

Record Number: 143850
Author, Monographic: Savary, S.//Dolbec, J. F.//Rousseau, A. N.
Author Role:
Title, Monographic: Description d'un processus de classification orientée objet pour la cartographie et la détection des changements de l'occupation du sol à l'aide d'images satellitaires du bassin versant de la rivière Chaudière pour la période de 1970 à 2000

Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau, Terre & Environnement
Date of Publication: 2006
Original Publication Date: 26 septembre 2006
Volume Identification:
Extent of Work: vii, 92
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Terre & Environnement, rapport de recherche
Series Volume ID: 873
Location/URL:
ISBN: 2-89146-527-x
Notes: Rapport annuel 2006-2007
Abstract: Numéro demandé par Stéphane Savary le 2 août 2006, attribué par JD Bourgault le 2 août 2006. ISBN? oui (Si on attribue un ISBN, alors il y aura dépôt légal par l'INRS-ETE).
Date de dépôt aux archives 16 octobre 2006
Rapport réalisé pour Ressources Naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés au changement climatique, Secteur des sciences de la terre

Call Number: Dépôt fait à la BNC et BNQ le 23 novembre 2006. Pas de prix. Calculer en 2007 à 27.00 \$
R000873
Keywords: rapport/ ok/ dl

**Description d'un processus de classification
orientée objet pour la cartographie et la
détection des changements de l'occupation du
sol à l'aide d'images satellitaires du bassin
versant de la rivière Chaudière pour la période
de 1970 à 2000**

Rapport de recherche No 873

Septembre 2006

Description d'un processus de classification orientée objet pour la cartographie et la détection des changements de l'occupation du sol à l'aide d'images satellitaires du bassin versant de la rivière Chaudière pour la période de 1970 à 2000

Rapport pour le projet :

FACC A9446
Programme Impacts et Adaptation

Direction des impacts et de l'adaptation liés au changement climatique
Secteur des sciences de la terre
Ressources Naturelles Canada/Gouvernement du Canada

Préparé par :
Stéphane Savary, M.Sc.
Jean-Francois Dolbec, M.Sc.
Alain N. Rousseau, Ph.D.,ing.
Renaud Quilbé, D.Sc.

Centre Eau, Terre et Environnement
Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-ETE)
490, rue de la Couronne, Québec (Qc), G1K 9A9

Rapport N° 873

26 Septembre 2006

ISBN : 2-89146-527-X

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	III
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
1 INTRODUCTION.....	1
2 CONTEXTE D'ÉTUDE	3
2.1 SECTEUR D'ÉTUDE	3
2.2 DONNÉES UTILISÉES	5
2.2.1 <i>Images satellitaires</i>	6
2.2.2 <i>Autres données</i>	7
2.3 PROBLÉMATIQUE RELIÉE À LA TÉLÉDÉTECTION ET AU CONTEXTE DU PROJET.....	9
3 DÉMARCHE DE RECHERCHE.....	13
3.1 PRÉTRAITEMENTS.....	13
3.1.1 <i>Transformations radiométriques</i>	13
3.1.2 <i>Transformations géométriques</i>	15
3.1.3 <i>Autres prétraitements</i>	16
3.2 CLASSIFICATION.....	19
3.2.1 <i>Classes pré-classifiées</i>	19
3.2.2 <i>Analyse en composantes principales</i>	22
3.2.3 <i>Segmentation</i>	24
3.2.4 <i>Classification orientée objet</i>	28
3.2.5 <i>Sites d'entraînement</i>	31
3.2.6 <i>Images classifiées</i>	38
4 ANALYSE DES RÉSULTATS	39

4.1	ÉVOLUTION SPATIALE ET TEMPORELLE DES CLASSIFICATIONS.....	41
4.2	COMPARAISON DES RÉSULTATS	57
5	CONCLUSION	63
6	RÉFÉRENCES	67
ANNEXE A CARACTÉRISTIQUES DES CARTES D'OCCUPATION DU SOL DE		
	1977.....	71
A.1	CARACTÉRISTIQUES CARTOGRAPHIQUES	71
A.2	DÉFINITIONS DES DONNÉES THÉMATIQUES CONTENUES DANS LES CARTES D'OCCUPATION DU SOL DU MAPAQ DE 1977 (SOURCE : MAPAQ).....	72
A.2.1	<i>Affectation agricole</i>	<i>72</i>
A.2.2	<i>Affectation urbaine et para-urbaine</i>	<i>75</i>
A.2.3	<i>Affectation récréative.....</i>	<i>77</i>
A.2.4	<i>Autres affectations</i>	<i>77</i>
ANNEXE B DONNÉES DE LA FINANCIÈRE AGRICOLE DU QUÉBEC (FADQ) 79		
B.1	MISE EN CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET DE L'INRS-ETE	79
B.2	PRÉSENTATION DES SOLUTIONS DISPONIBLES À LA FADQ	79
B.2.1	<i>Type de données archivées</i>	<i>79</i>
B.2.2	<i>Contenu des données</i>	<i>80</i>
B.2.3	<i>Consulter les données</i>	<i>80</i>
B.3	CONCLUSION	80
ANNEXE C ÉVOLUTION TEMPORELLE DU POURCENTAGE DE		
	L'OCCUPATION DU SOL POUR LES MILIEUX AGRICOLES ET	
	FORESTIERS POUR CHACUN DES SOUS BASSINS VERSANTS DE	
	LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE.....	83

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1	Localisation du bassin versant de la rivière Chaudière (Guillot et al. 2004).....	4
Figure 2.2	Sous-bassins du bassin versant de la rivière Chaudière	5
Figure 2.3	Comparaison des résolutions spatiales des capteurs MSS, TM et ETM+	11
Figure 3.1	Ligne de pixel qui présente des anomalies sur l'image de 1976	14
Figure 3.2	Comparaison entre l'image géoréférencée et celle du secteur d'étude pour l'année 1990	17
Figure 3.3	4 Août 1976	18
Figure 3.4	14 Août 1981	18
Figure 3.5	6 Août 1987	18
Figure 3.6	29 Juillet 1990	18
Figure 3.7	28 Août 1995	18
Figure 3.8	14 Juillet 1999	18
Figure 3.9	2 Septembre 2003	19
Figure 3.10	Création de masque pour les surfaces nuageuses et ombragées (Image 1999)	20
Figure 3.11	Exemple d'identification de la classe « Eau » (Image 1995)	22
Figure 3.12	Paramétrisation de la segmentation à l'aide du logiciel eCognition (Image 1990).....	25
Figure 3.13	Exemple de segmentation pour l'image de 1990	28
Figure 3.14	Exemple de sites d'entraînement pour la classe Urbain (Image 1990)	32
Figure 3.15	Exemple de sites d'entraînement pour la classe pâturage et foin (Image 1990) ...	33
Figure 3.16	Exemple de sites d'entraînement pour la classe Céréales (Image 1990).....	34
Figure 3.17	Exemple de sites d'entraînement pour la classe Maïs (Image 1990)	35
Figure 3.18	Exemple de sites d'entraînement pour la classe Milieu humide (Image 1990).....	35
Figure 3.19	Exemple de sites d'entraînement pour la classe Sol nu (Image 1990)	36
Figure 3.20	Exemple de sites d'entraînement pour la casse Friche (Image 1990)	37
Figure 3.21	Exemple de sites d'entraînement pour la classe Feuillus (Image 1990).....	37
Figure 3.22	Exemple de sites d'entraînement pour la classe Conifères (Image 1990).....	38

Figure 3.23	Classification de l'occupation du sol pour l'année 1990	39
Figure 4.1	Évolution temporelle de l'occupation du territoire pour le milieu agricole.....	42
Figure 4.2	Évolution temporelle de l'occupation du territoire pour le milieu forestier et arbustif.....	43
Figure 4.3	Résumé de l'évolution temporelle de l'occupation du territoire pour les milieux agricole et forestier	44
Figure 4.4	Évolution temporelle de l'occupation du territoire pour les classes Urbain, Sol nu, Milieu humide et Eau.....	45
Figure 4.5	Redistribution de la classe Pâturage et foin entre 1987 et 1990	49
Figure A.1	Feuillet 21L11 présentant l'utilisation du sol pour l'année 1977	71
Figure A.2	Agrandissement d'un feuillet d'utilisation du sol de 1977	72
Figure C.1	Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Abénaquis.....	83
Figure C.2	Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Araignées.....	84
Figure C.3	Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Arnold.....	84
Figure C.4	Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Basse-Chaudière.....	85
Figure C.5	Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Beurivage.....	85
Figure C.6	Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Du Loup.....	86
Figure C.7	Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Famine	86
Figure C.8	Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Haute-Chaudière.....	87
Figure C.9	Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Samson	87
Figure C.10	Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Saint-Victor	88
Figure C.11	Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Tring	88
Figure C.12	Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Veilleux	89

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Images acquises dans le cadre du projet.....	7
Tableau 2.2	Caractéristiques des capteurs.....	10
Tableau 3.1	Paramètres de seuillage pour créer la classe « Eau »	21
Tableau 3.2	Exemple d'analyse en composantes principales pour l'image de 1990	23
Tableau 3.3	Classes d'occupations utilisées dans GIBSI.....	31
Tableau 3.4	Affichage des images MSS et TM et ETM+	31
Tableau 4.1	Évolution de l'occupation du sol pour chacune des classes thématiques.....	41
Tableau 4.2	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1976 à 1981	46
Tableau 4.3	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1981 à 1987	47
Tableau 4.4	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1987 à 1990	47
Tableau 4.5	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1990 à 1995	48
Tableau 4.6	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1995 à 1999	48
Tableau 4.7	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1999 à 2003	49
Tableau 4.8	Récurrence, confusion et redistribution de l'occupation du sol de 1976 à 1981... 50	
Tableau 4.9	Récurrence, confusion et redistribution de l'occupation du sol de 1981 à 1987... 51	
Tableau 4.10	Récurrence, confusion et redistribution de l'occupation du sol de 1987 à 1990... 51	
Tableau 4.11	Récurrence, confusion et redistribution de l'occupation du sol de 1990 à 1995... 52	
Tableau 4.12	Récurrence, confusion et redistribution de l'occupation du sol de 1995 à 1999... 52	
Tableau 4.13	Récurrence, confusion et redistribution de l'occupation du sol de 1999 à 2003... 53	
Tableau 4.14	Moyenne des récurrences, confusions et redistributions de l'occupation du sol de 1976 à 2003.....	54
Tableau 4.15	Comparaison des superficies et pourcentages des classes thématiques (1987).....	59
Tableau 4.16	Comparaison des superficies et pourcentages des classes thématiques (1995).....	60
Tableau 4.17	Comparaison des superficies du milieu agricole	61

1 INTRODUCTION

Le présent rapport s'appuie sur les des travaux précédents menés par Dolbec et al. 2005 et présente l'avancement de l'étude portant sur l'évolution de l'occupation du sol sur le bassin versant de la rivière Chaudière. Il est à noter que la majeure partie de l'introduction et de la section 2 de même qu'une portion de la section 3 proviennent du rapport de Dolbec et al. 2005.

Au cours du demi-siècle dernier, la sensibilité des terres agricoles aux événements climatiques extrêmes a manifestement augmenté et il est probable que cette tendance s'accroisse dans le contexte de changement climatique à venir. Les travaux présentés dans ce rapport s'inscrivent dans un projet financé par le Fond d'Action pour les Changements Climatiques (FACC) d'une durée de deux ans (2004-2006). Le projet FACC A946 porte sur la vulnérabilité de l'agriculture en réponse aux changements climatiques par l'étude de l'influence passée et future de l'occupation agricole du territoire sur le régime hydrologique et la qualité de l'eau d'un bassin versant, à l'aide d'un système de modélisation intégrée. Le territoire à l'étude est le bassin de la rivière Chaudière alors que le logiciel GIBSI (Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé) (Villeneuve et al., 1998) constitue le système de modélisation privilégié. De nombreux partenaires sont associés à l'INRS-ETE dans le cadre de ce projet : OURANOS, le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), la Financière Agricole Du Québec (FADQ), l'Université Laval, le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP), l'Université de Moncton, l'Institut de Recherche et Développement en Agroenvironnement (IRDA) et l'Université du Manitoba.

Le projet global FACC se divise en deux étapes distinctes, soit une étude rétrospective et une étude prédictive. Le présent rapport fait état des travaux réalisés dans le cadre de la première étape du projet. En effet, l'étape rétrospective est partagée en deux volets. Le premier consiste à retracer l'évolution historique de l'occupation du sol sur le bassin versant de la

rivière Chaudière au cours des 30 dernières années. Le second est de déterminer l'influence des modifications d'occupation du sol sur l'évolution de la sensibilité aux extrêmes climatiques.

L'objectif spécifique poursuivi dans le contexte du premier volet rétrospectif se présente comme la détection des changements de l'occupation du sol sur le bassin versant de la rivière Chaudière entre les années 1970 et 2003 en utilisant la télédétection. Il s'agit donc d'identifier le paysage culturel du bassin de la Chaudière à différentes époques à l'aide de l'interprétation d'images captées par des satellites d'observation de la Terre. De ces analyses résulteront des images satellitaires transformées en cartes thématiques de l'utilisation du sol pour différentes années. Celles-ci pourront ensuite être comparées entre elles et ultimement incorporées dans le modèle de simulation intégrée GIBSI.

Ce rapport de recherche présente les problématiques globales qui entourent le projet, les étapes de traitements des images satellitaires, suivi d'une analyse et d'une conclusion où des recommandations sont émises.

2 CONTEXTE D'ÉTUDE

2.1 Secteur d'étude

Le bassin versant de la rivière Chaudière est situé sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent et draine une superficie considérable de 6 680 km². La rivière Chaudière prend sa source dans le lac Mégantic à l'extrémité sud du bassin et coule en direction nord, pour aller se déverser dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de St-Romuald. La rivière est alimentée par quatre principaux tributaires qui sont, de l'amont vers l'aval, la rivière du Loup, la rivière Famine, le Bras Saint-Victor et la rivière Beaurivage. Ceux-ci drainent environ 46% de la superficie totale du bassin. Le bassin versant de la rivière Chaudière est constitué de 12 sous-bassins de dimensions variables (figure 2.2).

Le bassin chevauche deux régions administratives soit la région de Chaudières-Appalaches et la région de l'Estrie. On dénombre 93 municipalités à l'intérieur des limites du bassin versant et une population dépassant les 170 000 habitants. En ce qui a trait à l'utilisation du sol sur le territoire, des données de 1995 (Villeneuve et al., 1998) révèlent que 63% de la superficie du bassin est couverte par la forêt, 17% par les cultures et les pâturages, 15% par les friches, 3% par des zones urbaines et 2% par l'eau. Le bassin versant de la rivière Chaudière est divisé en trois sous régions soit la Basse, la Moyenne et la Haute Chaudière (figure 2.1). Les pressions agricoles sont concentrées dans les régions de la Basse et de la Moyenne Chaudière, tandis que le couvert forestier domine la Haute Chaudière.

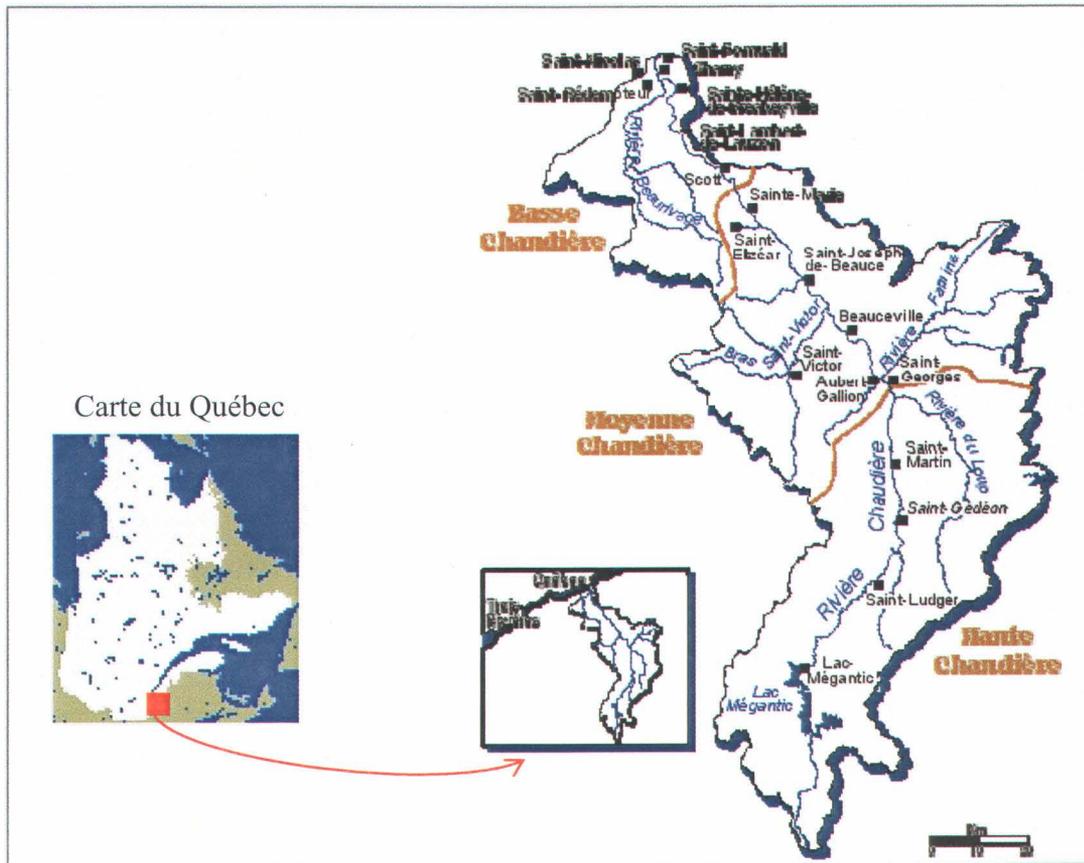


Figure 2.1 Localisation du bassin versant de la rivière Chaudière (Guillot et al. 2004)

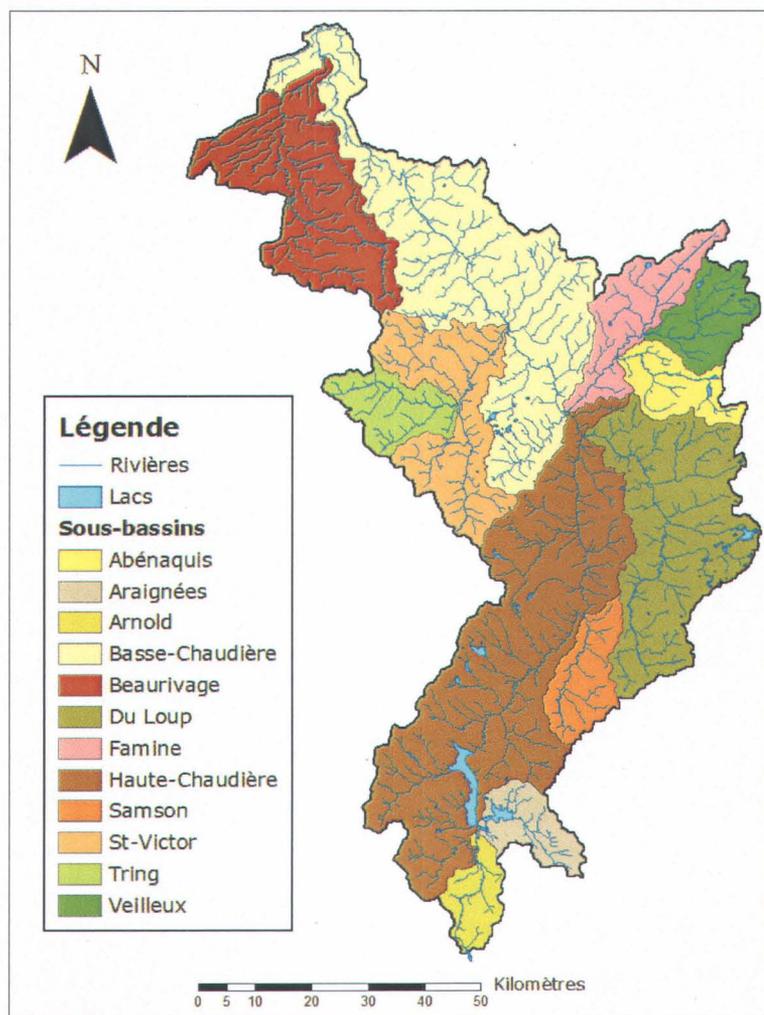


Figure 2.2 Sous-bassins du bassin versant de la rivière Chaudière

2.2 Données utilisées

Afin de retracer l'évolution historique de l'occupation du sol sur le bassin versant de la rivière Chaudière, il est nécessaire de cibler des outils et des données qui permettent l'atteinte de cet objectif. Parmi ces données, on retrouve notamment des images satellitaires, des cartes d'occupation du sol et différents rapports. La section qui suit expose ces différentes sources d'informations.

2.2.1 Images satellitaires

L'analyse des images satellitaires permettra de détecter des changements d'occupation du sol sur le bassin de la Chaudière à partir d'images acquises lors des 35 années.

Dans le but de déterminer l'influence des modifications de cette occupation sur l'évolution de la sensibilité aux extrêmes climatiques, il a été établi que des portraits ponctuels devaient être effectués à tous les cinq ans pour la période de 1970 à 2004 (Guillot et al., 2004). Ainsi, le respect de ce critère doit nécessairement guider notre recherche d'images satellitaires. Un second critère déterminant lors de la sélection d'images est la période d'acquisition. Étant donné que le projet FACC global vise à qualifier et quantifier la vulnérabilité de l'agriculture en réponse aux changements climatiques, il est évident qu'une attention particulière doit être portée à la discrimination des différentes pratiques culturales lors de la détection des changements de l'utilisation du sol. Pour ce faire, il faut choisir des scènes prises lors de périodes où la variabilité spectrale entre les différentes cultures et les autres couverts est grande. Par exemple, les images d'hiver au Québec sont à proscrire, celles-ci ne permettent pas de discriminer les cultures : la période végétative s'étendant de la fin du printemps au début de l'automne. De plus, la présence de neige au sol peut rendre visuellement homogène des occupations qui sont en réalité différentes. La période qui s'avère la plus propice au Québec pour l'identification des cultures dans un contexte d'analyse d'image uni-date (une image par année) est celle s'étendant de la fin juillet au début septembre. En effet, durant cet espace temps, une forte proportion des cultures est à pleine maturité et aucune parmi celles-ci n'a commencé à être récoltée. Enfin, deux autres critères de sélections doivent guider le choix des images. Premièrement, la scène doit couvrir en totalité la superficie du bassin. Deuxième, la couverture nuageuse doit être minimale pour permettre une analyse satisfaisante de l'image. Bien sûr, les images doivent être de bonne qualité radiométrique.

En ce qui concerne le type de capteur privilégié, la décision s'impose d'elle-même. Effectivement, le programme Landsat est un des rares programmes de télédétection qui offre des images depuis 1972 et dont le but premier est d'assurer une continuité dans l'acquisition de données de la surface de la Terre provenant des satellites. Depuis le lancement du satellite Landsat-1 en 1972, cinq autres satellites de cette famille ont conquis l'espace, le dernier étant

Landsat-7 lancé le 15 avril 1999. Une fois les critères fixés et le choix d'un programme complété, il suffit d'exécuter la recherche sur un des portails d'images satellitaires (Earth Explorer¹, EOS Data Gateway², Centre Canadien de télédétection³). Les résultats de cette recherche sont présentés dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1 Images acquises dans le cadre du projet

Date d'acquisition	Satellite et Capteur
4 août 1976	Landsat-2 MSS
14 août 1981	Landsat-2 MSS
6 août 1987	Landsat-5 TM
29 juillet 1990	Landsat-5 TM
28 août 1995	Landsat-5 TM
14 juillet 1999	Landsat-7 ETM+
2 septembre 2003	Landsat-5 TM+

Les critères de sélection étant assez strictes et les images disponibles étant peu nombreuses, il fut impossible d'obtenir des images qui respectent parfaitement tous les critères fixés. D'une part, la scène de 1976, 1987 et celle de 1995 n'offrent pas une couverture complète du bassin. De plus, on note la présence de nuages sur les images de 1987, 1990, 1999 et 2003 (moins de 10% de la superficie). Le secteur d'étude couvert par les scènes acquises sont présentées en à la section suivante (figure 3.3 à 3.9).

