthy, B.C. 1994. Experimental studies of hickory recruitment in a wooded hedgerow and forest. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 121 (3):240-250.
- Meilleur, A., Bouchard, A. et Bergeron, Y. 1994. The relation between geomorphology and forest community types of the Haut-Saint-Laurent, Québec. *Vegetatio* 111 : 173-192.
- Merriam, G. et Lanoue, A. 1990. Corridor use by small mammals : Field measurements for the three experimental types of *Peromyscus leucopus*. *Landscape Ecol.* 4 : 123-131.
- Metzger, J.-P. et Décamps, H. 1997. The structural connectivity threshold : an hypothesis in conservation biology at the landscape scale. *Acta Oecologica* 18 (1): 1-12.
- Mineau, P. et McLaughlin, A. 1996. Conservation of biodiversity within canadian agricultural landscape integrating habitat for wildlife. *Journal of agricultural and environmental ethics* 9 : 93-113.

- Ministère de l'agriculture, 1980. Rapport annuel 1978/1979. Editeur officiel du Québec, Québec.
- Osborne, P. 1984. Bird numbers and habitat characteristics in farmland hedgerows. *J. Appl. Ecol.* 21 : 63-82.
- Pan, D., Domon, G., de Blois, S. et Bouchard, A. 1999. Temporal (1958-1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Québec, Canada) and their relation to landscape physical attributes. *Landscape Ecol.* 14 :35-52.
- Paquette, S. et Domon, G. 1997. The transformation of the agroforestry landscape in nineteenth century : a case study. *Landscape Urban Plann.* 37 : 197-209.
- Riffell, S.K. et Gutzwiller, K.J. 1996. Plant-species richness in corridor intersections : is intersection shape influential? *Landscape Ecol.* 11 (3) :157-168.
- Rowe, J.S. 1972. Les régions forestières du Canada. Serv. Can. For., Min. Environ. Can., Publ. No 1300f.
- Reiss, R., Perron, F., Paré, J. et Saint-Jean, R. 1984. Les pesticides en agricultures au Québec en 1982. Min. Approvisionnement et Services Canada. no EN 40-319/1984F. 134p.
- SAS Institute, 1996. *JMP start statistics : a guide to statistical and data analysis using JMP and JMP IN software.* California, Wadsworth Thomson Publishing.
- Séguin, N. 1980. *Agriculture et Colonisation au Québec : Aspects Historiques.* Boréal Express, Montréal.
- Sellar, R. 1888. *The history of Huntingdon and the seignories of Beauharnois and Chateauguay.* Huntingdon Gleaner Inc., Huntingdon.

- Simard, H. et Bouchard, A. 1996. The precolonial 19th century forest of the Upper St. Lawrence region of Québec : a record of its exploitation and transformations through notary deeds of woods sales. *Can. J. For. Res.* 26 : 1670-1676.
- Simpson, J.W., Boerner, R.E.J., De Mers, M.N., Berns, L.A., Artigas, F.J. et Silva, A. 1994. Forty-eight years of landscape change on two contiguous Ohio landscapes. *Landscape Ecol.* 9 : 261-270.
- Soltner, D. 1985. *L'arbre et la haie, pour la production agricole pour l'équilibre écologique et le cadre de vie rurale*. 7^e Edition. Sainte-Gemmes-sur-Loire, Collection Sciences et techniques agricoles.
- Sotherton, N.W. 1998. Land use changes and the decline of farmland wildlife : an appraisal of the set-aside approach. *Biological Conservation* 83 : 259-268.
- Statistique Canada, 1997. Aperçu historique de l'agriculture canadienne, Catalogue 93-358-XPB, Ottawa.
- Taylor, A.D. 1990. Metapopulations, dispersal, and predator-prey dynamics: an overview. *Ecology* 71: 429-433.
- Thomas, M.B., Wratten, S.D. et Sotherton, N.W. 1991. Creation of « island » habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods : predator densities and emigration. *J. Appl. Ecol.* 28 : 906.
- Van Strien, J., Van DerLinden, J, Melman Th.C.P. et Noordervliet, M.A.W. 1989. Factors affecting the vegetation of ditch banks in peat areas in the western Netherlands. *J. Appl. Ecol.* 26: 989-1004.

White, D., Minotti, P., Barczak, M.J., Sifneos, J.C., Freemark, K.E., Santelmann, M.V., Steinitz, C.F., Kiester, A.R. et Preston, E.M. 1997. Assessing risks to biodiversity from future landscape change. *Conservation Biology* 11 (2) : 349-360.

Wright, S.P. 1992. Adjusted P-Values for simultaneous inference. *Biometrics* 48: 1005-1013.