2.2.2 Autres données

Parmi les autres données disponibles et qui peuvent être mises à profit, on retrouve des rapports et des cartes d'occupation du sol. D'abord, Gauthier (1996) a produit un rapport

¹ <http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>

² <http://deleenn.gsfc.nasa.gov/~imswww/pub/imswelcome/>

³ <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/>

technique qui explique la démarche employée pour la classification de l'image de 1995. Ce document est assez détaillé et s'avère pertinent à l'établissement d'un protocole de recherche pour le projet actuel. Ensuite, le rapport de Guillot et al. (2004) présente le projet FACC et fait état des avancements de celui-ci. Il intègre aussi une partie sur la manière dont GIBSI gère l'occupation du sol et une autre sur la recherche d'information satellitaire. Le rapport de Villeneuve et al. (1998) présente dans son intégrité la gestion des informations reliées à l'utilisation du sol par le système GIBSI. Enfin, le rapport de Grenier (2005) présente la classification de l'image de 2003 selon la méthode décrite dans le présent rapport.

Pour ce qui est des cartes d'occupation du sol, elles ont été obtenues auprès du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec⁴ (MAPAQ). Ces cartes couvrent uniquement le bassin pour l'année 1977. Ces cartes pourront servir de support pour la classification de la scène de 1976. On retrouve à l'annexe A, les différentes caractéristiques de ces cartes d'occupation du sol, ainsi que les définitions exhaustives des classes qu'elles contiennent.

Enfin, des démarches ont été entreprises auprès de la Financière Agricole du Québec pour obtenir des données pouvant servir aux classifications des images. L'annexe B expose la nature de ces informations et les contraintes qui retardent leurs acquisitions.

⁴ Contact au MAPAQ : Charles Savoie. Téléphone : (418) 380-2150 poste 3174. Courriel : charles.savoie@mapaq.gouv.qc.ca

2.3 Problématique reliée à la télédétection et au contexte du projet

Différentes problématiques surgissent de par la nature du projet et rendent celui-ci singulier par rapport à de nombreux travaux que l'on retrouve dans la littérature et qui sont basés sur l'étude des changements sur le territoire à partir de l'analyse d'images satellitaires. Ces particularités méritent d'être présentées pour juger du défi que revêt ce projet et des limitations qu'elles peuvent engendrer.

Tout d'abord, l'étude n'a pas exclusivement pour but de détecter les changements qui ont eu lieu sur le bassin. Il s'agit aussi d'obtenir des cartes de l'occupation du sol relativement fiables pour les années pour lesquelles on possède des images (1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003). Ces cartes seront éventuellement incorporées dans le modèle de simulation intégrée GIBSI.

Ensuite, on cherche à définir la nature du changement de l'utilisation (ex : champs de maïs devenus zones urbaines). Contrairement à d'autres études (Zhao et al., 2004; Yuan et Elvidge, 1998; Rogan et al., 2002; Miller et al., 2002; Hoster et al., 2003), le projet n'a pas simplement pour objectifs d'identifier le changement ou l'absence de changement ou encore l'augmentation ou la diminution de fréquence d'une classe d'occupation du sol particulière. Il faut en effet classifier les images en employant les mêmes classes d'utilisation du sol pour être en mesure de les comparer, d'identifier de quelle façon les changements d'occupation se sont produits et, par le fait même, quelles classes ont augmenté en superficie et au détriment de quelles autres.

Un autre facteur à considérer est le fait que les images proviennent de différents capteurs. Même si ces capteurs font partie du même programme (Landsat), certains problèmes au niveau des comparaisons découlent des différences de caractéristiques entre les capteurs (tableau 2.2). Ainsi, les scènes ne possèdent pas toutes les mêmes résolutions spatiales et spectrales. Cette situation peut affecter le projet de diverses manières.

Tableau 2.2 Caractéristiques des capteurs

Capteur	Bandes	Résolutions
Landsat-2 MSS	Bande 1 (0.50µm - 0.60µm)	80m
	Bande 2 (0.60µm - 0.70µm)	
	Bande 3 (0.70µm - 0.80µm)	
	Bande 4 (0.80µm - 1.10µm)	
Landsat-5 TM	Bande 1 (0.45µm - 0.52µm)	30m
	Bande 2 (0.52µm - 0.60µm)	
	Bande 3 (0.63µm - 0.69µm)	
	Bande 4 (0.76µm - 0.90µm)	
	Bande 5 (1.55µm - 1.75µm)	
	Bande 7 (2.08µm - 2.35µm)	
	Bande 6 Th (10.40µm - 12.50µm)	120m
Landsat-7 ETM+	Bande 1 (0.45µm - 0.52µm)	30m
	Bande 2 (0.52µm - 0.60µm)	
	Bande 3 (0.63µm - 0.69µm)	
	Bande 4 (0.76µm - 0.90µm)	
	Bande 5 (1.55µm - 1.75µm)	
	Bande 7 (2.08µm - 2.35µm)	
	Bande 6 Th (10.40µm - 12.50µm)	120m
	Bande 8 Pan (0.59µm - 0.80µm)	13m X 15m

En premier lieu, le résultat des classifications est lié à la dimension des pixels. En effet, des objets peuvent être identifiés à une résolution plus fine ou se retrouver complètement fondus avec les objets qui les entourent à une résolution plus grossière. La figure 2.3 illustre bien ce phénomène. Sur celle-ci, on observe l'ampleur de la différence entre un pixel de 80 mètres et un pixel de 30 mètres. Il est donc évident que la classification de l'image qui possède une résolution spatiale de 30 m se fera à un niveau de détail plus élevé que celle qui a une résolution de 80 m. Les pixels de la première regrouperont ainsi moins d'objets hétérogènes et les probabilités qu'ils représentent un seul type d'occupation du sol sont plus fortes.

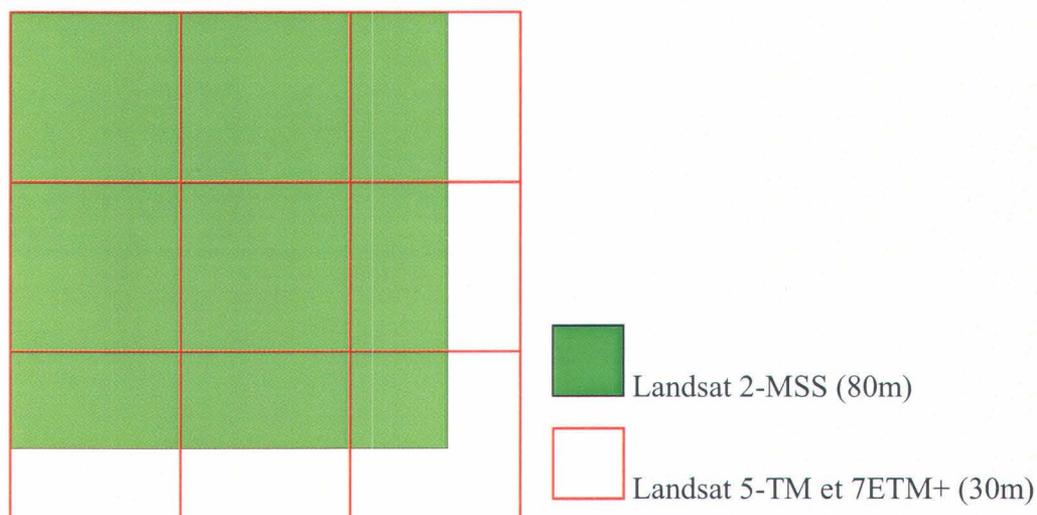


Figure 2.3 Comparaison des résolutions spatiales des capteurs MSS, TM et ETM+

En second lieu, la différence de résolutions spatiales entre les capteurs rend plus complexe l'étude des changements d'utilisations du sol car la comparaison directe des images devient difficile. En effet, il faut rééchantillonner les images pour obtenir des résolutions compatibles si l'on veut appliquer des analyses spatiales de comparaison sur les images. Cette opération de rééchantillonnage peut entraîner l'attribution de valeurs erronées aux pixels résultants qui induiront possiblement des erreurs d'interprétation dans l'évolution de l'occupation du sol.

Enfin, le nombre de bandes spectrales ainsi que la sensibilité des capteurs différents d'un satellite à l'autre. Ce facteur est moins important car les images seront classifiées de manière indépendante et la comparaison des scènes se réalisera a posteriori. Néanmoins, il est important de saisir que la technologie qui caractérise le capteur Landsat-2, développé au début des années 1970, est différente de celle employée dans le satellite Landsat-7. Notamment, l'absence de bande dans le moyen infrarouge sur le capteur MSS (Bande 5 sur le capteur TM ou ETM+) contraindra sensiblement l'identification et la séparabilité de classe présentant des espèces végétales qui sont caractérisées par une forte réponse dans de telles longueurs d'ondes. Finalement, l'amélioration de la résolution spatiale conjointe à l'augmentation du registre spectral ont contribué, au cours des trente dernières années, au

rehaussement de la qualité des images satellitaires. Cette évolution permet une plus grande flexibilité lors des classifications, ce qui augmente leur fiabilité.

Le peu d'informations terrain disponible complexifie également la réalisation du projet. Effectivement, les classifications sont réalisées de manière plus contrôlée (classification de type dirigée) lorsque l'on possède des connaissances a priori sur le territoire étudié. Dans le cas contraire, la classification se base uniquement sur les propriétés spectrales et l'analyste doit interpréter et associer des thématiques aux classes créées. Sans cette information terrain, il devient aussi plus difficile d'évaluer la précision des classifications. Dans ce cas-ci, les seules données que l'on possède sur l'utilisation du territoire sont celles provenant des cartes d'occupation du sol du MAPAQ pour l'année 1977. Il serait intéressant d'effectuer la comparaison entre les cartes d'occupation du sol du MAPAQ et les résultats de classifications, toutefois la structure de ces cartes complexifie grandement leur utilisation. De plus, les classes thématiques des cartes du MAPAQ ne correspondent pas entièrement à celles employées dans le système de modélisation intégrée GIBSI. Ainsi, pour certaines occupations, les classes utilisées dans GIBSI présentent un niveau de détail plus élaboré que celles retrouvées sur les cartes du MAPAQ. Le cas contraire est aussi observé.

3 DÉMARCHE DE RECHERCHE

La démarche de recherche comporte trois grandes étapes : les prétraitements, les classifications et les comparaisons. Chacune de ces étapes est abordée dans cette section.

3.1 Prétraitements

Les opérations de prétraitements sont essentielles pour exploiter efficacement les données satellitaires. Elles permettent de fonctionner dans un environnement géoréférencé et de pouvoir utiliser des images dépourvues de défauts visuels. Sous le terme de prétraitements, deux catégories d'opération sont regroupées, les transformations radiométriques et les transformations géométriques.

3.1.1 Transformations radiométriques

L'application de transformations radiométriques sur les images peut viser deux objectifs distincts : le rehaussement de la qualité de l'image (la restauration) et la transformation du contenu de la scène en valeurs physiques quantifiables (la transformation radiométrique). Dans le cadre du projet, ce type de transformation a été employé dans l'unique but de rehausser la qualité de certaines images. La conversion des valeurs de compte numérique des pixels en valeurs physiques ne paraît pas nécessaire car les classifications des images sont indépendantes et les comparaisons sont réalisées avec des images classifiées.

La restauration des scènes est effectuée pour attribuer une valeur estimée aux pixels pour lesquels l'information radiométrique est erronée ou manquante (Caloz et Collet, 2001). Ainsi, l'image de 1976 et l'image de 1990 contiennent des séries de pixels dont l'information est altérée, ce qui détériore l'aspect visuel de ces images (figure 3.1). Ces anomalies peuvent provenir de différentes sources : trouble mécanique du capteur lors de l'acquisition des

données, erreur de transmission du signal du satellite au sol, etc. Dans ce cas-ci, elles se présentent sous la forme d'une série de pixel ayant des valeurs très basses. L'image de 1976 présente trois lignes affectées dans la bande 2 tandis que l'image de 1990 en renferme trois dans la bande 2 et trois autres dans la bande 3.

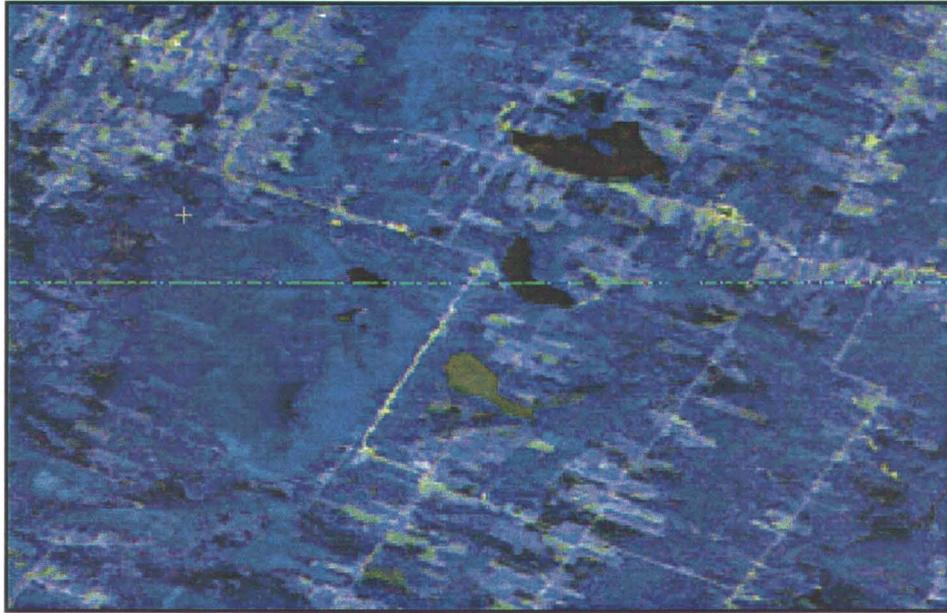


Figure 3.1 Ligne de pixel qui présente des anomalies sur l'image de 1976

Le module XPace du logiciel PCI Geomatica a servi à corriger ces anomalies. Ainsi, la fonction « LRP » de ce module permet d'utiliser les informations radiométriques des pixels voisins de ceux qui contiennent des données erronées. Il est alors possible de déterminer si l'on veut assigner les valeurs de compte numérique du pixel de la ligne supérieure ou la ligne inférieure ou encore une moyenne des deux au pixel à corriger. Dans la mesure du possible, la moyenne du pixel supérieur et celui inférieur a été employée pour calculer la valeur du pixel erroné. Cependant, les données manquantes de l'image de 1990 se présentaient sur trois lignes consécutives, ce qui rendait impraticable l'application de la méthode de substitution moyenne.

3.1.2 Transformations géométriques

Les transformations géométriques consistent à modifier la géométrie implicite de l'image de façon à ce qu'elle soit le plus près possible d'une planimétrie cartographique (Caloz et Collet, 2001). Ces transformations rendent possible l'assignation de coordonnées aux pixels de l'image afin de situer dans un espace de référence spatial la scène acquise par le capteur.

Une méthode globale de transformation géométrique a été employée, la transformation polynomiale. La méthode est dite globale car elle ne considère pas les données sur le relief du territoire. La transformation polynomiale s'appuie sur les principes des transformations de systèmes de référence spatiale. Ainsi, le système S' de l'image initiale, exprimé en unité de pixels et de lignes, est transformé en un système S géoréférencé dont les axes de coordonnées correspondent à ceux de la cartographie locale utilisée. Dans ce cas-ci, le système de coordonnées géographiques de référence employé est la projection Universal Transverse Mercator (UTM), zone 19 et le datum de référence est le NAD83.

Le module Orthoengine du logiciel PCI Geomatica V.9.0 a servi à réaliser les transformations géométriques de toutes les scènes acquises (1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003). Pour résoudre le jeu d'équations d'une transformation polynomiale, il est essentiel de connaître un minimum de coordonnées des pixels dans l'image. Dans le cas d'une transformation de degré 2, celle qui offre des résultats optimaux parmi les transformations par polynômes, ce minimum est de 6 pixels connus. Il faut donc 6 couples de coordonnées (x et y) pour compléter la transformation. Cette connaissance spatiale provient de l'image de 1995 qui a été géoréférencée lors des travaux de Gauthier (1996). Ainsi, la procédure consiste à sélectionner des points dits d'appui dans l'image de 1995 et leur correspondance dans l'image à géoréférencer. Il est important de choisir un couple de points facilement identifiable sur les deux scènes. Il est aussi recommandé de récolter un plus grand nombre de points d'appui que le minimum nécessaire. Donc, une quinzaine de points, en moyenne, sont sélectionnés pour faire la géoréférence de chacune des images. Les points d'appui sont collectés sur l'ensemble du bassin et le plus uniformément possible pour

limiter les distorsions qui pourraient survenir lors de la transformation. Des erreurs résiduelles (Root Mean Square) sont issues de la transformation polynomiale. Celles-ci nous indiquent avec quelle précision la conversion de système s'effectue. Idéalement, elles doivent être inférieures à 1 pixel avant de lancer la transformation. Cette condition est respectée pour les sept images géoréférencées. À noter que la transformation de degré 2 a été employée dans tous les cas.

Par la suite, il faut opter pour une méthode de rééchantillonnage. En effet, suite à la conversion de système, les pixels de la nouvelle image ne se retrouvent pas nécessairement aux mêmes endroits que sur l'image originale. Il faut alors estimer la valeur des nouveaux pixels par l'interpolation des valeurs affectées aux pixels de son voisinage dans l'image originale. Cette opération se nomme le rééchantillonnage. Il existe différentes techniques de rééchantillonnage, mais la méthode d'interpolation cubique est celle privilégiée dans ce cas-ci. Cette technique donne un effet moins saccadé et plus naturel que la méthode du plus proche voisin tout en présentant une image plus claire et plus nette que la méthode d'interpolation bilinéaire (PCI Geomatics, 2003).

3.1.3 Autres prétraitements

En plus des transformations radiométriques et géométriques, d'autres transformations distinctes de ces dernières ont été appliquées aux images dans le but de faciliter leur analyse. En premier lieu, en utilisant le logiciel Focus de PCI Geomatica, les images géoréférencées et transformées radiométriquement ont été réduites en fonction des dimensions du bassin. La réduction s'est effectuée à l'aide du fichier vectoriel des limites du bassin qui est en format *shape* (format vectoriel propre à la compagnie ESRI). En second lieu, ce fichier vectoriel est de nouveau mis à contribution pour garder uniquement les informations situées à l'intérieur du bassin. Ainsi, le fichier vectoriel agit comme masque et tous les pixels à l'extérieur des limites du bassin se voient assigner une valeur nulle. Le résultat de ces opérations est visible à la figure 3.2.

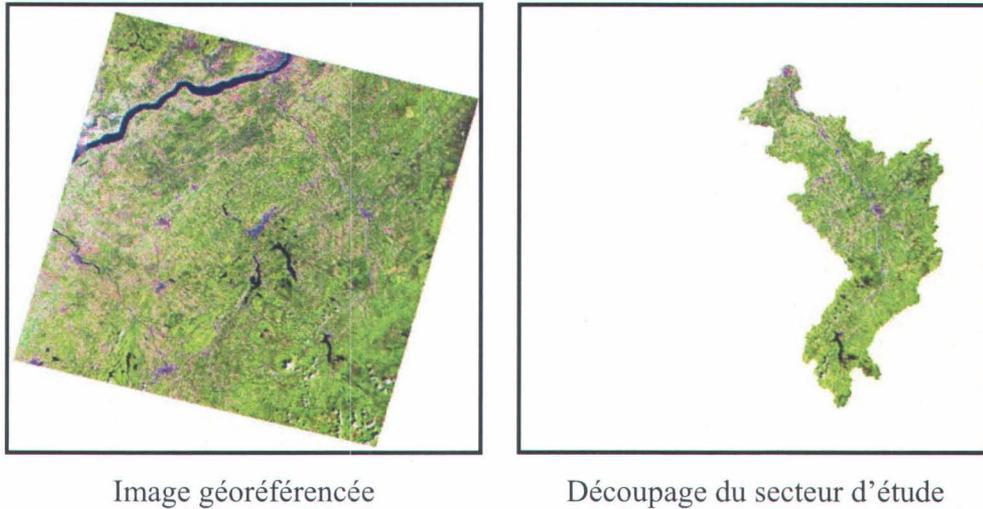


Figure 3.2 Comparaison entre l'image géoréférencée et celle du secteur d'étude pour l'année 1990

Finalement, les images acquises par le capteur MSS (1976 et 1981) ont été rééchantillonnées dans le but de leur attribuer une résolution spatiale facilitant leur comparaison avec les images subséquentes. En ce sens, la résolution des pixels passe de 80m à 60m. Par conséquent, les pixels nouvellement créés couvrent 4 pixels de 30m de résolution acquis par les capteurs TM et ETM+. Toutefois, une telle transformation occasionne un certain déplacement de l'information et ne permet pas l'analyse et la comparaison pixel à pixel entre les images rééchantillonnées et celles acquises par les capteurs à plus grande résolution.

Les figures 3.3 à 3.9 présentent les images résultantes des prétraitements, ces images ce limites au secteur d'étude seulement et sont positionnées dans une fenêtre géoréférencée unique permettant l'analyse temporelle et spatiale de l'évolution de l'occupation du sol sur le secteur d'étude.

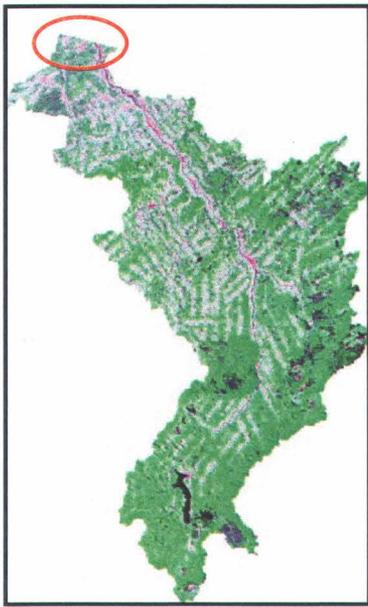


Figure 3.3 4 Août 1976

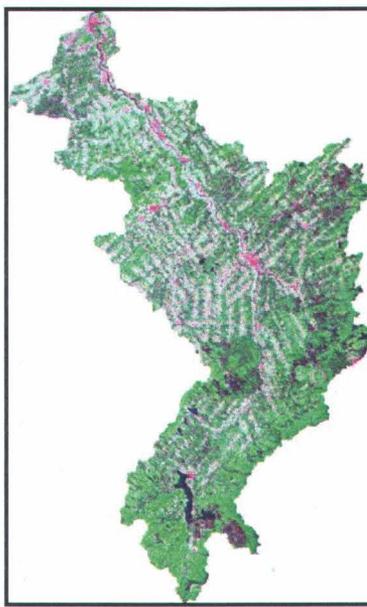


Figure 3.4 14 Août 1981

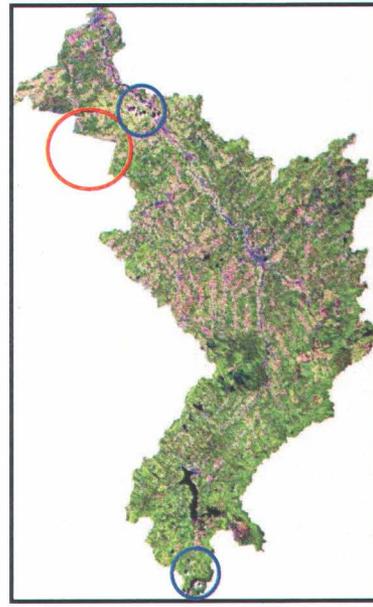


Figure 3.5 6 Août 1987

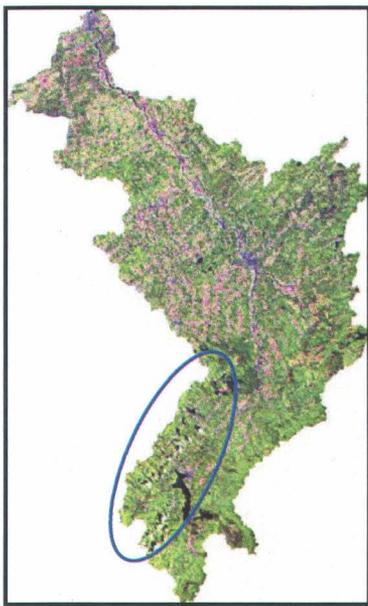


Figure 3.6 29 Juillet 1990

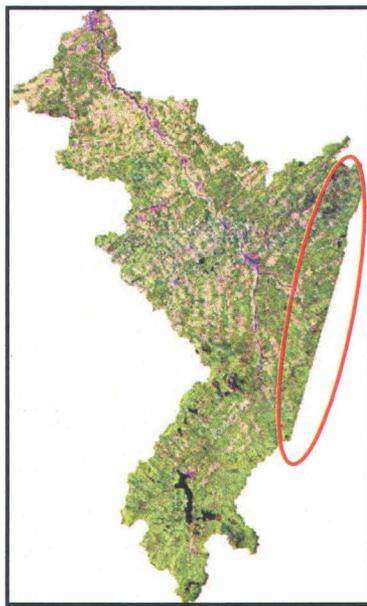


Figure 3.7 28 Août 1995

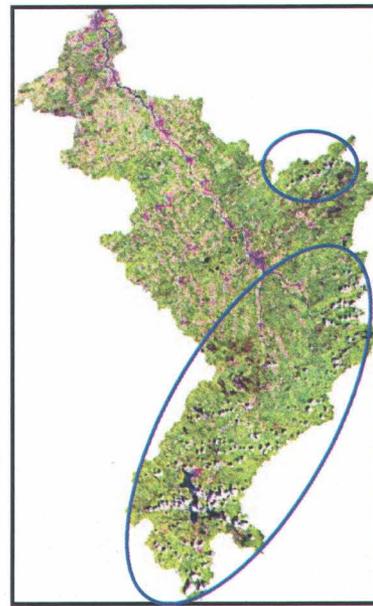


Figure 3.8 14 Juillet 1999

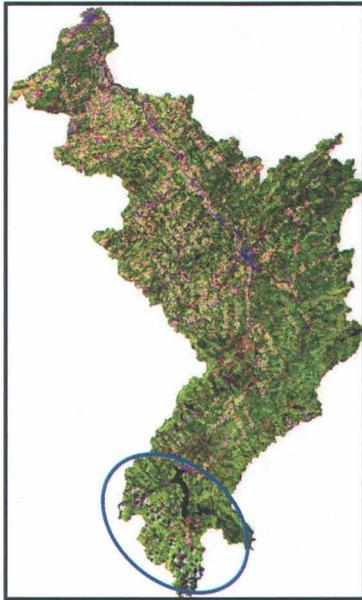


Figure 3.9 2 Septembre 2003

- Secteur d'étude non couvert par l'image
- Présence de couvertures nuageuses

Tel que mentionné précédemment les images de 1976, 1987 et 1995 ne couvrent pas la totalité du bassin. De plus, il est possible de noter la présence de couverture nuageuse sur les images de 1987, 1990, 1999 et 2003.

3.2 Classification

Le processus de classification a été appliqué à la totalité des images. Celui-ci comporte différentes étapes qui sont décrites dans la présente section.

3.2.1 Classes pré-classifiées

Comme l'avait fait Gauthier (1996), il a été jugé plus simple d'identifier les classes « Nuage » et « Eau » de façon indépendante aux autres classes thématiques.

Dans un premier temps il est très important d'isoler les pixels où l'on note la présence de nuages ou celle de leurs ombres, puisque de telles classes ne peuvent être prises en compte dans l'étude de l'occupation du sol. Ces zones nuageuses sont aisément repérables puisque les nuages de basse et moyenne altitudes présentent une réponse spectrale assez forte dans les bandes du visible, proche et moyen infrarouge. De plus les nuages sont clairement identifiables en raison de leurs ombres projetées au sol. Bien que la pratique fait souvent appel à des méthodes classiques de seuillage pour la classification des nuages, la présente étude suggère plutôt la création manuelle de masque à la fois sur les masses nuageuse et leurs ombres projetées au sol. Même si cette méthode demeure fastidieuse et quelque peu coûteuse en temps, elle évite l'utilisation de seuil souvent trop permissif occasionnant l'attribution de la classe nuage à des pixels qui ne le sont pas. Ainsi des masques couvrant la totalité des surfaces nuageuses et ombragées ont été créés pour les images présentant de telles surfaces (ex : Figure 3.10).

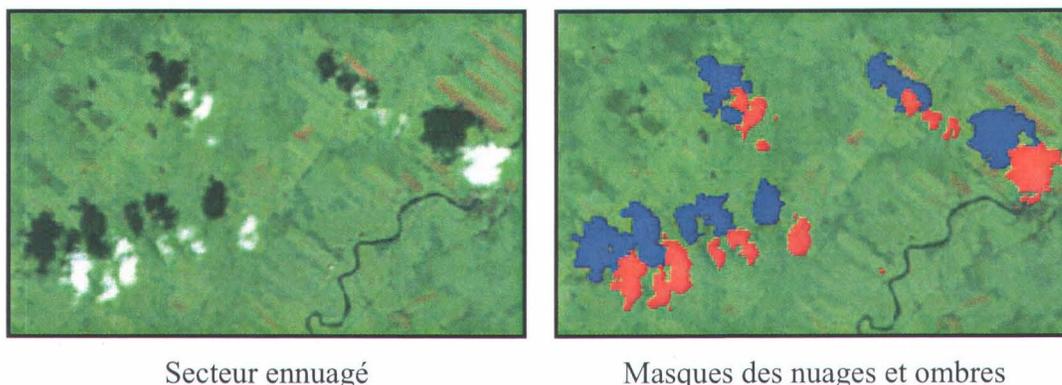


Figure 3.10 Création de masque pour les surfaces nuageuses et ombragées (Image 1999)

La classe Eau présente également des caractéristiques qui la distinguent proprement. En ce sens, l'eau a une réponse spectrale faible dans le proche et moyen infrarouge. De plus, l'eau ne présente aucune activité chlorophyllienne contrairement aux surfaces où l'on dénote la présence de végétation. Cette particularité peut être mise en évidence par l'indice de végétation normalisé (NDVI) calculé selon l'équation (3.1). Pour chacune des images une couche d'information supplémentaire a été créée pour le calcul de cet indice.

$$NDVI = \frac{B_{PIR} - B_R}{B_{PIR} + B_R} \quad (3.1)$$

où :

B_{PIR} = Bande dans le proche infra rouge (MSS Bande 3, TM Bande 4, ETM+ Bande 4)

B_R = Bande dans le rouge (MSS Bande 2, TM Bande 3, ETM+ Bande 3)

Néanmoins, différents facteurs affectent la signature spectrale de l'eau. Ceux-ci sont notamment la profondeur des plans d'eau, la quantité de matières en suspension, la présence de végétation en bordure des cours d'eau cachant en partie la surface, la présence d'algues, etc.

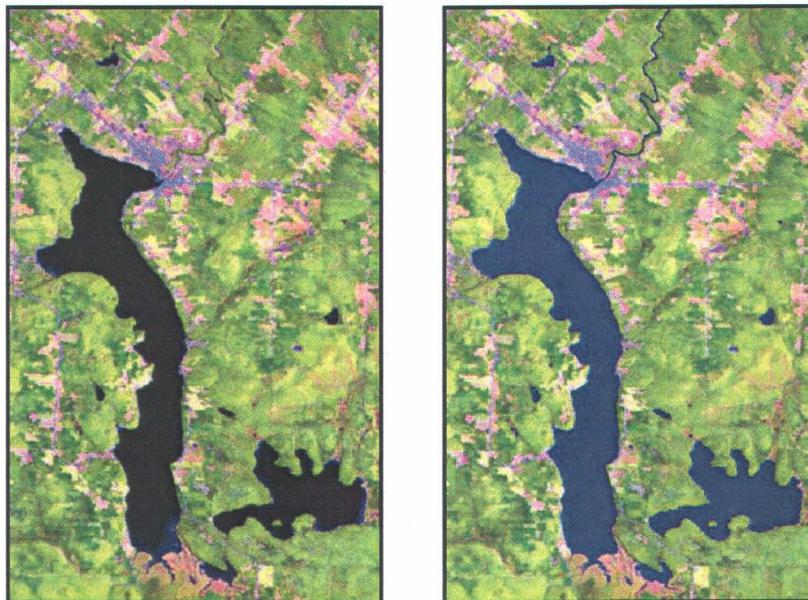
La majorité des cours d'eau et des lacs sur le secteur d'étude peuvent tout de même être isolés à l'aide d'un seuillage sur l'image. Cette opération fait appel aux travaux antérieurs de Gauthier auxquels s'ajoute l'utilisation de l'indice de végétation normalisé. Le tableau 3.1 présente les paramètres de seuillage pour la détermination de la classe « Eau ». Les diverses conditions sont liées l'opérateur logique « et ».

Tableau 3.1 Paramètres de seuillage pour créer la classe « Eau »

Capteur	Pixels de la bande	Condition	Opérateur logique	Valeur
MSS	Bande 2	Inférieur	ET	40
	Bande 3			45
	NDVI			0.25
TM	Bande 3	Inférieur	ET	40
	Bande 4			45
	Bande 5			45
	NDVI			0.25

Un tel seuillage a été appliqué aux différentes images sans prendre en compte les zones nuageuses et ombragées. Par la suite le masque créé pour la classe « Eau » a été ajusté manuellement afin d'inclure les zones omises par le seuillage. Il est préférable de faire appel à un seuil restrictif permettant la création d'un masque plus fin suivi d'une vérification et un

ajustement par l'analyste dans le but d'éviter l'attribution erronée de la classe « Eau ». La figure 3.11 présente un exemple de l'identification de la classe « Eau ».



Secteur de lacs et cours d'eau

Masque des lacs et cours d'eau

Figure 3.11 Exemple d'identification de la classe « Eau » (Image 1995)

Enfin, un autre seuillage a été appliqué pour créer une classe contenant tous les pixels situés à l'extérieur du bassin. La valeur de ces pixels est ramenée à zéro dans toutes les bandes. Ainsi, un masque peut être créé en regroupant les pixels à l'extérieur du bassin avec ceux de la classe « Eau » et ceux de la classe « Nuages et Ombrages ». Ce masque permet de créer une couche d'information où les pixels sous-jacents prennent une valeur nulle contrairement à une valeur de un attribuée aux pixels situés à l'extérieur de cette zone sur lesquels sera effectué la classification.

3.2.2 Analyse en composantes principales

Dans le cadre de cette étude, la classification d'occupation du sol fait appel au logiciel eCognition qui suggère une approche plus complète pouvant inclure non seulement les caractéristiques spectrales des pixels mais également des notions de formes, de textures et de

voisinages. De plus, ce logiciel n'appose pas un traitement sur les pixels mais plutôt sur des objets regroupant, selon des critères prédéfinis, des éléments voisins. Ce traitement repose donc sur une segmentation de l'image en régions ou entités homogènes.

Afin de faciliter la segmentation de l'image à l'aide du logiciel eCognition, une analyse en composantes principales a été appliquée à chacune des images pour permettre la synthèse des différentes couches informatives (Bandes de l'image). L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique mathématique permettant de réduire un système complexe de corrélations en un plus petit nombre de dimensions. Elle s'exprime par une transformation linéaire appliquant une rotation des différentes dimensions de l'image vers un espace pluridimensionnel délimité par des axes correspondant au maximum de variance. Par conséquent les différentes couches d'informations de l'image (Bandes disponible) peuvent être regroupées et représentées par un nombre déterminé de composantes principales. Dans le cas présent, il a été observé que les trois premières composantes principales expliquaient l'essentiel de la variance des couches informatives disponibles pour chaque image. La fonction PCA du logiciel PCI de Geomatica permet le calcul des composantes principales communément appelées « *eigenchannel* ». Cette fonction permet également l'obtention de rapports textuels où s'inscrivent les différents pourcentages de la variance attribuables à chacune des composantes principales. Le tableau 3.2 présente un court résumé du rapport produit, par cette fonction, pour l'image de 1990.

Tableau 3.2 Exemple d'analyse en composantes principales pour l'image de 1990

Capteur	Bande	Composante principale	% Variance
TM	1	1	68.65
	2	2	26.54
	3	3	3.69
	4	4	0.52
	5	5	0.26
	7	6	0.15

Tel que mentionné, les trois premières composantes principales expriment l'essentiel de la variance des bandes de l'image. Ce sont donc les pourcentages relatifs à celles-ci qui seront utilisés dans la segmentation de l'image.

3.2.3 Segmentation

Tel qu'énoncé, l'étude actuelle ne peut se limiter à l'analyse de pixels isolés. En effet, elle doit plutôt s'accorder étroitement avec la notion de contexte spatial défini par les relations topologiques qui existent entre les éléments voisins. Récemment, de nouvelles techniques ont été développées pour la prise en compte du contexte spatial. Celles-ci permettent de déduire des propriétés relevant de la dimension spatiale telles que les relations de voisinage et la géométrie des objets accroissant ainsi les capacités d'extraction du contenu sémantique des images (Caloz et al., 2001). Ces techniques reposent sur la segmentation des images en régions ou entités homogènes selon des critères d'homogénéité fondés sur des attributs telles que la forme, la texture, la radiométrie, etc. (Mansor et al., 2002). Ainsi s'efface la notion de pixel pour laisser place à celle d'objets ou entités. La segmentation est le processus heuristique qui permet de générer des objets images par le regroupement de pixels contigus selon des critères d'homogénéité dépendants des caractéristiques radiométriques et spatiales des pixels.

Tel que décrit, dans une approche orientée objet, la classification requiert une étape préliminaire qui est celle de la segmentation de l'image. Le logiciel eCognition, permet la segmentation d'image en fonction de divers critères. Les règles de décision utilisées pour une telle opération incluent non seulement les paramètres spectraux mais aussi les paramètres spatiaux. La primitive sémantique n'est donc plus présentée par un unique pixel mais par un ensemble de pixels adjacents et homogènes qui définissent un objet ou une entité. Il permet également l'utilisation d'une couche directive indiquant les secteurs de l'image non sujets à la segmentation. Ceux-ci sont clairement définis par la couche d'information créée à partir du masque d'exclusion intégrant l'extérieur du bassin de la Chaudière et les classes « Nuages », « Ombrages » et « Eau ».

Le principe de segmentation utilisé par le logiciel eCognition consiste, en fait, en une agrégation progressive des pixels selon les critères d'adjacence et de similarité ainsi que des paramètres de couleur et/ou de forme, déterminés par l'utilisateur. La procédure de croissance de la région mise en œuvre par le logiciel utilise une approche ascendante qui part d'un pixel objet ou germe pour aboutir à la naissance de région. De proche en proche, les

pixels sont agrégés en plusieurs étapes séquentielles (successives) selon des critères d'homogénéité définis par l'analyste. Ces critères permettent de déterminer quels sont les attributs d'hétérogénéité relatifs aux objets images qu'il faudrait minimiser lors de la segmentation. L'algorithme de segmentation implanté dans le logiciel eCognition (Definiens, 2001) permet la combinaison de critères d'hétérogénéité fondés sur la radiométrie et la forme des objets qu'il est possible d'ajuster au moyen d'indices. Le résultat issu d'une telle procédure est une segmentation de l'image en entités homogènes adaptées à la classification envisagée. L'analyse de l'image suivant une approche orientée objet a pour but fondamental la génération d'objets d'intérêts servant de primitives graphiques et comportant une multitude d'attributs exploitable pour une classification ultérieure de l'image. Le processus de segmentation peut être paramétré par la définition des bandes spectrales à utiliser, par le poids attribués à chacune des bandes utilisées et par le choix des critères d'homogénéités et du paramètre d'échelle. La figure 3.12 présente la fenêtre de paramétrisation de la segmentation par le logiciel eCognition prenant pour exemple l'image de 1990.

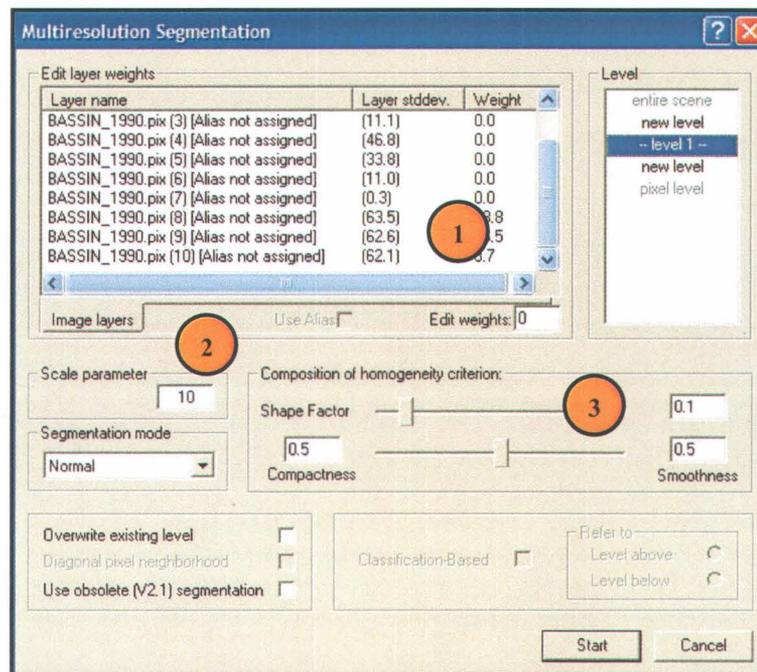


Figure 3.12 Paramétrisation de la segmentation à l'aide du logiciel eCognition (Image 1990)

Les différents paramètres régissant la segmentation de l'image de 1990 découlent d'un processus itératifs visant à adapter la segmentation à la classification envisagée. Ceux-ci sont décrits selon les points suivants :

1. Poids des bandes utilisées

Pour chacune des images, les bandes utilisées pour effectuer la segmentation sont les trois premières composantes principales et les poids qui leurs sont attribués correspondent au pourcentage de la variance expliqué par la composante principale (voir aussi tableau 3.2). L'importance de la bande utilisée est donc directement proportionnelle au poids attribué à celle-ci. Dans le cadre de ce projet, aucun poids n'est attribué aux bandes de l'image puisque les informations qu'elles décrivent sont synthétisées par les composantes principales. Cette manœuvre vise l'uniformisation de la démarche de segmentation sur la totalité des images évitant ainsi la prise en compte de singularité spectrale liée à la période d'acquisition de l'image. La segmentation est alors moins influencée par la détérioration ou l'amplification de la réponse spectrale de certaines bandes.

2. Facteur d'échelle

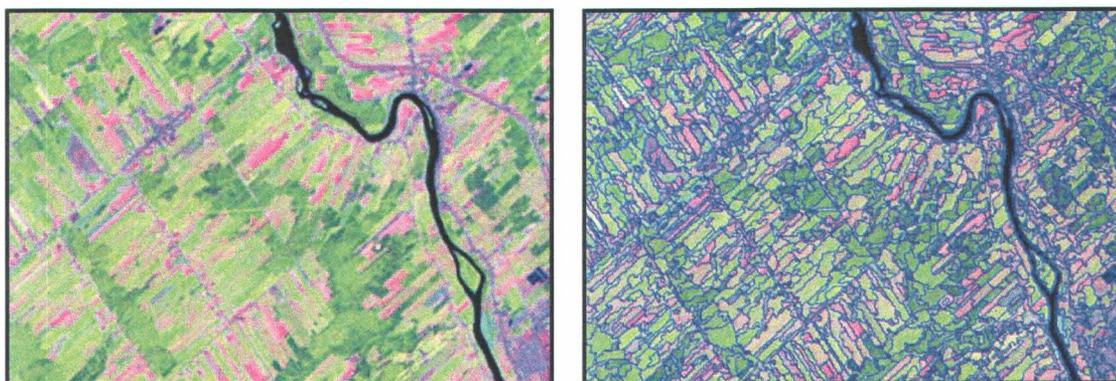
Le facteur d'échelle est un terme abstrait qui détermine l'hétérogénéité maximale pouvant être attribuée aux objets images résultants. En présence de données hétérogènes, les objets déterminés en fonction d'un paramètre d'échelle sont de plus petite taille qu'en présence de données homogènes. La valeur de dix attribuée au facteur d'échelle représente un juste compromis entre les données hétérogènes de l'image comme les secteurs urbanisés et les données plus homogènes comme les parcelles agricoles ou encore les secteurs boisés de grandes superficies. La taille des objets résultants est jugée représentative de l'homogénéité des surfaces présentant une réponse spectrale similaire.

3. Critères d'homogénéités

Dans le contexte présent, le terme homogénéité est synonyme d'hétérogénéité minimisée. Le logiciel eCognition fait appel à trois critères d'hétérogénéité qui sont la couleur, la forme (*Shape facteur*), la densité (*Compactness*) et le degré de lissage

(*Smoothness*). La couleur liée aux bandes utilisées est le facteur déterminant dans la création d'objets significatifs. Néanmoins, un certain niveau d'homogénéité, selon la forme, améliore parfois la qualité de l'extraction des objets. Ce qui peut être attribuable au fait qu'un certain degré de densité est associé à la conception d'objets spatiaux. Le facteur de forme prévient la segmentation fractale d'objet en présence de données fortement texturées. Dans le champ de « Couleur » il est possible, tel que décrit, d'attribuer un pourcentage relatif à l'importance de la bande dans le critère global d'homogénéité. Dans le même sens, il est possible d'attribuer un poids au critère de forme défini par la densité et le degré de lissage. Dans le cadre de ce projet, il est préférable de favoriser le facteur de couleur lié directement à l'information spectrale des bandes qui souligne la séparabilité des différentes classes. Le critère de forme est donc moins important (valeur de 0.1) sans toutefois être nul puisque qu'il assure la pérennité d'objets sur des zones moins homogènes pouvant être associés à des classes caractérisées par une plus forte hétérogénéité.

Le critère de forme est à son tour composé de deux paramètres, le degré de lissage et la densité. Le degré de lissage est employé pour optimiser les objets de l'image en fonction de leur frontière. Il prévient l'enchevêtrement des objets et préserve la distinction de frontières clairement distinguable surtout en présence de données texturées. De plus, il prévient la formation d'objets de trop faible densité. Le critère de densité, quant à lui, est utilisé pour optimiser la détermination d'objets en fonction de leur densité. Ce critère doit être favorisé en présence d'objets de forte densité se différenciant d'objets de plus faible densité par un contraste relativement faible. Dans le cadre de ce projet, il est préférable d'opter pour l'attribution d'un poids égal au paramètre de densité (0.50) et de degré de lissage (0.50). Par conséquent, la forme et les frontières des objets denses ou légèrement texturés sont préservées pour la classification anticipée. La figure 3.13 présente le résultat de la segmentation pour un secteur de l'image de 1990.



Secteur de l'image de 1990

Segmentation de l'image de 1990

Figure 3.13 Exemple de segmentation pour l'image de 1990

La figure 3.13 démontre clairement la création d'entités homogènes s'accordant avec les différentes occupations du sol observées sur le secteur d'étude. Cette segmentation peut donc être jugée satisfaisante et peut être appliquée à l'ensemble des images séparément.

3.2.4 Classification orientée objet

Malgré le progrès dans les méthodes de classification utilisant l'approche pixel celles-ci demeurent limitées. Un des problèmes liés à cette approche résulte du fait que l'agencement des pixels voisins n'est pas pris en compte puisque les classes sont construites sur la base de l'homogénéité de l'information spectrale uniquement (Schiewe et al. 2001). Le recours à des méthodes de classification permettant une meilleure exploitation du contenu informatif des images s'avère donc indispensable (Blaschke et al., 2001) notamment dans le cadre de l'étude actuelle. Le présent projet, qui intègre l'étude rétrospective de la détection des changements de l'occupation du sol, ne peut donc se limiter à l'analyse de pixels isolés et doit plutôt s'accorder avec la notion de contexte spatial défini par les relations topologiques qui existent entre les éléments voisins.

L'analyse et le traitement des données images, selon une approche objet, qui considère non seulement les propriétés radiométriques mais aussi les caractéristiques spatiales d'un ensemble de pixels homogènes, fournissent une information supplémentaire au processus de classification.

Le logiciel eCognition permet la classification d'images segmentées en se basant sur l'implémentation d'outils de segmentation des images (décrite précédemment) et de classification réalisée selon la logique floue. La logique floue permet une modélisation graduelle et nuancée de la connaissance experte et propose un mode de raisonnement approché et analogique. La connaissance experte traduite sous forme de règles de décisions exprimées par un ensemble de fonctions d'appartenance, contribue à la réduction de la complexité par la condensation des caractéristiques décrivant les classes (Kok et al., 1999). Les règles de décisions ainsi construites apportent une aide substantielle au processus de regroupement des objets spatiaux en classes sémantiques grâce à la synergie des propriétés spectrales, de l'influence des objets voisins et de la connaissance de l'expert qui s'y trouve intégré.

Le logiciel eCognition offre différentes techniques de classification dirigée et une variété de méthodes pour la définition des classes thématiques et la construction de la base de connaissances requises pour la classification des objets. La classification supervisée consiste à diviser l'espace spectral en différentes classes par le recours à des sites d'entraînement. L'affectation d'un objet à une classe donnée nécessite la définition de cette classe au moyen de caractéristiques. Lorsqu'on est en présence d'un espace spectral multidimensionnel, le nombre de caractéristiques décrivant une classe donnée est relativement important. Il est alors souvent recommandé d'appliquer la classification selon le classificateur du plus proche voisin (nearest neighbor classifier). Le classificateur du plus proche voisin procède à partir de zones d'échantillonnages qui vont définir un ensemble de caractéristiques ou prototypes décrivant une classe. Le principe de cette classification est simple. Il suffit de choisir sur l'image segmentée un nombre restreint d'objets représentant chacune des classes. Ces objets échantillons seront considérés comme des sites d'entraînement. La distance euclidienne entre chacun des objets constituant une classe thématique et l'objet à classifier est ensuite calculée et l'objet est assigné à la classe pour laquelle un des objets échantillons est le plus proche.

Étant donné que la classification objet, moyennant le classificateur du plus proche voisin, permet la sélection d'objets échantillons issus de la segmentation préalable de l'image, pour chacune de classes, le choix des sites d'entraînement a donc été effectué sur les images

segmentées. Ceux-ci ont été sélectionnés sur des zones homogènes où les ambiguïtés liées aux pixels mixtes sont négligeables. Le logiciel eCognition permet le choix des sites d'entraînement selon un degré d'appartenance lié à une fonction définie dans un espace multidimensionnel ou s'ajoutent aux bandes spectrales, des paramètres liés à la forme des objets. La division de cet espace multidimensionnel est inhérente à l'assignation d'objets échantillons aux classes données. Contrairement aux méthodes courantes de maximum de vraisemblance, celles faisant appel à des classificateurs flous attribuent à un objet une valeur d'appartenance, à une classe, comprise entre 0 et 1 ou 0 représente un degré d'appartenance nul et 1 un degré maximum d'appartenance. Le degré d'appartenance d'objets dépend du niveau d'atteinte des conditions descriptives de la classe. Un des avantages de ces méthodes est l'expression de l'incertitude liée à la description des classes.

Dans le cadre de l'étude actuelle, l'utilisation de la moyenne de chacune des bandes, l'asymétrie, la forme rectangulaire, la densité, la luminance et le maximum de différences sont les différents paramètres directeurs de la fonction d'appartenance des objets. Le choix de ces paramètres résulte de l'occupation même du territoire où l'on retrouve tant forêts, parcelles agricoles et secteurs urbanisés. Il est à noter que l'utilisation d'une méthode de classification dirigée, pour les différentes images du projet, présente une contrainte importante, celle de disposer de très peu de réalité terrain. Il faut donc s'appuyer en partie sur une interprétation visuelle de l'image et sur le savoir faire développé lors de travaux antérieurs (Dolbec et al., 2005 et Gauthier, 1996).

Dans ce cas-ci, les classes définies sont celles utilisées dans GIBSI (tableau 3.3) pour lesquelles des zones d'entraînement sont déterminées à l'aide des connaissances du territoire. Tel que mentionné ci-haut (contexte du projet), cette connaissance est basée sur l'interprétation visuelle de l'analyste et des informations provenant des travaux antérieurs de classification d'images du bassin de la rivière Chaudière. Toutefois, cette connaissance est guidée par la division, par le logiciel eCognition, de l'espace multidimensionnel selon des critères portant à la fois sur les caractéristiques spectrales et spatiales des objets. Par conséquent, le choix des sites d'entraînement par l'analyste est orienté par l'intégration évolutive des objets échantillons représentatifs de chacune des classes. Les zones

d'entraînement définissent ainsi les caractéristiques spectrales et spatiales des classes auxquelles elles sont associées.

Tableau 3.3 Classes d'occupations utilisées dans GIBSI

Numéros de classes	Classes thématiques
1	Urbain
2	Pâturage et foin
3	Céréales
4	Maïs
5	Eau
6	Milieu humide
7	Sol nu
8	Friche
9	Feuillus
10	Conifères

3.2.5 Sites d'entraînement

Le logiciel eCognition permet l'attribution manuelle de sites d'entraînement pour chacune des classes thématiques. La présente section vise la présentation d'exemples de sites d'entraînement pour les classes définies, accompagnée d'une description explicatrice du choix de ces sites en comparaison avec les caractéristiques des classes. L'affichage préconisé permettant l'amélioration des contrastes entre les différentes classes est présenté au tableau suivant.

Tableau 3.4 Affichage des images MSS et TM et ETM+

Capteur	Bandes	Affichage
Landsat-2 MSS	Bande 1 (0.50 μ m - 0.60 μ m)	Canal Bleu
	Bande 2 (0.60 μ m - 0.70 μ m)	Canal Rouge
	Bande 4 (0.80 μ m - 1.10 μ m)	Canal Vert
Landsat-5 TM et ETM+	Bande 3 (0.63 μ m - 0.69 μ m)	Canal Bleu
	Bande 4 (0.76 μ m - 0.90 μ m)	Canal Vert
	Bande 5 (1.55 μ m - 1.75 μ m)	Canal Rouge

Cet affichage vise à mettre en évidence l'activité chlorophyllienne des divers types d'occupation du sol. En ce sens, les classes présentant une telle activité (Pâturage et foin, Maïs, Friche arbustive, Feuillus, Conifères) arborent des teintes empreintes de vert alors que celles présentant peu d'activité chlorophyllienne (Urbain, Céréales, Sol nu) se distinguent par des teintes allant du bleu au rose pâle. Les points suivants décrivent dans l'ordre les classes thématiques tout en présentant des sites d'entraînement relatifs à celles-ci.

1. Urbain

Visuellement, les zones urbaines sont aisément distinguables par leurs formes irrégulières, leur couleur violet-bleu et leurs localisations géographiques. Toutefois, la classification de ce milieu peut être complexe. En effet, les zones urbaines sont hétérogènes et contiennent souvent d'autres types d'utilisation (végétation, arbres, milieu humide, eau, etc.). Néanmoins, la création d'entités homogènes de zones urbanisées minimise la prise en compte d'autres types d'occupation du sol. La sélection des sites d'entraînement peut donc être concentrée sur les éléments caractérisant le milieu urbain soit les routes, les bâtiments, les surfaces asphaltées, etc. La figure 3.14 présente un exemple de sites d'entraînement pour la classe Urbain pour l'image de 1990.

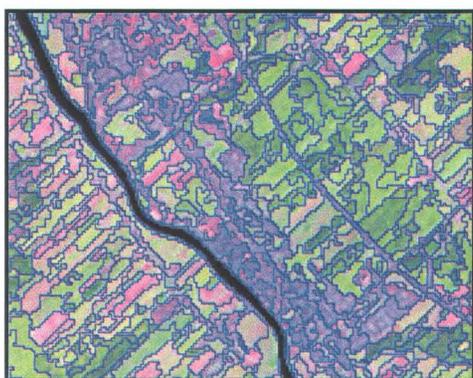
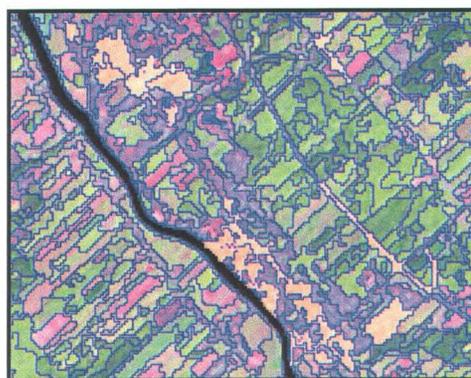


Image segmentée



Classe Urbain

Figure 3.14 Exemple de sites d'entraînement pour la classe Urbain (Image 1990)

2. Pâturage et foin

Les zones de pâturage et foin se distinguent relativement bien des autres cultures. En effet, leur activité chlorophyllienne, qui caractérise leur signature spectrale, s'exprime à l'affichage par des teintes de vert parfois mariées au rose. De plus, ces zones se présentent comme des surfaces plus régulières, angulées s'apparentant à des formes rectangulaires. Toutefois, les objets échantillons liés à cette classe sont moins homogènes, ce qui confère à la classe une étendue spectrale plus large et donc susceptible d'engendrer de la confusion avec des classes s'en approchant. La figure 3.15 présente un exemple de sites d'entraînement plus la classe Pâturage et foin pour l'image de 1990.

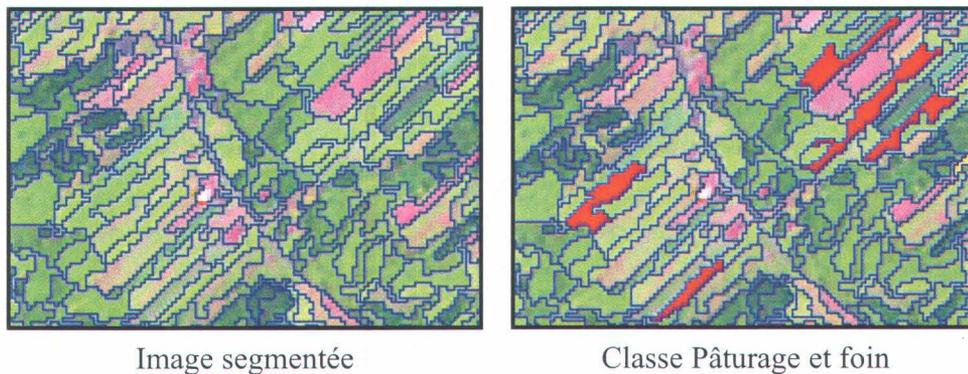


Figure 3.15 Exemple de sites d'entraînement pour la classe pâturage et foin (Image 1990)

3. Céréales

L'identification des champs de céréales peut poser certaines difficultés. Ceux-ci sont généralement composés de blé, d'avoine, d'orge ou un mélange de ces trois cultures. L'activité chlorophyllienne de ces cultures est notamment plus faible que celle des zones de pâturage et foin ce qui résulte en des teintes plus rosées nuancées de vert et de violet. Ceux présentant des teintes de mauve traduisent possiblement la présence de sol nu ou l'expression des sols sous jacents aux cultures alors que ceux qui sont légèrement teintés de vert laissent présumer l'immatunité des cultures. Par conséquent, les cultures céréalières présentent des signatures spectrales plus étendues. Néanmoins, l'homogénéité et la symétrie des champs de céréales permettent de mieux définir les règles d'appartenance permettant leur classification. Toutefois ces règles de classification ne peut permettre la distinction entre la classe céréale et les zones de

pâturages et récoltés. En effet, les champs de pâturage et foin récoltés ainsi que les cultures de céréales à maturités présentent des signatures spectrales et des formes très similaires contraignant leur distinction. Malheureusement, on ne dispose d'aucune vérité terrain pour atténuer cette confusion probante. L'image 3.16 présente un exemple de sites d'entraînement pour la classe céréale pour l'image de 1990.

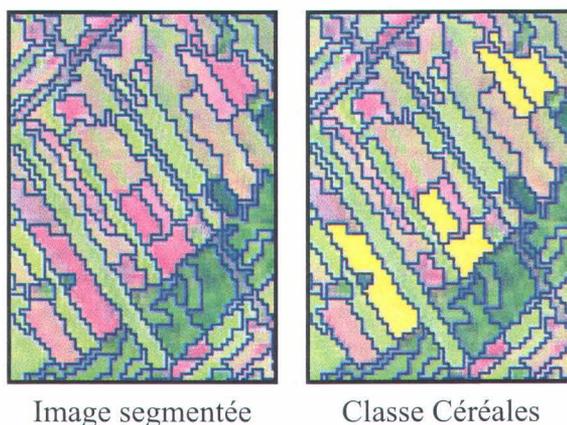


Figure 3.16 Exemple de sites d'entraînement pour la classe Céréales (Image 1990)

4. Maïs

Selon les observations fournies par Gauthier (1996), le maïs affiche une couleur uniforme émeraude très distincte. Tout comme les classes précédentes, les surfaces recouvertes de maïs sont caractérisées par des formes plus rectangulaires représentatives de celles de champs cultivés. Par conséquent la signature spectrale assez fine et les paramètres de forme sont de fort indice de classification pour le maïs. Il est à noter que les cultures de maïs ont été retrouvées majoritairement dans la section de la Basse Chaudière. La figure 3.17 présente un exemple de sites d'entraînement pour la classe Maïs pour l'image de 1990.

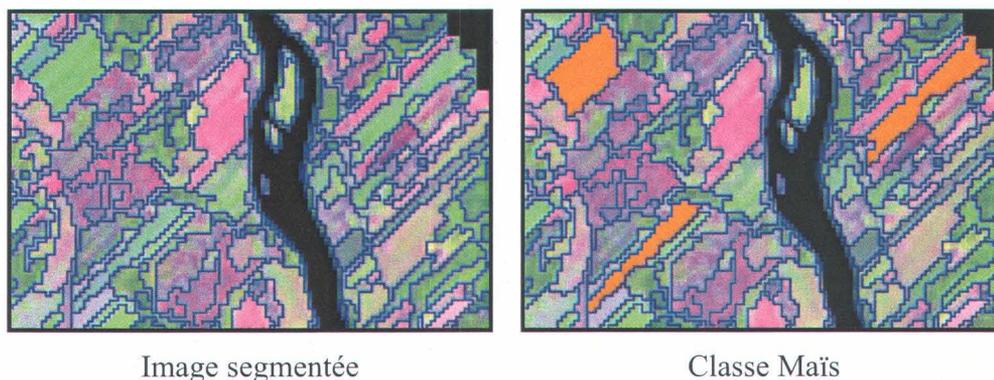


Figure 3.17 Exemple de sites d'entraînement pour la classe Maïs (Image 1990)

5. Eau

La classification des cours d'eau et lacs a été présentée en détail à la section 3.2.1. En effet les caractéristiques spectrales uniques de l'eau permettent sa classification par simple seuillage.

6. Milieu humide

Les milieux humides peuvent être identifiés sans trop de difficulté. Tel que présenté lors de travaux précédents (Dolbec et al. 2005 et Gauthier 1996), ceux-ci s'affichent sous des teintes bleu-gris s'approchant à l'occasion du violet. Ils sont également caractérisés par des formes plus arrondies assez constantes dans le temps. La figure 3.18 présente un exemple de sites d'entraînement pour la classe Milieu humide pour l'image de 1990.

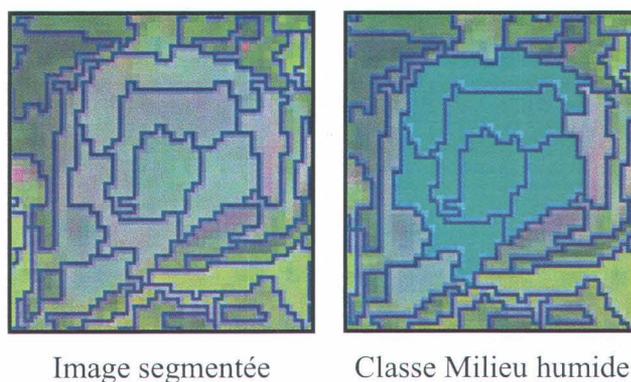


Figure 3.18 Exemple de sites d'entraînement pour la classe Milieu humide (Image 1990)

7. Sol nu

La classe sol nu est caractérisée par l'absence d'activité chlorophyllienne et s'affiche dans des teintes assez foncées de mauve ou de rose clair. Celles-ci soulignent l'absence de végétation et met en évidence la présence de sol dénudé. Cette classe inclut notamment les carrières, les champs labourés, etc. Bien que la signature spectrale des sols nus s'approche de celle des zones urbanisées, leurs formes arrondies ou rectangulaires les distinguent de par leur plus grande symétrie. La figure 3.19 présente un exemple de sites d'entraînement pour la classe Sol nu pour l'image de 1990.

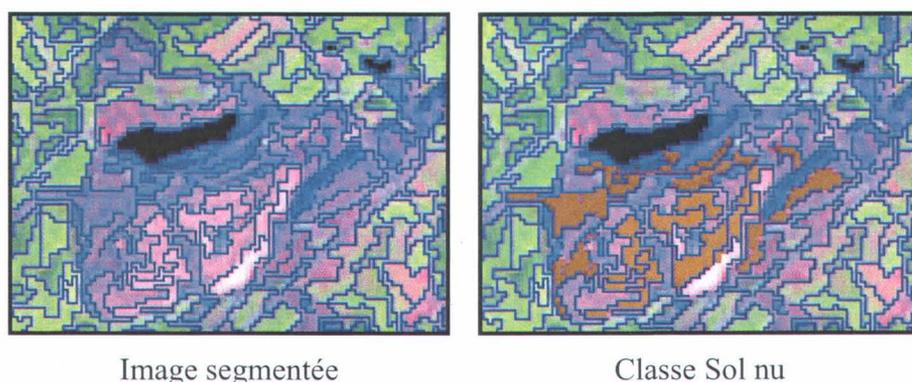


Figure 3.19 Exemple de sites d'entraînement pour la classe Sol nu (Image 1990)

8. Friche

Les zones de friches s'avèrent plus difficilement identifiables que le reste du couvert forestier. En effet, la définition de friche est assez vague selon les informations présentes dans les travaux antérieurs. À quel moment un groupe d'arbres cesse d'être une friche et devient des feuillus? Est-ce que les friches herbacées sont incluses dans cette classe? Pour ces raisons, il est ardu de les discriminer de manière fiable les friches. Dans le cadre du projet ce sont les friches herbacées ou partiellement arbustives qui semblent avoir été identifiées. Ainsi, les sites d'entraînement sélectionnés paraissent couvrir des zones de coupes relativement jeunes. Ces sites affichent une couleur dominée par le jaune signalant une plus faible activité chlorophyllienne se différenciant de la signature spectrale de forêt de feuillus ou conifères. Ainsi, les sites d'entraînement sélectionnés paraissent couvrir des zones de

coupes relativement jeunes ou encore des zones en bordure de forêt présentent des formes plus irrégulières les distinguant de la classe pâturage et foin. La figure 3.20 présente un exemple de sites d'entraînement pour la classe Friche pour l'image de 1990.

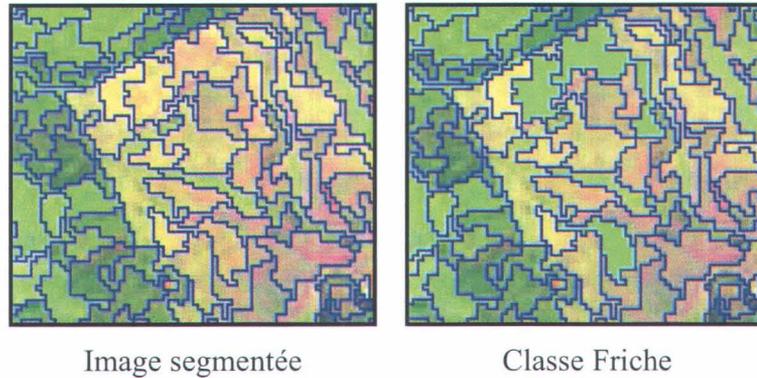


Figure 3.20 Exemple de sites d'entraînement pour la classe Friche (Image 1990)

9. Feuillus

La classe Feuillus se distingue essentiellement de la classe Conifères par son activité chlorophyllienne qui lui confère une signature spectrale propre. Ainsi la classe Feuillus s'affiche dans des teintes de vert pâle. De plus, cette classe se différencie des classes liées à l'agriculture par l'irrégularité des contours et l'asymétrie des forêts. Les caractéristiques spatiales combinées à la réponse spectrale de telles étendues forestières contribuent donc à la détermination des paramètres régissant les règles d'appartenances associées à cette classe. La figure 3.21 présente un exemple de sites d'entraînement pour la classe Feuillus pour l'image de 1990.

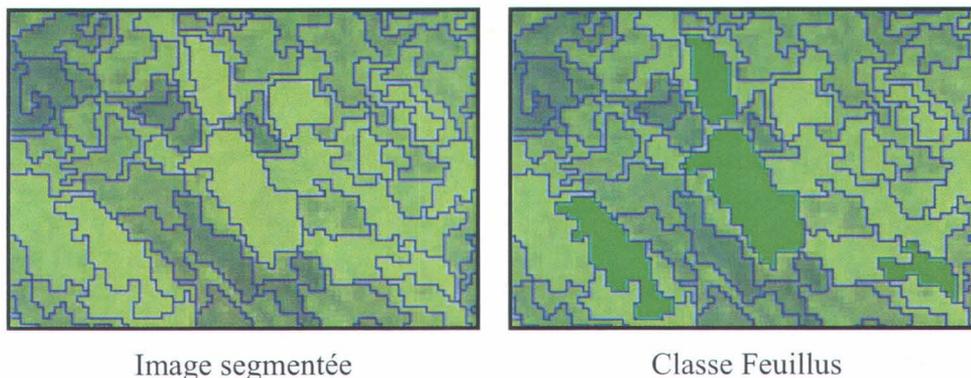


Figure 3.21 Exemple de sites d'entraînement pour la classe Feuillus (Image 1990)

10. Conifères

La classe Conifères, contrairement à la classe Feuillus, présente une activité chlorophyllienne plus faible et une signature spectrale distincte. Cette classe s'affiche dans des teintes de vert foncé. Également, les forêts de conifères se différencient des classes liées à l'agriculture par leurs contours irréguliers et leurs formes asymétriques. Les caractéristiques spatiales et la réponse spectrale de telles étendues forestières contribuent donc à l'identification des paramètres définissant les règles d'appartenance associées à cette classe. La figure 3.22 présente un exemple de sites d'entraînement pour la classe Conifères pour l'image de 1990.

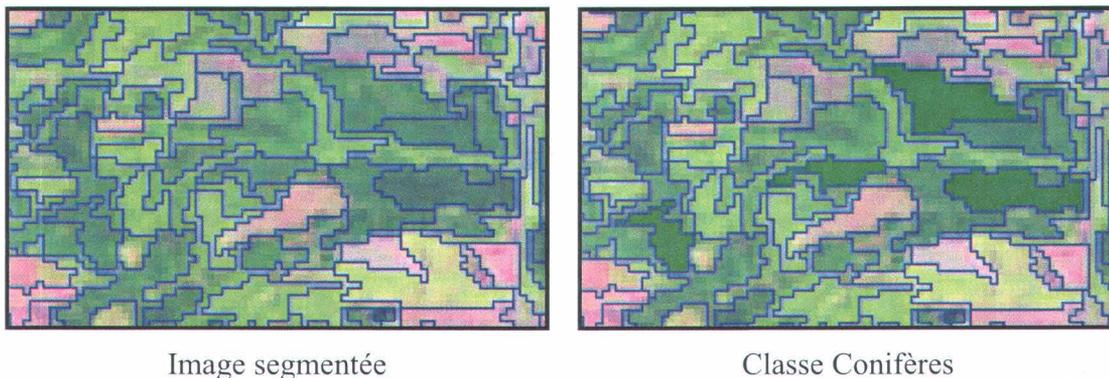


Figure 3.22 Exemple de sites d'entraînement pour la classe Conifères (Image 1990)

3.2.6 Images classifiées

Suite à l'attribution de sites d'entraînement aux différentes classes établies, le logiciel eCognition permet la classification de l'image. Tel que mentionné, cette classification est effectuée par le calcul de la distance euclidienne entre chacun des objets constituant une classe thématique et l'objet à classifier. Celui-ci est alors assigné à la classe pour laquelle un des objets échantillons est le plus proche. Cette distance euclidienne s'inscrit dans un univers pluridimensionnel défini par des fonctions d'appartenance des objets aux classes. Dans le cadre de l'étude actuelle, les règles d'appartenance sont dépendantes des caractéristiques spectrales et spatiales des objets. Les caractéristiques dominantes sont la moyenne et la luminance de chacune des bandes et le maximum de différences entre celles-ci, l'asymétrie, la forme rectangulaire et la densité des objets. La figure 3.23 présente un exemple de classification de l'occupation du sol pour l'image de 1990. La figure 3.23 résume de façon

visuelle la classification de l'occupation du sol appliquée à chacune des images. Toutefois l'analyse de ces classifications passe plutôt par un traitement statistique orienté sur l'évolution temporelle et spatiale des différentes classes. Cette analyse est présentée à la section suivante.

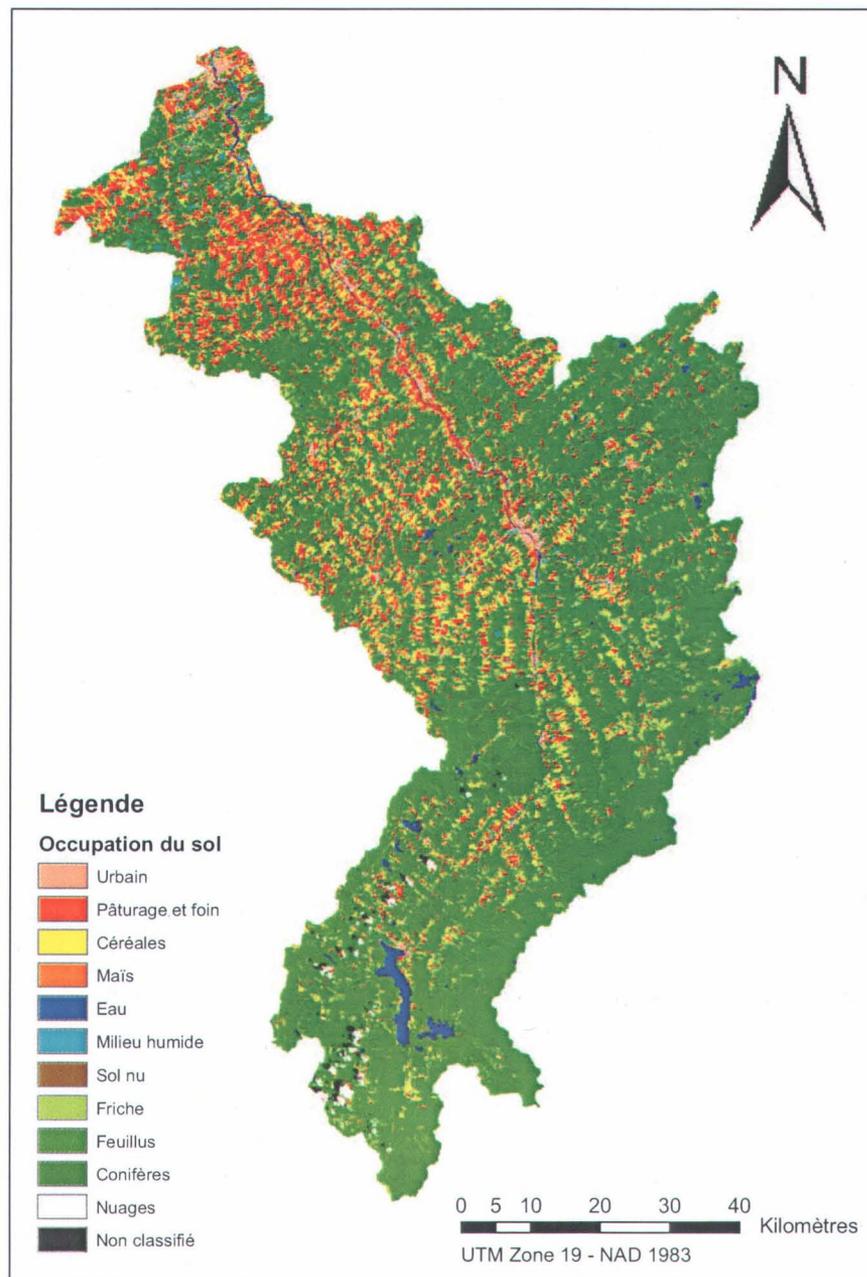
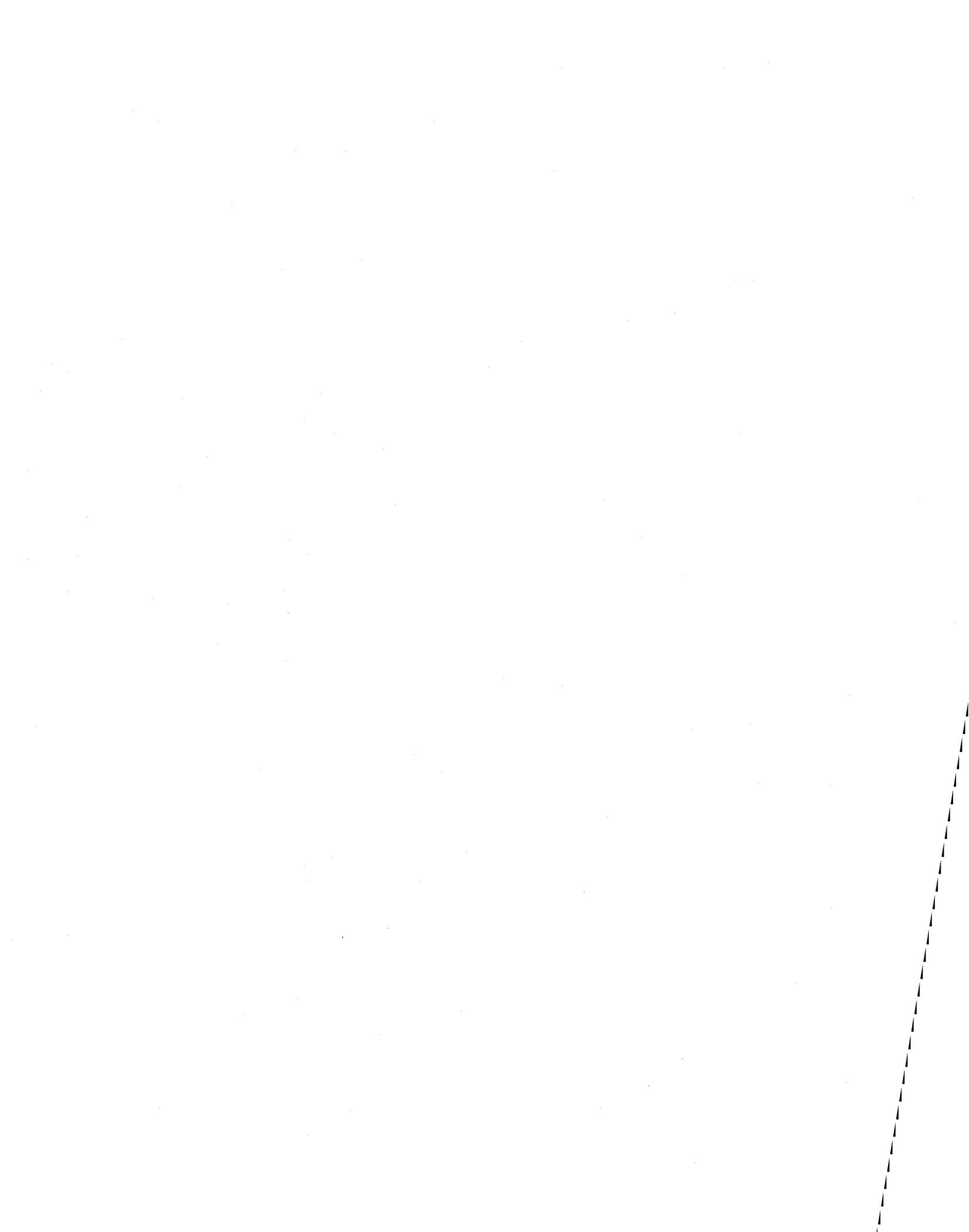


Figure 3.23 Classification de l'occupation du sol pour l'année 1990



4 ANALYSE DES RÉSULTATS

4.1 Évolution spatiale et temporelle des classifications

Dans un premier temps, l'analyse des résultats des classifications peut être orientée sur l'évolution temporelle de l'occupation du territoire par les différentes classes. Le tableau 4.1 présente un résumé de la superficie et du pourcentage de la zone d'étude occupée par chacune des classes. Il est important de rappeler que certaines images (1976, 1987, 1995) ne couvrent pas la totalité de la zone d'étude. De plus la présence de nuages sur les images de 1987, 1990, 1999 et 2003 restreint la classification puisque celle-ci ne peut être réalisée sur les zones ennuagées et ombragées. Il est à noter que l'image de 2003 a été classifiée lors des travaux de Grenier (2005).

Tableau 4.1 Évolution de l'occupation du sol pour chacune des classes thématiques

Classes	Superficie (ha) et pourcentage d'occupation du sol du bassin versant													
	1976		1981		1987		1990		1995		1999		2003	
Urbain	24927	3.74%	26232	3.89%	30164	4.55%	30017	4.45%	28761	4.54%	31520	4.67%	31824	4.73%
Pâturage et foin	44568	6.69%	60004	8.89%	71435	10.77%	70558	10.45%	67899	10.73%	78641	11.65%	70824	10.52%
Céréales	53860	8.09%	29874	4.43%	58866	8.88%	63889	9.47%	42249	6.68%	43870	6.50%	37825	5.62%
Maïs	361	0.05%	973	0.14%	6996	1.05%	8762	1.30%	4213	0.67%	4129	0.61%	4973	0.74%
Eau	7814	1.17%	8422	1.25%	8564	1.29%	8128	1.20%	7874	1.24%	8981	1.33%	9280	1.38%
Milieu humide	11124	1.67%	9616	1.42%	11043	1.67%	15737	2.33%	14465	2.29%	13475	2.00%	2474	0.37%
Sol nu	3703	0.56%	2868	0.42%	10907	1.64%	4238	0.63%	7129	1.13%	6376	0.94%	7031	1.04%
Friche	22443	3.37%	28243	4.18%	31928	4.81%	27782	4.12%	26388	4.17%	20292	3.01%	22164	3.29%
Feuillus	259740	39.02%	266989	39.55%	223613	33.72%	219020	32.45%	222375	35.14%	219856	32.57%	242795	36.05%
Conifères	236968	35.60%	241597	35.79%	206130	31.08%	220993	32.74%	211369	33.40%	215650	31.95%	229326	34.05%
Non Classifiés	195	0.03%	258	0.04%	3504	0.53%	5854	0.87%	173	0.03%	32188	4.77%	14948	2.22%
Superficie de l'image ⁵	665702	98.64%	675077	100.00%	663149	98.25%	674978	100.00%	632894	93.77%	674978	100.00%	674978	100.00%

⁵ Le pourcentage associé à la superficie de l'image représente la fraction du bassin versant couverte par celle-ci

L'évolution temporelle peut également être présentée sous forme graphique. Un tel exercice permet également le regroupement de certaines classes en champs thématiques facilitant et synthétisant l'analyse de l'évolution globale de l'occupation du sol. Par conséquent, les classes Pâturage et foin, Céréales et Maïs peuvent être regroupées sous le champ « Milieu agricole » alors que les classes Feuillus, Conifères et Friche peuvent être regroupées sous le champ « Milieu forestier et arbustif ». Les classes restantes présentent trop peu de similitude pour suggérer leur regroupement. Les figures 4.1 à 4.3 représentent l'évolution temporelle du pourcentage d'occupation du territoire pour chacune des classes et champs thématiques.

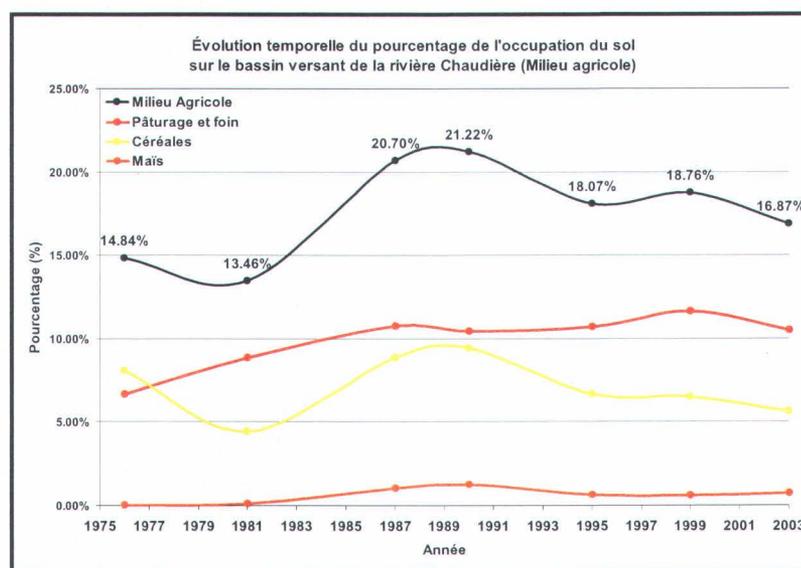


Figure 4.1 Évolution temporelle de l'occupation du territoire pour le milieu agricole

L'observation de la figure 4.1 permet de constater une augmentation du milieu agricole caractérisée par des fluctuations liées à la variabilité de la classification des cultures céréalières par opposition à l'augmentation graduelle ou la persistance des classes Pâturage et foin et Maïs. Les variations de la classe Céréales peuvent être entre autre attribuées à la rotation des cultures qui intègre la transformation périodique de cultures céréalières en Pâturage en foin. Ces fluctuations peuvent également être liées à la confusion entre les classes Céréales et Pâturage et foin. En effet, la signature spectrale de Pâturage peu dense et présentant une plus faible activité chlorophyllienne peut s'apparenter à celle de cultures céréalières non mûres.

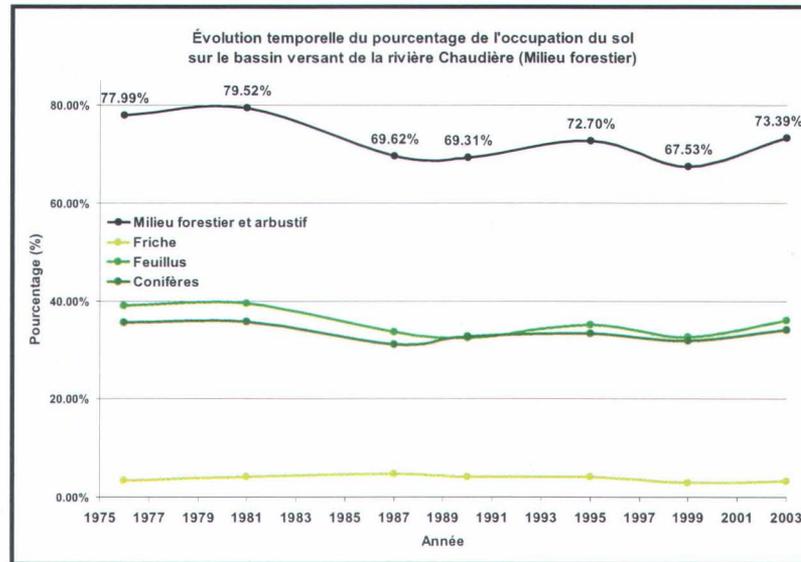


Figure 4.2 Évolution temporelle de l'occupation du territoire pour le milieu forestier et arbustif

L'observation de la figure 4.2 permet de constater une baisse du milieu forestier résultant de la diminution des classes Feuillus et Conifères. Cette diminution peut résulter de la déforestation au profit de pratiques agricoles. La classe friches présente peu de variabilité sur l'ensemble du secteur d'étude sans toutefois empêcher les fluctuations spécifiques et parcellaires d'occupation du territoire par des friches. En effet, l'augmentation par la déforestation de la classe Friche peut être annihilée par la réaffectation de celle-ci en superficie agricole.

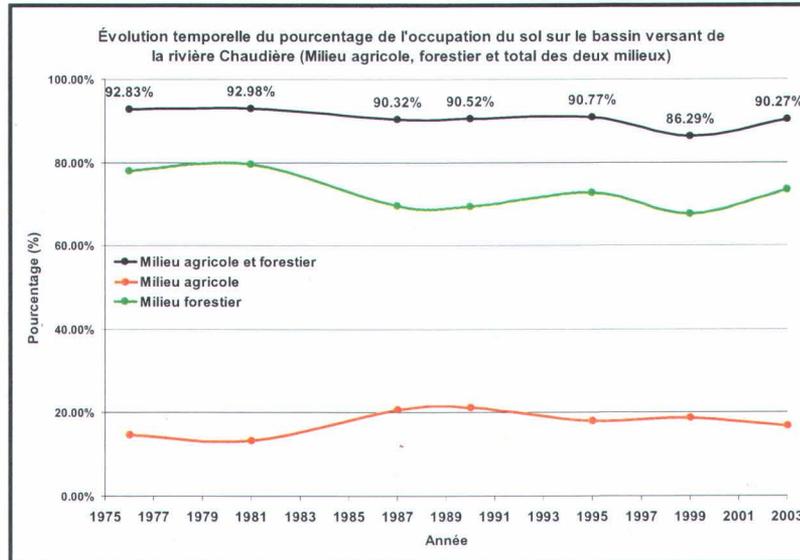


Figure 4.3 Résumé de l'évolution temporelle de l'occupation du territoire pour les milieux agricole et forestier

La figure 4.3 démontre une faible baisse dans le temps suivi d'une légère remontée (2003) de la sommation des milieux agricole et forestier. Cette baisse graduelle peut être liée à l'augmentation de la classe Urbain. De plus, cette sommation démontre très peu de fluctuations résultant de l'interdépendance des milieux agricole et forestier. En effet, la déforestation ou la baisse du milieu forestier s'accorde avec l'augmentation du milieu agricole alors que la régénérescence ou l'augmentation du milieu forestier coïncide avec la concentration du milieu agricole et l'optimisation des pratiques liées à l'agriculture. Il est à noter que l'annexe C présente l'évolution temporelle du pourcentage de l'occupation du sol pour les milieux agricoles et forestiers pour chacun des sous bassins versant du secteur d'étude (figure2.2)

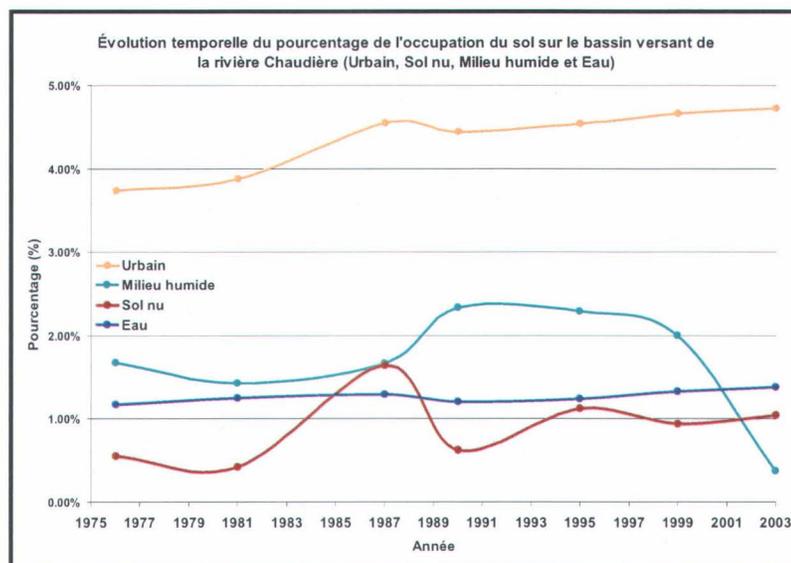


Figure 4.4 Évolution temporelle de l'occupation du territoire pour les classes Urbain, Sol nu, Milieu humide et Eau

La figure 4.4 permet de constater premièrement une augmentation de la classe Urbain associée à l'urbanisation du secteur d'étude notamment sur le sous-bassin de la Basse-Chaudière et de la rivière Beaurivage. Deuxièmement, tel qu'anticipé, la classe Eau reste constante dans le temps. Troisièmement, les classes Milieu humide et Sol nu présentent certaines fluctuations notamment la baisse drastique des milieux humides pour l'année 2003. Toutefois, ces fluctuations sont de moindres importance en raison de la faible présence de ces types d'occupations sur le secteur d'étude. Il demeure pertinent de noter que la classe Sol nu présente une signature spectrale semblable à celle de la classe Urbain ou encore à celle de l'étendue de sol labouré. Ainsi, ces similitudes peuvent occasionner une certaine confusion entre les classes Sol nu, Urbain, Pâturage et foin et Céréale. D'autre part, les fluctuations de la classe Milieu humide peuvent être influencées par l'humidité du sol et à la confusion avec la classe Conifères en raison des signatures spectrales semblables entre les milieux humides et les boisés de conifères.

L'analyse de résultats peut être approfondie par l'étude de l'évolution spatiale de l'occupation du sol. Cette étude peut être menée à l'aide de matrice de transition entre les images consécutives. Ces matrices présentent l'évolution de la distribution des classes

thématiques entre les différentes dates d'acquisition d'images. Dans le cas présent, une fenêtre défilante de 100ha a été utilisée pour le calcul de l'évolution des différentes classes. Les images classifiées sont donc subdivisées en imagerie d'une superficie de 100ha. Par la suite, il est possible de déterminer l'évolution de l'occupation du territoire sous chacune des imagerie créées. Cette évolution se traduit par la confirmation dans le temps de l'occupation du sol pour une classe donnée ou l'affectation de nouvelles classes thématiques à l'utilisation du territoire. Cette analyse permet une première évaluation de la qualité des classifications basée sur la récurrence de l'utilisation du territoire. En effet, certains changements d'occupation du territoire ne peuvent être logiquement envisagés et suggèrent plutôt une confusion entre deux classes. Les matrices de transitions entre les différentes dates sont présentées aux tableaux 4.2 à 4.7. Il est à noter que dans l'étude présente, il est peu pertinent de procéder à une analyse de chacune des classes et ce pour chacune des matrices de transitions. Il est plutôt raisonnable de poser un regard global sur la récurrence, l'évolution ou la confusion des différentes classes par rapport aux champs thématiques les regroupant.

Tableau 4.2 Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1976 à 1981

		1981										
Classes		Urbain	Pâturage et foin	Céréales	Maïs	Eau	Milieu humide	Sol nu	Friche	Feuillus	Conifères	Non Classifiés
1976	Urbain	11924.66	3538.65	1237.29	145.55	60.31	628.82	139.50	2111.79	3587.22	1513.68	9.08
	Pâturage et foin	1210.06	30651.52	1364.80	67.55	63.22	672.64	149.63	2460.36	5587.22	2244.42	11.67
	Céréales	3944.48	9993.91	18637.58	307.67	178.74	1494.53	278.83	6058.85	9626.96	3254.03	17.45
	Maïs	43.65	103.35	26.80	48.96	1.82	8.01	2.03	31.02	65.95	28.78	0.00
	Eau	36.37	44.17	13.85	1.30	7363.80	15.11	14.58	17.73	141.43	158.18	0.10
	Milieu humide	740.08	2208.31	961.04	80.35	29.29	1731.24	83.05	1465.91	2729.72	1064.51	5.31
	Sol nu	370.32	441.13	186.82	25.12	32.26	215.12	447.84	500.05	1034.56	443.28	2.84
	Friche	680.04	1866.33	813.22	45.94	62.21	513.08	143.56	5890.69	7931.28	4453.24	7.17
	Feuillus	3029.54	6444.26	4093.51	127.03	155.90	2313.98	459.71	6069.87	213864.50	22447.32	103.69
	Conifères	2328.94	3574.75	1527.41	116.41	181.37	1605.19	1119.34	3216.64	18431.88	204138.20	78.49
	Non Classifiés	1877.57	1006.72	915.46	1.80	289.31	405.65	29.71	334.86	3184.41	1304.08	22.32

Tableau 4.3 Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1981 à 1987

		1987										
Classes		Urbain	Pâturage et foin	Céréales	Maïs	Eau	Milieu humide	Sol nu	Friche	Feuillus	Conifères	Non Classifiés
1981	Urbain	15266.62	2049.38	2960.78	621.71	17.48	479.30	530.58	842.95	894.59	1846.97	674.78
	Pâturage et foin	1630.67	42521.75	5383.56	979.07	24.06	650.70	686.77	1440.77	1519.20	2421.11	2613.71
	Céréales	1567.73	3042.99	18737.03	539.02	12.57	570.75	508.46	1021.44	1329.47	1653.89	793.76
	Maïs	78.12	99.44	166.72	315.00	0.78	21.55	31.04	34.06	32.65	63.28	124.97
	Eau	137.60	188.78	131.22	33.80	7375.67	55.21	79.03	101.97	131.44	140.95	42.46
	Milieu humide	582.93	1322.00	1644.49	305.32	9.50	2132.73	272.23	735.34	1135.89	1142.96	319.87
	Sol nu	223.96	305.62	293.45	50.61	13.38	89.31	698.31	473.10	284.44	406.50	29.08
	Friche	1771.31	4172.47	5412.12	946.37	30.05	617.49	651.19	6833.53	3836.47	2673.83	1211.56
	Feuillus	6194.95	13121.62	17436.46	2525.05	130.22	4113.72	3218.10	8804.04	186226.10	17889.38	6520.56
	Conifères	2620.03	4468.11	6562.72	659.65	141.88	2272.02	4184.06	11555.00	27568.21	177348.60	3665.67
	Non Classifiés	8.93	8.66	15.33	1.33	0.02	3.96	8.93	4.68	116.18	35.03	55.08

Tableau 4.4 Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1987 à 1990

		1990										
Classes		Urbain	Pâturage et foin	Céréales	Maïs	Eau	Milieu humide	Sol nu	Friche	Feuillus	Conifères	Non Classifiés
1987	Urbain	19927.03	1531.42	1955.62	484.32	38.42	1303.88	203.89	1069.97	1930.63	1523.26	120.06
	Pâturage et foin	1360.02	48584.19	6692.77	1188.01	40.63	2206.39	275.78	3504.92	4683.52	2548.34	226.91
	Céréales	1008.34	4308.35	41774.59	820.53	37.39	1544.59	201.51	2524.36	4040.89	2327.44	171.97
	Maïs	272.37	828.30	911.41	2620.80	5.33	510.03	54.82	457.57	800.01	475.79	43.00
	Eau	13.41	19.63	21.08	10.12	7616.77	17.06	4.38	8.74	24.72	17.53	2.38
	Milieu humide	788.37	971.34	738.46	333.75	19.56	4682.52	125.10	358.36	1253.35	1613.47	127.03
	Sol nu	772.00	1348.09	1300.04	406.62	68.91	767.84	1662.30	990.86	1866.86	1568.47	122.54
	Friche	1021.70	2775.00	2091.07	623.73	78.36	884.22	218.00	14058.42	6448.60	3275.06	385.47
	Feuillus	2302.91	3837.94	3112.85	1053.81	83.90	1385.40	798.97	2277.30	186383.60	18913.78	2950.64
	Conifères	1885.26	2964.93	2863.52	845.65	105.52	1823.00	590.28	1876.37	7091.69	184137.50	1467.24
	Non Classifiés	597.55	3231.42	2322.94	350.13	15.46	582.68	93.15	591.31	3958.29	4104.31	221.49

Tableau 4.5 Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1990 à 1995

		1995										
Classes	Urbain	Pâturage et foin	Céréales	Maïs	Eau	Milieu humide	Sol nu	Friche	Feuillus	Conifères	Non Classifiés	
1990	Urbain	18771.46	1498.37	694.54	180.70	76.57	838.82	458.32	926.60	3138.34	2616.54	748.76
	Pâturage et foin	2055.87	45223.33	3477.83	840.91	120.40	1869.07	832.27	2545.46	7499.97	5143.32	792.25
	Céréales	2277.46	9566.07	32483.23	657.08	130.29	1757.25	742.16	3208.84	7743.24	4078.59	1140.36
	Maïs	630.03	1273.81	654.89	1479.87	49.92	468.66	194.98	646.36	1919.79	1342.62	76.55
	Eau	6.90	4.18	5.34	2.20	7173.43	5.43	13.40	6.70	17.53	8.68	866.46
	Milieu humide	991.60	1540.09	826.44	237.13	56.07	6111.55	309.85	780.74	2604.51	2171.52	78.14
	Sol nu	274.87	408.37	171.84	75.08	25.23	197.50	902.07	381.15	987.81	464.69	339.60
	Friche	927.25	3626.87	1355.57	279.65	53.88	809.22	408.07	10908.44	4613.08	2445.46	2290.72
	Feuillus	1359.27	2383.90	1368.70	261.72	74.50	1318.64	1479.02	3735.79	178037.60	9641.97	18821.12
	Conifères	1254.16	2033.44	1020.95	182.14	100.56	941.17	1667.34	2552.51	12452.22	181486.20	16814.64
	Non Classifiés	146.43	238.01	108.18	10.47	8.31	117.53	109.17	631.66	2825.32	1547.72	95.94

Tableau 4.6 Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1995 à 1999

		1999										
Classes	Urbain	Pâturage et foin	Céréales	Maïs	Eau	Milieu humide	Sol nu	Friche	Feuillus	Conifères	Non Classifiés	
1995	Urbain	19921.02	1945.64	1425.02	237.79	68.41	498.24	329.03	720.46	2024.55	1155.61	369.55
	Pâturage et foin	1325.38	50715.22	5717.17	678.52	56.29	875.07	481.82	2107.25	3191.41	1850.23	798.14
	Céréales	1315.39	5655.51	26319.64	663.62	51.05	944.30	366.94	1606.30	3093.66	1458.28	692.81
	Maïs	272.16	583.75	574.52	1030.32	17.53	260.49	89.02	295.95	719.79	292.02	71.43
	Eau	56.62	56.32	31.93	8.04	7362.16	36.56	46.85	20.94	69.14	86.24	94.33
	Milieu humide	1231.86	1462.17	1229.04	174.50	51.30	5323.06	438.95	541.63	2321.61	1407.44	253.30
	Sol nu	396.68	1172.01	487.88	81.70	21.18	259.40	1394.01	477.39	1332.71	935.73	557.97
	Friche	1095.54	4084.73	2173.78	329.96	56.27	630.91	419.41	9282.43	4297.89	2486.46	1466.94
	Feuillus	2798.35	6355.33	3263.31	413.99	291.04	1977.31	1500.98	2469.12	176591.30	13687.78	12490.96
	Conifères	2404.33	4384.21	2250.94	376.45	359.34	1810.50	1142.62	1596.10	6785.58	181344.20	8492.73
	Non Classifiés	626.10	2097.51	310.82	124.67	642.90	821.76	158.95	1127.47	18833.29	10483.33	6837.30

Tableau 4.7 Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1999 à 2003

		2003										
Classes		Urbain	Pâturage et foin	Céréales	Maïs	Eau	Milieu humide	Sol nu	Friche	Feuillus	Conifères	Non Classifiés
1999	Urbain	20651.03	1642.71	928.43	297.82	115.22	208.00	504.69	970.69	3759.62	2076.13	289.14
	Pâturage et foin	2171.18	51988.94	4627.68	872.71	174.14	118.79	941.44	2888.48	9053.79	4594.93	1080.41
	Céréales	1770.80	5863.23	23943.91	752.95	176.96	80.65	668.41	2232.68	5477.97	2584.86	231.66
	Maïs	329.39	622.06	604.28	1100.07	21.48	12.53	132.05	214.47	617.61	434.49	31.15
	Eau	49.02	54.50	24.90	8.13	7947.08	3.81	32.63	42.25	290.46	409.13	115.59
	Milieu humide	1030.51	1490.66	1055.87	529.95	149.03	1509.66	416.38	854.91	3599.13	2489.40	312.14
	Sol nu	428.71	611.06	329.37	72.99	60.68	27.73	1368.90	597.18	1855.11	754.96	261.91
	Friche	842.34	1905.03	1372.17	341.20	83.60	47.09	329.10	7661.26	4756.42	2097.06	809.80
	Feuillus	1897.70	2889.51	2169.35	447.21	153.67	117.40	955.93	3172.05	185728.50	16508.28	5221.21
	Conifères	1972.32	2416.48	2086.01	446.58	260.47	305.08	1252.33	2536.71	14000.51	186165.80	3745.14
	Non Classifiés	590.36	1233.08	622.08	91.10	137.47	37.33	416.61	937.93	13020.54	10734.17	4304.79

Pour faciliter la compréhension des tableaux 4.2 à 4.7, il est pertinent de procéder à la représentation graphique d'un exemple d'évolution spatiale d'une classe thématique entre deux dates. La figure 4.5 présente un exemple de la redistribution spatiale de la classe thématique « Pâturage et foin » entre les années 1987 et 1990.

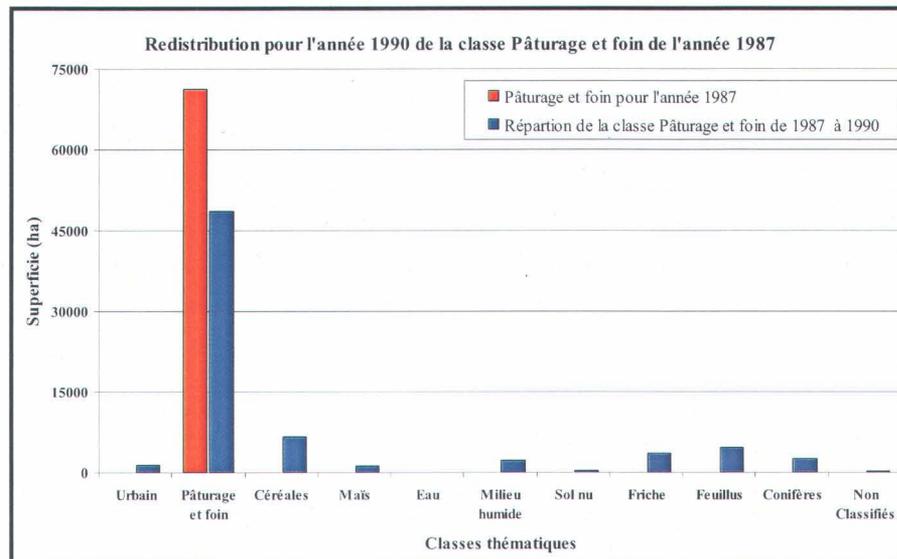


Figure 4.5 Redistribution de la classe Pâturage et foin entre 1987 et 1990

Afin d'évaluer la qualité des classifications des images et de poser un regard plus global sur les changements d'occupation du sol, il est possible de constituer des tableaux synthèse (Tableau 4.8 à 4.13) exposant le pourcentage de récurrence, d'évolution ou de confusion pour les différentes classes thématiques. En effet, en l'absence de vérité terrain, il est très difficile d'attribuer un changement d'occupation du territoire à une simple évolution des différentes classes. À cette évolution s'intègre alors la notion de confusion entre les classes. Cette confusion découle des similitudes entre les signatures spectrales des différentes classes. En effet, le degré d'activité chlorophyllienne, l'apparence du sol sous-jacent, les conditions d'humidité de surfaces et la densité de la classe sont tous des facteurs pouvant occasionner un chevauchement entre les signatures spectrales des différentes classes et par conséquent réduire leur séparabilité. Par opposition, la notion de récurrence souligne plutôt la pérennité temporelle de la classe visée. Pour faciliter la synthèse des résultats, l'espace de confusion et de changement est calculé en fonction des champs thématiques « Milieu agricoles », « Milieu forestier et arbustif » et « Autres (Urbain. Eau, Milieu humide et Sol nu) ». Ces tableaux se veulent un résumé des matrices de transitions entre les dates consécutives.

Tableau 4.8 Récurrence, confusion et redistribution de l'occupation du sol de 1976 à 1981

		1981			
		Récurrence	Évolution et Confusion		
			Milieu Agricole	Milieu forestier et arbustif	Autres
1976	Classes				
1976	Urbain	47.91%	19.77%	28.98%	3.33%
	Pâturage et foin	68.92%	3.22%	23.14%	4.71%
	Céréales	34.66%	19.16%	35.22%	10.97%
	Maïs	13.59%	36.12%	34.89%	15.40%
	Eau	94.33%	0.76%	4.07%	0.85%
	Milieu humide	15.61%	29.29%	47.42%	7.68%
	Sol nu	12.12%	17.67%	53.51%	16.71%
	Friche	26.30%	12.17%	55.29%	6.25%
	Feuillus	82.57%	4.12%	11.01%	2.30%
	Conifères	86.41%	2.21%	9.16%	2.22%
	Moyenne	74.34%			

Tableau 4.9 Récurrence, confusion et redistribution de l'occupation du sol de 1981 à 1987

		1987			
		Récurrence	Évolution et Confusion		
Classes	Milieu Agricole		Milieu forestier et arbustif	Autres	
1981	Urbain	59.84%	22.08%	14.05%	4.03%
	Pâturage et foin	74.26%	11.11%	9.40%	5.23%
	Céréales	64.65%	12.36%	13.82%	9.18%
	Maïs	37.38%	31.59%	15.43%	15.60%
	Eau	88.06%	4.22%	4.47%	3.25%
	Milieu humide	22.97%	35.24%	32.47%	9.31%
	Sol nu	24.60%	22.89%	41.01%	11.51%
	Friche	25.36%	39.08%	24.16%	11.39%
	Feuillus	71.72%	12.74%	10.28%	5.26%
	Conifères	74.71%	4.92%	16.48%	3.88%
	Moyenne	69.42%			

Tableau 4.10 Récurrence, confusion et redistribution de l'occupation du sol de 1987 à 1990

		1990			
		Récurrence	Évolution et Confusion		
Classes	Milieu Agricole		Milieu forestier et arbustif	Autres	
1987	Urbain	66.49%	13.25%	15.10%	5.16%
	Pâturage et foin	68.35%	11.09%	15.10%	5.46%
	Céréales	71.30%	8.75%	15.18%	4.77%
	Maïs	37.78%	25.08%	24.99%	12.15%
	Eau	98.24%	0.66%	0.66%	0.45%
	Milieu humide	43.02%	18.78%	29.63%	8.57%
	Sol nu	15.46%	28.41%	41.17%	14.96%
	Friche	44.67%	17.44%	30.89%	7.00%
	Feuillus	84.66%	3.64%	9.63%	2.08%
	Conifères	90.18%	3.27%	4.39%	2.16%
	Moyenne	77.81%			

Tableau 4.11 Récurrence, confusion et redistribution de l'occupation du sol de 1990 à 1995

		1995			
		Récurrence	Évolution et Confusion		
Classes			Milieu Agricole	Milieu forestier et arbustif	Autres
1990	Urbain	64.29%	8.13%	22.88%	4.70%
	Pâturage et foin	64.97%	6.20%	21.82%	7.01%
	Céréales	51.85%	16.32%	23.99%	7.83%
	Maïs	17.09%	22.27%	45.13%	15.51%
	Eau	99.03%	0.16%	0.45%	0.36%
	Milieu humide	39.10%	16.66%	35.55%	8.69%
	Sol nu	23.20%	16.85%	47.15%	12.80%
	Friche	42.90%	20.69%	27.76%	8.65%
	Feuillus	89.17%	2.01%	6.70%	2.12%
	Conifères	89.10%	1.59%	7.37%	1.95%
	Moyenne	76.25%			

Tableau 4.12 Récurrence, confusion et redistribution de l'occupation du sol de 1995 à 1999

		1999			
		Récurrence	Évolution et Confusion		
Classes			Milieu Agricole	Milieu forestier et arbustif	Autres
1995	Urbain	70.33%	12.74%	13.77%	3.16%
	Pâturage et foin	75.70%	9.55%	10.67%	4.09%
	Céréales	63.46%	15.24%	14.85%	6.46%
	Maïs	24.91%	28.01%	31.62%	15.46%
	Eau	94.69%	1.24%	2.27%	1.80%
	Milieu humide	37.54%	20.21%	30.11%	12.14%
	Sol nu	21.25%	26.55%	41.87%	10.33%
	Friche	37.34%	26.51%	27.29%	8.86%
	Feuillus	84.35%	4.79%	7.72%	3.14%
	Conifères	89.57%	3.46%	4.14%	2.82%
	Moyenne	79.78%			

Tableau 4.13 Récurrence, confusion et redistribution de l'occupation du sol de 1999 à 2003

		2003			
		Récurrence	Évolution et Confusion		
Classes	Milieu Agricole		Milieu forestier et arbustif	Autres	
1999	Urbain	66.29%	9.21%	21.85%	2.66%
	Pâturage et foin	67.14%	7.10%	21.36%	4.40%
	Céréales	54.98%	15.19%	23.64%	6.19%
	Maïs	26.91%	30.00%	30.98%	12.12%
	Eau	89.68%	0.99%	8.37%	0.96%
	Milieu humide	11.50%	23.44%	52.90%	12.16%
	Sol nu	22.42%	16.60%	52.52%	8.47%
	Friche	39.42%	18.62%	35.26%	6.70%
	Feuillus	86.77%	2.57%	9.19%	1.46%
	Conifères	88.05%	2.34%	7.82%	1.79%
	Moyenne	74.11%			

Il est à noter que la moyenne est calculée à partir de la proportion de l'occupation du territoire pour chacune des classes thématiques en fonction de la superficie totale de l'image sans l'inclusion des surfaces non classifiées. Par conséquent, la moyenne globale pour toute la période d'étude est de 75.28%. Cette valeur indique une bonne qualité de la classification de l'occupation du sol entre les différentes dates. L'ensemble des tableaux précédents peuvent être regroupés dans un tableau synthèse présentant la moyenne de récurrence, d'évolution et de confusion des différentes classes thématiques. Ce tableau vise à dresser un portrait global de la classification de l'occupation du sol sur l'ensemble de la période visée (1976 à 2003).

Tableau 4.14 Moyenne des récurrences, confusions et redistributions de l'occupation du sol de 1976 à 2003

Classes	Récurrence	Évolution et Confusion		
		Milieu Agricole	Milieu forestier et arbustif	Autres
Urbain	62.53%	14.20%	19.44%	3.84%
Pâturage et foin	69.89%	8.05%	16.92%	5.15%
Céréales	56.82%	14.50%	21.12%	7.56%
Maïs	26.28%	28.84%	30.51%	14.37%
Eau	94.00%	1.34%	3.38%	1.28%
Milieu humide	28.29%	23.94%	38.01%	9.76%
Sol nu	19.84%	21.49%	46.20%	12.46%
Friche	36.00%	22.42%	33.44%	8.14%
Feuillus	83.21%	4.98%	9.09%	2.73%
Conifères	86.34%	2.97%	8.23%	2.47%
Moyenne	75.28%			

À l'aide du tableau 4.14, il est possible de porter certains commentaires sommaires quant à la classification de l'occupation du sol.

1. La classe Urbain présente une récurrence moyennement élevée et une confusion non négligeable avec les milieux agricole, forestier et arbustif. Cette confusion est fortement déterminée par l'évolution de la classe Urbain entre les années 1976 et 1981. En effet, le faible niveau de précision des images Landsat 2-MSS rend difficile la discrimination de certaines classes en raison de l'absence de longueur d'ondes facilitant leur séparation.
2. La classe Pâturage et foin présente une récurrence relativement bonne. Cependant, elle est également sujette à une évolution vers les classes restantes du milieu agricole, forestier et arbustif. Plus précisément, les rotations de cultures peuvent expliquer les échanges entre les classes pâturage et foin et céréales, d'autre part il peut être noté que les classes Pâturage et foin, Friche et Feuillus présentent des signatures spectrales similaires pouvant induire une confusion lors de leur classification.

3. Dans le même sens que pour la classe Pâturage et foin, la classe Céréales présente une récurrence moyennement élevée et une évolution relativement importante vers les milieux agricole, forestier et arbustif. À nouveau, les rotations de cultures peuvent expliquer les échanges entre les classes Céréales et Pâturage et foin. Également, les similitudes entre les signatures spectrales des classes Céréales et Conifères peuvent engendrer une certaine confusion de leur classification dans le temps. De plus les valeurs présentées sont fortement influencées par celles correspondant à l'évolution de la classe Céréale entre les années 1976 et 1981.
4. La classe Maïs présente, quant à elle, assez peu de récurrence dans le temps et ainsi beaucoup de confusion avec les milieux agricole, forestier et arbustif. De plus, la classe Maïs présente une confusion non négligeable avec les classes restantes. Il peut être raisonnable d'affirmer que la rotation des cultures et la réaffectation de certaines classes agricoles peuvent expliquer l'évolution de la classe Maïs. Toutefois, il semble également que la classe Maïs peut difficilement être identifiée et ce, en raison du nombre restreint de sites d'entraînement, de la faible importance de cette classe sur le secteur d'étude et des similitudes entre les signatures spectrales des classes Maïs, Pâturages et foin, Friches et Feuillus.
5. La classe Eau présente une excellente récurrence dans le temps qui peut être expliquée par sa signature spectrale très distincte de celles de l'ensemble des autres classes.
6. Tout comme la classe Maïs, la classe Milieu humide présente assez peu de récurrence dans le temps et ainsi plus de confusion avec les milieux agricole, forestier et arbustifs. En ce sens, la classe Milieu humide est difficilement identifiable et ce, en raison du nombre restreints de sites d'entraînement, de la faible importance de cette classe sur le secteur d'étude et des similitudes entre les signatures spectrales des classes Milieu humide, Pâturage et foin, Friches, Feuillus et Conifères. Notamment, bon nombre de milieux humides sont caractérisés par la présence de résineux qui ont

pour effet de restreindre le niveau de séparabilité de tels milieux et ainsi augmenter la confusion entre la classe Milieu humide et le milieu forestier.

7. La classe Sol nu présente une très faible récurrence dans le temps, contrairement à une forte confusion avec les milieux agricole, forestier et arbustif. En ce sens, la classe Sol nu est difficilement identifiable et ce, en raison du nombre restreint de sites d'entraînement, de la faible importance de cette classe sur le secteur d'étude et des similitudes entre les signatures spectrales des classes Sol nu, Céréale et Conifères.
8. La classe Friche présente, à son tour, une récurrence relativement peu élevée par opposition à une plus forte confusion avec les milieux agricole et forestier. Il peut être envisagé que certains secteurs de friche ont été transformés en zone agricole (Pâturage et foin) ou encore reboisés. Néanmoins, la classe Friche demeure difficilement identifiable en raison du nombre restreint de sites d'entraînement, de l'importance moindre de cette classe sur le secteur d'étude et des similitudes entre les signatures spectrales des classes Friches, Pâturage et foin et Feuillus.
9. Finalement les classes Feuillus et Conifères, présentent une forte récurrence dans le temps et très peu de confusion avec les autres milieux ou classes thématiques. Il peut être noté que ces classes sont caractérisées par des signatures spectrales ayant une zone de chevauchement pouvant engendrer une certaine confusion. Néanmoins, l'importance du milieu forestier sur le secteur d'étude et les caractéristiques des signatures spectrales des classes le représentant contribuent à son identification lors de la classification.

Les commentaires précédents soulignent donc les caractéristiques de la discrimination des classes thématiques à l'aide de la méthode de classification utilisée dans la présente étude. En ce sens, les classes d'importance (Pâturage et foin, Céréales, Feuillus et Conifères) sont plus facilement identifiables en raison de leurs signatures spectrales et de la possibilité d'un nombre élevé de sites d'entraînement. En revanche, les classes de moindre importance présentent un niveau plus élevé de confusion avec celles dont les signatures spectrales sont

similaires. Il est raisonnable d'affirmer que la notion de confusion intègre certaines hypothèses de réaffectation ou d'évolution entre certaines classes. Toutefois, il demeure très difficile de quantifier la portion de la classe sujette à une évolution réelle contrairement à une réaffectation résultante de la confusion entre les classes. Cette difficulté résulte notamment de l'absence de réalité terrain précise contribuant à la discrimination des classes. Ainsi, la méthode employée se limite aux connaissances de l'analyste et à l'attention portée à l'attribution, à chacune des classes, de plages spectrales relativement uniformes dans le temps.

4.2 Comparaison des résultats

Il est à noter que la comparaison des résultats avec certaines données disponibles demeure qualitative et n'inclut pas une analyse spatiale approfondie. Elle vise ainsi l'inter-comparaison des résultats avec ceux obtenus lors de classifications antérieures ou encore avec des données recueillies.

Plusieurs remarques doivent être apportées à propos des comparaisons des statistiques des cartes d'occupation obtenues pour les années 1987 et 1995 avec celles provenant des autres sources de données : le rapport de Villeneuve et al. (1998) et le rapport de Poulin (2001).

Les cartes d'occupation du sol de 1987 et 1995 possèdent des caractéristiques propres qui ont un impact direct sur le calcul de superficie des classes thématiques. Comme mentionné plus haut, l'image de 1987 est affectée par la présence de quelques nuages au-dessus du bassin. De plus, la scène ainsi que celle de 1995 ne couvre pas la totalité du bassin versant de la rivière Chaudière. Ces deux facteurs font en sorte que la superficie du bassin sur les images de 1987 et 1995 sont respectivement de 6596 km² et 6327 km² soit 153 km² et 423 km² de moins que la superficie totale du bassin versant de la Chaudière.

De plus, il est à noter que les classes thématiques des données comparées ne possèdent pas les mêmes définitions. Ainsi, dans le rapport de Poulin (2001), les données proviennent du recensement agricole canadien et sont compilées par Statistiques Canada. Cet organisme

inclut dans la définition de pâturage uniquement les pâturages non améliorés ou négligés. Les pâturages améliorés sont inclus dans la classe cultures. Il devient alors difficile de comparer de manière indépendante les chiffres obtenus de la classification avec ceux des travaux de Poulin (2001). Néanmoins, il est possible de comparer la sommation des cultures et des pâturages pour chaque source de données.

Dans le cas présent, plusieurs sources de données différentes peuvent être comparées avec les statistiques des cartes d'occupation du sol créées pour l'année 1987 et 1995. Premièrement, il est possible d'évaluer les résultats de 1987 par rapport à la carte d'occupation issue de la classification antérieure, par Dolbec et al. (2005), de l'image de 1987. Deuxièmement, il est également possible de comparer les résultats de 1995 par rapport à la carte d'occupation issue de la classification antérieure, par Gauthier et al. (1996), de l'image de 1987. Évidemment, ces comparaisons visent principalement à s'assurer que les ordres de grandeur des superficies des utilisations sont assez semblables, car il est normal d'observer une différence entre les différentes sources. Il est à noter la présence de quelques incohérences entre les chiffres fournis dans le texte et les données du tableau 4. dans le rapport de Villeneuve (1998 : 68-73). Par exemple, pour la classe maïs, il est mentionné que la superficie classifiée est de 790 hectares, ce qui représente 0,12% du territoire alors que le tableau indique un pourcentage de couverture de 0,32%. Les données du tableau ont été choisies car elles traduisent supposément la carte d'occupation employée dans GIBSI. Également, certaines informations servant à la validation de la classification de 1995 peuvent aussi servir à titre comparatif. Ces données proviennent du MAPAQ suite à des sondages ou à des classifications d'images satellites. Cependant, elles n'existent pas pour toutes les classes d'utilisation et elles traduisent un paysage pour des années diverses en fonction du type d'occupation. Les différentes comparaisons des superficies et pourcentages des classes thématiques et données supplémentaires sont présentées aux tableaux 4.15 à 4.17.

Tableau 4.15 Comparaison des superficies et pourcentages des classes thématiques (1987)

Classes thématiques	Superficie (ha) et pourcentage				
	Classification 1987		Carte d'occupation 1987 ⁶		Données MAPAQ
Urbain	30 164	4.6%	31 645	4.8%	
Pâturage et foin	71 435	10.8%	80 986	12.8%	
Céréales	58 866	8.9%	68 170	10.3%	
Maïs	6 996	1.1%	4 651	0.7%	
Eau	8 564	1.3%	9 251	1.4%	
Milieu humide	11 043	1.7%	37 126	5.6%	
Sol nu	10 907	1.6%	17 866	2.7%	
Friche	31 928	4.8%	32 617	4.9%	16 600 (1989)
Feuillus	223 613	33.7%	185 777	28.3%	
Conifères	206 130	31.1%	191 918	29.1%	

Le tableau précédent présente la comparaison entre les superficies et pourcentages des classes thématiques obtenus à partir de la classification de l'image de 1987. Cette comparaison fait référence à la classification actuelle et à celle menée par Dolbec et al. (2005) sur l'image 1987 en plus d'intégrer une donnée du MAPAQ. Ainsi, il est possible de noter que le milieu agricole est moins important dans la classification actuelle sauf pour la classe Maïs. Inversement, le milieu forestier est plus fortement représenté dans la classification actuelle. Les classes restantes présentent des superficies soit comparables (Eau et Urbain) soit inférieures (Eau, Sol nu et Milieu humide). Il est à noter que la superficie de la classe Friche est largement supérieure à celle indiquée par le MAPAQ.

⁶ Carte d'occupation produite par Dolbec et al. 2005

Tableau 4.16 Comparaison des superficies et pourcentages des classes thématiques (1995)

Classes thématiques	Superficie (ha) et pourcentage				Données MAPAQ
	Classification 1995		Carte d'occupation 1995 ⁷		
Urbain	28 761	4.5%	24 182	3.6%	
Pâturage et foin	67 899	10.7%	75 284	11.3%	45 400 (1994)
Céréales	42 249	6.7%	25 184	3.8%	8700 (1994)
Maïs	4 213	0.7%	2 138	0.3%	1733 ⁸ (1994)
Eau	7 874	1.2%	11 289	1.7%	
Milieu humide	14 465	2.3%	14 896	2.2%	
Sol nu	7 129	1.1%	14 028	2.1%	
Friche	26 388	4.2%	85 103	12.7%	
Feuillus	222 375	35.1%	267 200	40.0%	
Conifères	211 369	33.4%	148 697	22.3%	

Le tableau précédent présente la comparaison entre les superficies et pourcentages des classes thématiques obtenus à partir de la classification de l'image de 1995. Cette comparaison fait référence à la classification actuelle et à celle menée par Gauthier et al. (1996) sur l'image 1995 en plus d'intégrer certaines données du MAPAQ. Ainsi, il est possible de noter que le milieu agricole présente une répartition différente dans la classification actuelle. En ce sens, la classe Pâturage et foin est moins fortement représentée contrairement aux classes Céréales et Maïs. Dans le même sens, le milieu forestier présente également une répartition différente dans la classification actuelle. Plus précisément les classes Friche et Feuillus sont moins fortement représentées contrairement à la classe Conifères. Les classes restantes présentent des superficies qui sont à la fois semblables (Milieu humide) inférieures (Eau et Sol nu) ou encore supérieures (Urbain). Il est à noter que les superficies des deux classifications sont strictement supérieures à celles indiquées par le MAPAQ. De plus, bien que la superficie en Maïs déterminée par Gauthier (1996) s'approche

⁷ Carte d'occupation produite par Gauthier et al. 1996

⁸ Données pour 5 municipalités : St-Bernard, St-Elzéard, St-Narcisse, St-Patrice, Ste-Marie, St-Victor.

de la valeur indiquée par le MAPAQ, elle demeure assez restrictive en raison du nombre restreint de municipalités.

Tableau 4.17 Comparaison des superficies du milieu agricole

Classes	Superficie (ha)		
	Classification 1987	Carte d'occupation 1987 ⁹	Données pour l'année 1986 provenant de Poulin (2001) ¹⁰
Milieu agricole	137 297	153 807	≈ 110 000

Le tableau précédent une comparaison des superficies du milieu agricole pour l'année 1987. Il est ainsi possible de constater que la surface obtenue par la classification actuelle est supérieure à la valeur de la classification par Dolbec et al. (2005) ainsi qu'à celle extraite du rapport de Poulin (2001).

Les commentaires portés sur les différentes superficies demeurent qualitatifs en raison de l'absence de réalité terrain précise. Par conséquent, il demeure assez difficile de définir et de qualifier la véracité des classifications obtenues à l'aide la méthode actuelle. Les différentes comparaisons permettent néanmoins de souligner la variabilité des résultats en fonction de la méthode de classification employée et de la connaissance par l'analyste des caractéristiques spectrales des différentes classes. Il demeure toutefois raisonnable d'affirmer que la méthode de classification orientée objet présente des résultats acceptables qui respectent l'ordre de grandeur des valeurs obtenues, pour les différentes classes thématiques, lors de travaux antérieurs.

⁹ Carte d'occupation produite par Dolbec et al. 2005

¹⁰ Donnée interpolée à partir d'un graphique dans Poulin (2001)

5 Conclusion

L'objectif de ce projet était de développer une procédure de classification d'images satellitaires afin de détecter les changements de l'occupation du sol sur le bassin versant de la rivière Chaudière entre les années 1970 et 2006. Le présent rapport fait état de l'avancement de ces travaux en présentant les différentes étapes réalisées ainsi qu'un processus de classification appliqué aux images de 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003. Dans un premier temps, une série de prétraitements ont été appliqués sur les images de 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003. Par la suite, les images ont classifiées par la méthode orientée objet. Cette méthode utilise l'algorithme du plus proche voisin pour classifier les images objets issues de la segmentation préalable de l'image. Il en résulte une classification de l'ensemble des images objets qui ne s'appuie toutefois pas sur des vérités terrain, mais sur les caractéristiques des signatures spectrales des classes ainsi que sur une interprétation visuelle basée sur les connaissances de l'analyste. Une étude de d'évolution temporelle et spatiale des classes thématiques ainsi qu'une comparaison avec les données existantes et classifications antérieures ont été menées à l'aide des images classifiées. Ce rapport décrit également les efforts de recherche d'informations pour l'obtention d'une vérité terrain.

Les résultats obtenus lors des différentes phases du projet peuvent être résumés comme suit. Tout d'abord, la recherche de données pouvant servir à orienter et valider les classifications s'est avérée mitigée par rapport aux attentes fixées. En effet, pour l'image de l'année 1976, il a été possible de se procurer des cartes d'occupation du sol auprès du MAPAQ qui traduisent le paysage de l'année 1977. Ces cartes pourraient servir de vérité terrain malgré le fait que la définition de classes thématiques de ces cartes ne correspond pas parfaitement à celle utilisée pour les classifications. Toutefois ces cartes n'ont pas encore été intégrées au processus de comparaison en raison de la complexité de la relation entre les cartes d'occupation du sol du MAPAQ et les résultats de classification de l'image de 1976. Pour l'image de l'année 1981, selon les recherches, il semble qu'aucune donnée ne soit disponible. En ce qui concerne les images de 1987 et 1990, des informations peuvent être obtenues auprès de la FADQ, mais le

travail que cela implique est non négligeable. Finalement, pour les images de 1995, 1999 et 2003 aucune information complémentaire n'a été couplée aux images classifiées afin de permettre leur vérification.

Par la suite, une série de prétraitements ont été appliqués aux sept scènes afin de permettre leur classification ultérieure et ce malgré la nombre restreint de données terrain. Les images de 1976 et 1990 ont été restaurées radiométriquement afin de corriger des lignes de pixels affichant des valeurs erronées. Ensuite, ces mêmes images ainsi que celle de 1981, 1987, 1999 et 2003 ont subi des transformations géométriques. Ces transformations ont permis la géoréférence des images. D'autres prétraitements ont été appliqués en réduisant les dimensions des scènes et en isolant les informations radiométriques contenues à l'intérieur du bassin. Également une analyse en composantes principales a été réalisée sur chacune des images afin de faciliter la dissociation des types d'occupation lors de la classification des images.

La classification de l'ensemble des images a été effectuée avec la méthode orientée objet. Elle a été réalisée sans vérité terrain et en s'appuyant sur une interprétation visuelle basée sur les connaissances de l'analyste ainsi que sur la discrétisation spectrales des classes thématiques mis en évidence par le logiciel eCognition. Également des informations textuelles provenant des rapports de Gauthier (1996) et Dolbec et al. (2005), ont contribué grandement à la classification des images. Les résultats des classifications s'avèrent relativement intéressants et peuvent être considérés comme valables. Il est toutefois pertinent de souligner que la présence de nuages (1987, 1990, 1999, 2003) et de zones non couvertes du bassin versant (1976, 1987, 1995), limitent la comparaison des résultats et l'étude de l'évolution temporelle et spatiale de l'occupation du territoire. Il serait alors intéressant de procéder à l'attribution de classes pour les zones nuageuses ou manquantes afin de permettre l'intégration complète des images classifiées au modèle GIBSI. Ainsi, la carte de 1995 présente dans GIBSI peut constituer un point de départ intéressant dans l'attribution d'occupation du sol aux zones non classifiées. Aussi, il faut considérer l'absence de données de validation, limitant l'évaluation totalement objective de la précision des classifications. En ce sens, il serait intéressant d'évaluer la qualité de la classification en utilisant des zones de

validation qui n'ont pas été impliquées dans le processus de création des classes thématiques. Cependant, pour les images utilisées dans la présente étude, on ne possède pas de vérité terrain intégrée aux images respectives, ce qui rend fort difficile l'établissement de zones de validation.

À l'aide des résultats de classifications, il a été possible de mener une étude de l'évolution spatiale et temporelle des classes thématiques. Celle-ci a démontré des tendances globales très acceptables notamment pour les milieux agricoles et forestiers. Toutefois, l'évolution spatiale des types d'occupation du sol a révélé la présence de confusion non négligeable entre certaines classes. En ce sens, il peut être difficile de quantifier et de déterminer l'importance réelle des changements survenant sur le bassin versant de la rivière Chaudière.

Quelques comparaisons quantitatives ont été réalisées jusqu'à maintenant sur les cartes d'utilisations de 1987, 1995 mais il demeure difficile de juger des résultats étant donné le manque de données comparatives fiables. Il est important de rappeler que ces comparaisons sont faites à partir de classifications antérieures (Gauthier, 1996 et Dolec et al., 2005) ou encore à partir de données très restreintes du MAPAQ. Néanmoins, les ordres de grandeurs des pourcentages d'occupation des classes semblent assez bien respecter ceux obtenus précédemment bien qu'ils diffèrent légèrement des données du MAPAQ. Plus précisément, pour les années 1987 et 1995, les superficies agricoles semblent surestimées au détriment du milieu forestier.

Il est important de mentionner que l'étape de comparaison doit être effectuée avec prudence tant dans le choix des données comparatives que dans l'interprétation des résultats. Comme il a été mentionné au chapitre 3, il faut être conscient que la définition des classes thématiques peut varier entre les sources de données. Les données contenues dans le rapport de Poulin (2001) en sont un exemple. De plus, les statistiques compilées par des organismes publiques comme le MAPAQ ou Statistiques Canada proviennent souvent de sondages volontaires effectués auprès des agriculteurs. Il faut tenir compte que pour différentes raisons, les producteurs peuvent choisir de ne pas fournir des informations exactes concernant l'occupation de leurs lots. Ensuite, il est important de comprendre que les

manipulations qui engendrent la carte d'utilisation du sol sont nombreuses et que les données de superficies doivent être interprétées avec précaution. Il faut donc éviter de comparer de manière précise les chiffres, mais plutôt favoriser les comparaisons en terme d'ordres de grandeurs.

La conclusion ne serait pas complète sans le rappel des problèmes identifiés et rencontrés ainsi que les recommandations qui en découlent. Il est évident que le succès des opérations de classification est limité par la disponibilité de données de vérité terrain. Il faut donc chercher par d'autres moyens à réduire l'impact de cette absence. À cet effet, les travaux antérieurs de Gauthier (1996) et Dolbec et al. (2005) se sont avérés très utiles comme sources d'informations. En effet, ceux-ci présentent une certaine expertise dans l'identification et la détermination de sites d'entraînement pour les différentes classes thématiques.

En ce qui concerne les prétraitements, il a été jugé non nécessaire d'appliquer des corrections atmosphériques aux images, celles-ci étant classifiées de manière indépendante. Bien que l'image de 1990 présente un très léger voile brumeux, au-dessus de la basse Chaudière (voir figure 3.6), celui-ci n'affecte pas la classification de façon significative. Ainsi, cette image ne requiert pas de correction atmosphérique.

Enfin, pour plusieurs raisons, la comparaison des cartes d'occupations demeure l'étape la plus problématique dans le cadre du projet en raison de l'absence de sources de données fiables et standardisées avec lesquelles il est possible de comparer les résultats des classifications. Également, l'analyse spatiale et temporelle de l'évolution des classes thématiques demeure restreinte par l'absence de vérité terrain limitant la détermination réelle des changements d'utilisation du territoire en opposition avec la confusion entre les classes. Les résultats de classification doivent donc être utilisés en respect de l'incertitude générée par cette confusion et suggère plutôt une vision globale de l'évolution de l'occupation du territoire.

6 Références

Blaschke T. et Strobl J. (2001), What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS, *GeoBit/GIS* 6, pp. 12-17

Caloz, R. et C. Collet. (2001) *Traitements numériques d'images de télédétection*. Précis De Télédétection, vol. 3. Sainte-Foy, Québec, Presses de l'Université du Québec, 386 pages.

Gauthier, Y. (1996). Rapport technique présenté dans le cadre de GIBSI. [Rapport de technique No RT-462a]. Sainte-Foy, Québec, INRS-Eau, Université du Québec. 16 pages.

Grenier, M. (2005). Classification de l'occupation du sol du bassin versant de la rivière Chaudière à l'aide de l'image satellitaire Landsat-5 du 2 septembre 2003, Rapport pour le cours Projet dirigé I : Eau 801, INRS-ETE, 43 pages

Guillot, F. (2004). Étude préliminaire de l'impact du changement climatique sur le régime d'écoulement du bassin versant de la rivière Chaudière, à l'aide du système de modélisation intégrée GIBSI. [Rapport interne N°I-150]. Sainte-Foy, Québec, INRS-ETE, Université du Québec. 110 pages.

Definiens Imaging (2001), eCognition online user guide, guide d'utilisateur en ligne eCognition, <http://www.definiens-imaging.com>

Dolbec J.-F., Rousseau A. N., Quilbé R. (2005), Développement d'un processus de classification d'images satellitaires afin de détecter les changements d'occupation du sol sur le bassin versant de la rivière Chaudière pour la période 1970 à 2000 : Exemple de l'image Landsat-5 du 6 août 1987. Rapport #802 pour le projet FACC A9446. Québec, Québec, INRS-ETE, Université du Québec, 73 pages.

Hostert, P.; Roder, A. et Hill, J. (2003). Coupling spectral unmixing and trend analysis for monitoring of long-term vegetation dynamics in Mediterranean rangelands. *Remote Sensing of Environment*. 87(2-3):183-197.

Kok R., Schneider T., Baatz M. et Ammer U. (1999), *Object-based classification and applications in the alpine forest environment*, International archive photogrammetry and remote sensing, vol. 32, section 7-4-3 W6

Mansor S., Hong W.T. et Shariff A.R.M. (2002) Object oriented classification for land cover mapping, Site de GIS Development, <http://www.gisdevelopment.net>.

Miller, S. N. ; Kepner, W. G.; Mehaffey, M. H.; Hernandez, M.; Miller, R. C.; Goodrich, D. C.; Devonald, K. K.; Heggem, D. T. et Miller, W. P. (2002). Integrating landscape assessment and hydrologic modeling for land cover change analysis. *Journal of the American Water Resources Association*. 38(4):915-929.

Poulin, A. (2001) Évolution des superficies en terres cultivées et en pâturages sur le bassin versant de la rivière Chaudière, de 1966 à 1996. Rapport de recherche No R-549re3. Sainte-Foy, Québec, INRS-Eau, Université du Québec. 38 pages

PCI Geomatics. (2003) *Using OrthoEngine*. Geomatica Prime Help Version 9.0, Richmond Hill.

Rogan, J.; Franklin, J. et Roberts, D. D. (2002). A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. *Remote Sensing of Environment*. 80(1):143-156.

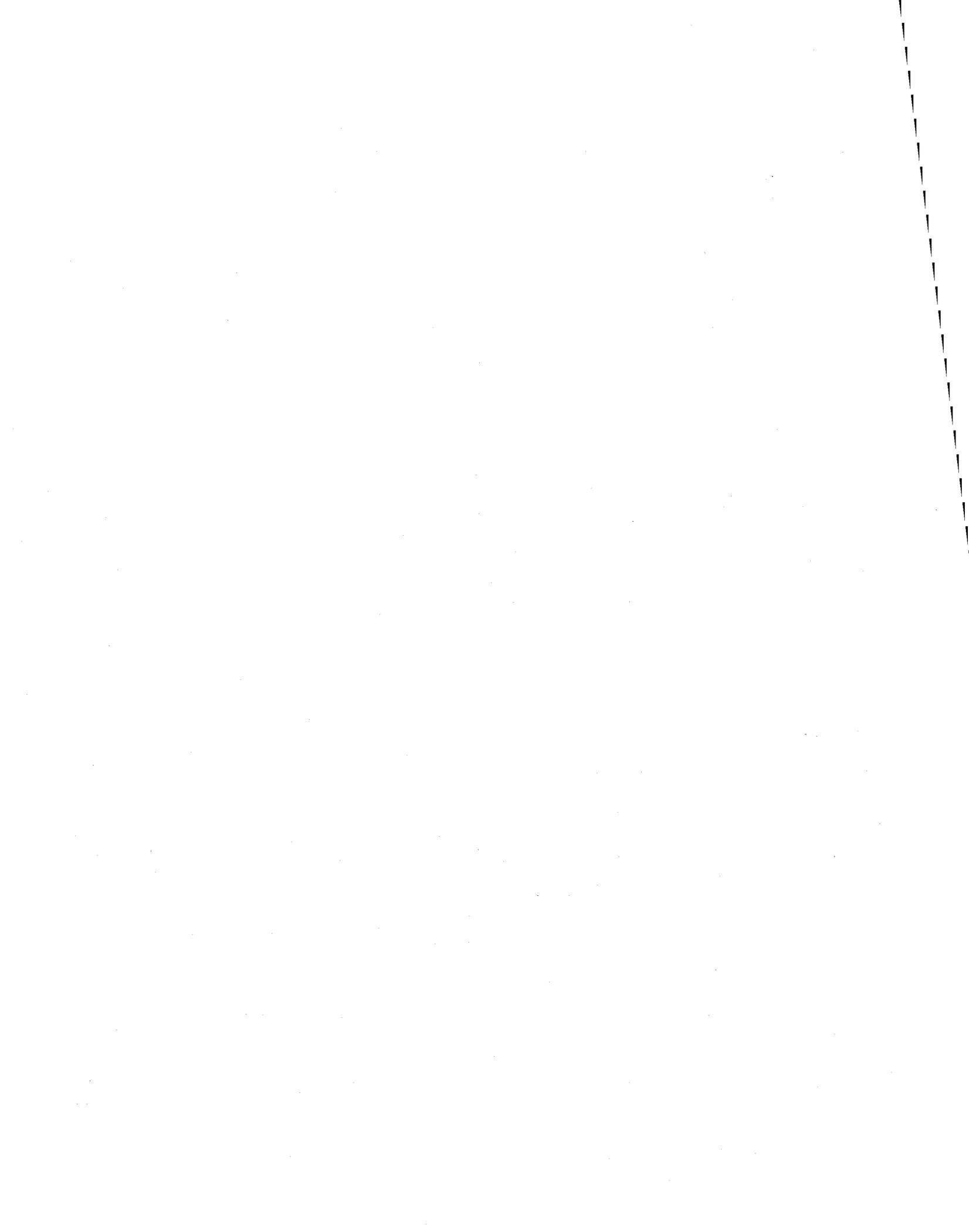
Schiewe J., Tufte L. et Ehlers M. (2001), Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing, GEOBIT/GIS 6, pp. 34-39.

Villeneuve, J-P., Blanchette, C., Duchemin, M., Gagnon, J-F., Mailhot, A., Rousseau, A. N., Roux, M., Tremblay J-F. et Turcotte R. (1998). Rapport final du projet GIBSI : Gestion Intégrée de l'eau

des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé, tome 1. Sainte-Foy, Québec, INRS-Eau, Université du Québec.

Yuan, D. et Elvidge, C. (1998). NALC Land Cover Change Detection Pilot Study: Washington D.C. Area Experiments. *Remote Sensing of Environment*. 66(2):166-178.

Zhao, G. Z.; Lin, G. et Warner, T. Using Thematic Mapper data for change detection and sustainable use of cultivated land: a case study in the Yellow River delta, China. *International Journal of Remote Sensing*. 2004; 25(13):2509-2522.



ANNEXE A Caractéristiques des cartes d'occupation du sol de 1977

A.1 Caractéristiques cartographiques

Échelle cartographique : 1 : 50 000

Format de données : TIFF géoréférencé (inclut un fichier TFW)

Systèmes de coordonnées : 3 systèmes sont disponibles

- MTM zone 7
- UTM zone 19
- Géographique en degré décimal

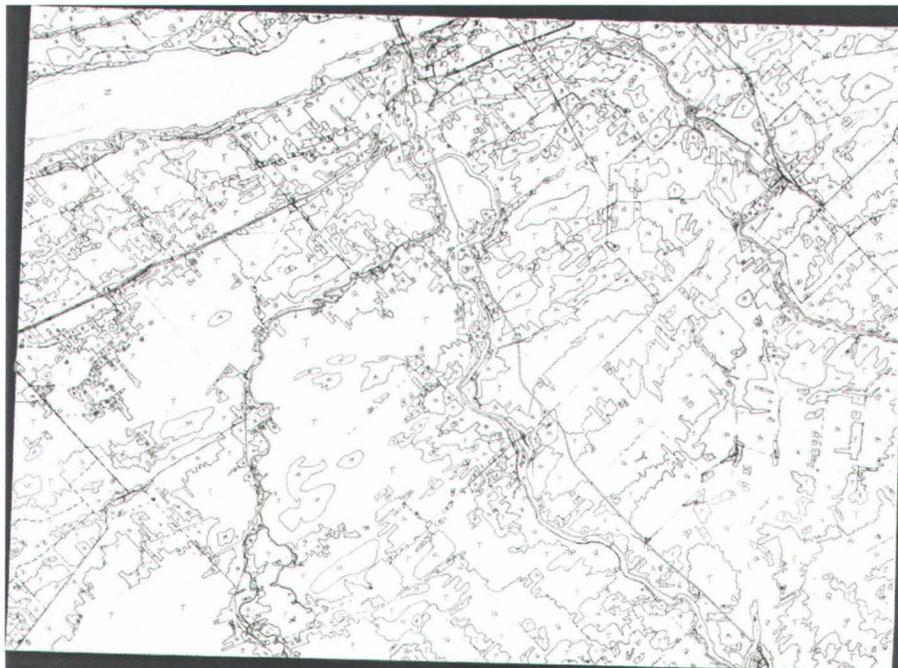


Figure A.1 : Feuillet 21L11 présentant l'utilisation du sol pour l'année 1977

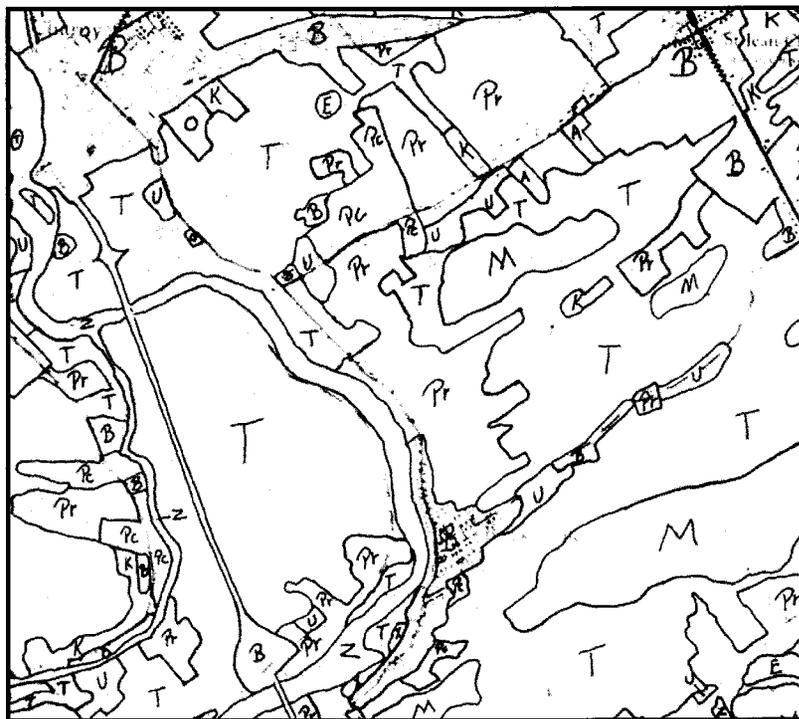


Figure A.2 : Agrandissement d'un feuillet d'utilisation du sol de 1977

A.2 Définitions des données thématiques contenues dans les cartes d'occupation du sol du MAPAQ de 1977 (source : MAPAQ)

A.2.1 Affectation agricole

Terre cultivées

P : Grandes cultures, pâturage permanent et pâturage en rotation

Pr : Grandes cultures, pâturage en rotation, pâturage permanent,

Pc : Foin et pâturage négligés

On entend par grande culture, les cultures de céréales, de fourrage et par extension les pâturages. Les céréales sont généralement bien connues et faciles à identifier : blé, avoine, orge, céréales mélangées (avoine, orge et/ou blé), maïs. Le seigle et le sarrasin sont rares au Québec. Comme le maïs grain et le maïs fourrager entrent dans la catégorie des grandes

cultures, ils ne sont pas distingués. Cependant, le maïs sucré est identifié et classé comme culture maraîchère, ce qui demande une certaine vigilance surtout quand les plantes sont encore jeunes. Le fourrage est surtout composé de foin, (mil, trèfle, luzerne, etc.).

Il existe plusieurs types de pâturages : les pâturages permanents, les pâturages dans un cycle de rotation des cultures, les pâturages sur des terrains incultivables et les pâturages sur des terres semi-abandonnées. Les deux premiers types entrent dans la classe P et les deux autres sont traités plus loin dans ce document avec le symbole K. Par pâturage permanent, on entend ici des champs semés et entretenus en fonction de cette utilisation, c'est-à-dire qu'ils sont engraisés, soumis à la fauche des mauvaises herbes, etc. Les pâturages dans un cycle de rotation font partie du cycle traditionnel céréales-foin-pâturage ou de ses variations.

La distinction entre Pr et Pc réfère à la qualité et à la densité des plantes fourragères. Un champ de céréales et un pâturage permanent sont toujours classés Pr. C'est le cas également des champs de foin et des pâturages pendant un cycle de rotation normal. Les plantes fourragères sont relativement abondantes et sans trop de mauvaises herbes.

Le symbole Pc s'applique à un champ négligé et laissé à lui-même pendant un temps qui dépasse la période normale entre les labours. La densité des plants de mil est faible et inégale, les mauvaises herbes sont nombreuses, les parties des champs les plus mal drainées sont couvertes de carex et des scirpes et on trouve parfois une mince couche de mousse sous les graminées.

Pour entrer dans cette catégorie, un champ doit être récolté ou pâturé. Sinon, il sera classé comme friche récente (symbole K).

La distinction entre Pr et Pc n'est pas toujours évidente du premier coup d'œil. Souvent le contexte agricole donnera de bons indices. Parmi ces indications, il y a le petit nombre de fermes sur lesquelles se trouvent des animaux par rapport aux superficies en foin, la faible proportion de terre en céréales, la présence de friche dans des champs voisins, un contexte de fermes abandonnées et semi-abandonnées.

H : Horticulture

Hm : Culture de légumes pour la mise en marché traditionnelle

Hc : Culture de légumes pour les conserveries

Hf : Petits fruits

La catégorie Hc se retrouve principalement, sinon exclusivement dans la plaine de Montréal. Les principaux légumes de conserverie sont les haricots, les pois verts et le maïs sucré. Les principaux indices qui permettent de les reconnaître sont la grande étendue des champs ainsi cultivés et la présence d'une conserverie dans la région. Le maïs sucré pour conserverie se distingue mal du maïs fourrager et du maïs grain du moins au début de l'été.

A : Cultures spéciales

At : Tabac

La culture du tabac se fait généralement en rotation avec de la jachère ou des céréales. Chaque champ est le plus souvent trop petit pour être cartographié séparément et le symbole At englobe tous ces champs puisque la culture du tabac constitue la principale utilisation.

As : Betterave sucrière

Ab : Bleuetière

On entend ici par bleuetière les terrains déboisés en vue de la récolte de bleuet indigène. N'entrent pas dans cette classe ni les vieux « bûchés » ni les « brûlés » qui produisent des bleuets.

Ao : Graines oléagineuses

Ce sont surtout le lin, le soya et le colza.

Af : Floriculture, pépinières, gazon

Ap: Pomme de terre

G: Verger en production

Seuls les vergers en production sont identifiés comme vergers. Les vergers abandonnés sont classés U.

Terre agricoles non cultivées

K : Pâturage semi-naturel et friche récente

Par pâturage semi-naturel on réfère aux ravins, aux sols pierreux, aux pentes fortes, qui ont été défrichés, qui ne sont pas cultivés et qui servent de pâturage. On peut y trouver quelques broussailles et des arbres dispersés. Toutefois, si on a de bonnes raisons de croire que les broussailles envahissent le terrain définitivement, elles sont classées comme U selon les critères énoncés plus loin.

La friche récente comprend surtout des terrains qui n'ont pas été cultivés depuis longtemps et qu'on considère comme abandonnés. Ils sont couverts principalement de mauvaises herbes et de graminées auxquelles s'ajoutent souvent quelques broussailles. Il arrive parfois que des animaux vont paître dans ces terrains. Ils sont quand même classés comme K. Si les broussailles occupent plus de 10% de la superficie du terrain et dépassent généralement quatre pieds de hauteur, elles sont classées comme U.

U : Friche embroussaillée

Ce sont les broussailles qui caractérisent ces terrains bien que les foins négligés, les graminées et les mauvaises herbes peuvent occuper la majeure partie de la surface. Ce sont généralement des terres agricoles abandonnées dont l'évolution correspond à un stade intermédiaire entre la friche récente et le boisé.

La démarcation entre la friche embroussaillée et le boisé ne peut s'établir selon des critères absolument précis. On peut seulement donner des repères qui serviront de guide. On considère comme boisé (T) un terrain dont les arbustes et les arbres atteignent une hauteur de 20 pieds et /ou couvrent plus de 80% de la superficies du terrain. Autrement, ils sont considérés comme friche embroussaillée (U).

A.2.2 Affectation urbaine et para-urbaine

B : Affectation urbaine et para-urbaine

Distinction à faire en dehors des agglomérations

Br : Groupement de résidences

Bc : Commerce, industrie

Bi : Institution

Ba : Autoroute, aéroport, poste de transformation de l'électricité, etc.

Les agglomérations urbaines sont cartographiées comme telle (symbole B) et ne se distinguent pas de leurs différentes fonctions, mais les grandes étendues de friches et les terres en culture en bordure des villes ont été cartographiées même si elles sont séparées de la campagne voisine par un mince ruban de terrain urbanisé.

En dehors des agglomérations, différents types d'affectation urbaine et para-urbaine sont cartographiées :

les groupements de résidences à la croisée de deux routes, ou le long d'un rang (symbole **Br**);

les commerces, les entrepôts, les usines (symbole **Bc**)

L'intérieur des parcs industriels est traité comme les autres territoires. Les usines portent les symboles Bc, la friche récente le symbole K, etc. Les limites des parcs ont été transférées sur la carte finale à l'aide de documents du ministère de l'Industrie et du Commerce.

Les institutions comme les écoles, les maisons de religieux, les églises, les cimetières, les hôpitaux, etc. (symbole **Bi**).

Les autoroutes, les aéroports, les dépotoirs, les barrages, les postes de transformation d'électricité, en résumé, des affectations reliées à des services publics (symbole **Ba**).

Dans les cas d'affectations mixtes, seules celles qui dominant sont identifiées. Par exemple, le symbole Br sera donné à un groupe de résidences le long d'un rang même s'il s'y trouve quelques commerces et quelques maisons de ferme.

E : Extraction

Em : Mine

Et : Tourbière exploitée

Ep : Carrière de pierre

Es : Carrière de sable

Ea : Enlèvement de la couche arable

La classification de ces phénomènes présente peu de difficulté. Il est généralement facile de déterminer si une mine ou une carrière est en activité ou abandonnée. Les carrières de sable à moitié envahies par les broussailles où des individus vont occasionnellement chercher un peu de sable ne sont pas considérées comme en activité.

A.2.3 Affectation récréative

O : Récréation de plein air, villégiature, site historique

Il faut noter d'abord que ce symbole n'est pas utilisé qu'à l'extérieur des agglomérations urbaines. Il s'applique à toutes les activités récréatives : terrains de golf, de pique-nique, de camping, pistes de course, jardin botanique, camp de vacances, etc. Les groupements de chalets entrent également dans cette classe.

Les parcs régionaux réservés exclusivement pour des activités récréatives sont délimités et toute leur surface est placée sous le symbole O. Pour les grands parcs provinciaux, la situation est différente. En règle générale, on y trouve des activités récréatives et de l'exploitation forestière. Ces parcs sont délimités sur la carte finale par un symbole approprié et l'intérieur est traité comme les autres territoires.

A.2.4 Autres affectations

T : Forêt et boisé

Sous ce symbole est placée toutes les étendues forestières, y compris, les brûlés, les terrains qui ont fait l'objet d'une coupe à blanc, les boisés dont les arbres ont poussé naturellement et qui ont fait l'objet de travaux sylvicoles.

Tp : Arbres plantés

M : Marais, marécage, tourbière inexploitée et sans arbre

Le partage entre la forêt et la tourbière se situe au moment où la taille et/ou la densité des arbres font que le paysage n'en est plus un de forêt.

L : Roc à nu

Seul les masses à nu qui par leur étendue et leur situation en milieu rural ayant une certaine signification sont identifiées.

S : Sable à nu

X : Terrain inutilisé à la suite d'une utilisation autre qu'agricole

Ce symbole comprend les carrières désaffectées, les déchets de mines et de scieries, les cicatrices d'enlèvement de la couche arable, etc.

Z : Surface d'eau

ANNEXE B Données de la Financière Agricole du Québec (FADQ)

Résumé de la rencontre du 2 mars 2005

Lieu : Bureau de la FADQ à Lévis

Étaient présents : Patrice Mullier, FADQ
Véronique Payan, FADQ
Jean-François Dolbec, INRS-ETE

B.1 Mise en contexte et problématique du projet de l'INRS-ETE

L'INRS-ETE cherche à obtenir des données pouvant servir à établir des vérités terrain pour les années 1976, 1981, 1987, 1990. L'INRS-ETE s'adresse à la FADQ pour évaluer quel type de données celle-ci pourrait fournir pour l'identification des cultures et des pâturages dans les zones agricoles sur les images satellitaires des années d'intérêt.

B.2 Présentation des solutions disponibles à la FADQ

La FADQ possède des données pour l'identification des champs et des cultures qui s'y trouvent pour les agriculteurs.

B.2.1 Type de données archivées

Données actives :

Ces données sont disponibles immédiatement pour les besoins des employés de la FADQ. La FADQ conserve dans ses bureaux et Centres de service en région 3 ans de données actives. L'année en cours (ex: 2004) et les deux années précédentes (2003 et 2002).

Données semi-actives :

Ces données sont archivées par le gouvernement du Québec (Archives Nationales du Québec). 19 ans de données sont conservées (2001 à 1982).

Données désactivées mais archivées :

Ces données sont archivées aux Archives Nationales.

2 types d'archives existent :

1. Les données intégrales où tous les documents envoyés sont conservés (ex : tous les dossiers des producteurs d'une région).
2. Les données partielles où seules quelques données ont été conservées suite à un tri (ex : quelques dossiers de producteur d'une région pour illustrer un mode de calcul ou d'indemnisation). Les données non archivées sont détruites

B.2.2 Contenu des données

Les données se présentent sous la forme de documents qui contiennent une partie qui sert à l'identification visuelle des champs (forme, limite et situation spatiale par rapport aux autres champs) et une section descriptive où l'on retrouve les numéros des champs et leur vocation agricole (pâturage ou type de cultures). Depuis 2002, les données visuelles sont dans un format numérique et proviennent de photographies aériennes. Les documents sont entièrement stockés sur médias informatiques. De 1996 à 2001, les limites des champs ont été tracées à la main sur un fond de carte qui a été numérisée. Les documents sont dans un format papier. Avant 1996, les plans de ferme ont été tracés à la main et les documents sont sur papier.

B.2.3 Consulter les données

Pour consulter les données qui sont archivées aux Archives Nationales du Québec, il faut transmettre une requête pour faire venir les documents désirés. Cette requête ne peut être fait que par le bureau régional qui a effectué l'expédition des dossiers aux archives. Donc, si une direction du siège social (Lévis) de la FADQ veut consulter des documents archivés, elle doit faire la demande au bureau régional concerné (ex : bureau de Ste-Marie pour la région de Chaudière-Appalaches, secteur Sud). Le centre de service enverra par la suite les documents au siège social. Celui-ci sélectionnera les données pertinentes puis la caisse de document effectuera le chemin inverse pour retourner aux Archives Nationales du Québec. Cette procédure peut prendre quelques jours.

B.3 Conclusion

Il est impossible d'obtenir des données provenant de la FADQ pouvant servir de vérité terrain pour les images de 1976 et de 1981. En effet, ces données ont été détruites ou n'ont jamais existées. Pour les images de 1987 et de 1990, il est envisageable de recourir aux

données de la FADQ. Toutefois, il existe certaines contraintes à considérer avant d'entamer un tel processus. Tout d'abord, ces informations font parties des données désactivées mais archivées. Il est donc probable que seulement une partie des données soient disponibles pour le bassin versant de la rivière Chaudière. Ensuite, les données pour ces années se retrouvent en format papier et ne contiennent pas ou très peu d'informations pour les géoréférencer. Enfin, il faut considérer le temps qui doit être investi pour mener à bien un tel projet de recherche d'archives. En effet, il est peut-être plus sage d'investir ce temps dans le traitement d'images et de tenter de déterminer par interprétation visuelle les cultures qui sont présentes sur les images que de passer plusieurs semaines à extraire quelques sites de vérité terrain provenant d'archives.

Une solution proposée par M. Mullier est de contacter les centres régionaux sur le bassin en leur demandant de fournir une liste d'agriculteurs qui sont établis au même endroit depuis 1987. Ensuite, il serait possible d'utiliser les données numériques récentes (2002 à 2004) pour établir les limites des champs et il faudrait supposer que celles-ci n'ont pas trop été modifiées à travers le temps. Une fois les champs situés dans l'espace, il faudrait espérer que les données concernant ces agriculteurs aient été conservées aux Archives Nationales. Pour ce faire, il serait absolument nécessaire de commander les caisses complètes des régions concernées et rechercher à travers les documents les agriculteurs qui présentent un intérêt. Puis, on comparerait les croquis avec les formes actuelles des champs et si la correspondance existe, on pourrait associer les données du passé aux formes actuelles. Il serait ainsi possible de créer deux bases de données (1987 et 1990) sur lesquelles s'appuieraient les classifications.

ANNEXE C Évolution temporelle du pourcentage de l'occupation du sol pour les milieux agricoles et forestiers pour chacun des sous bassins versants de la rivière Chaudière

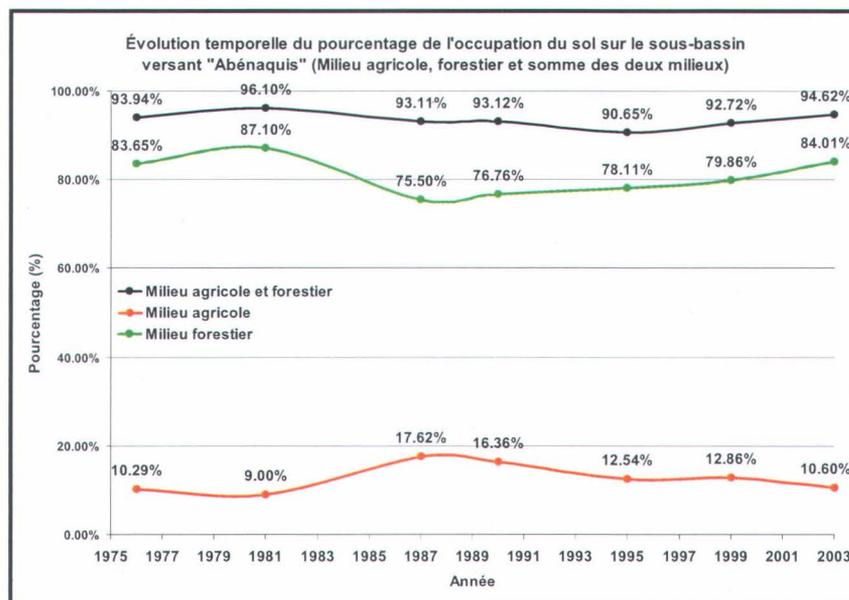


Figure C.1 Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Abénaquis

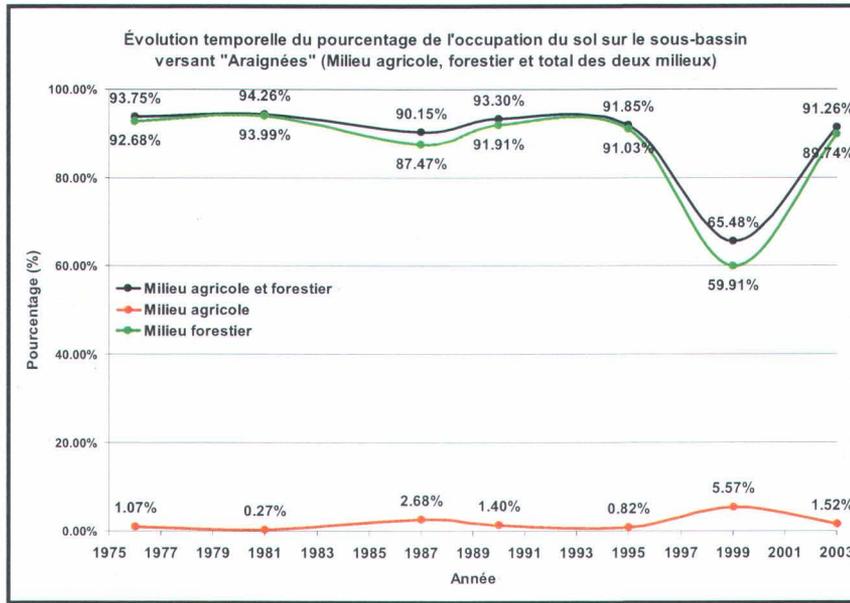


Figure C.2 Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Araignées

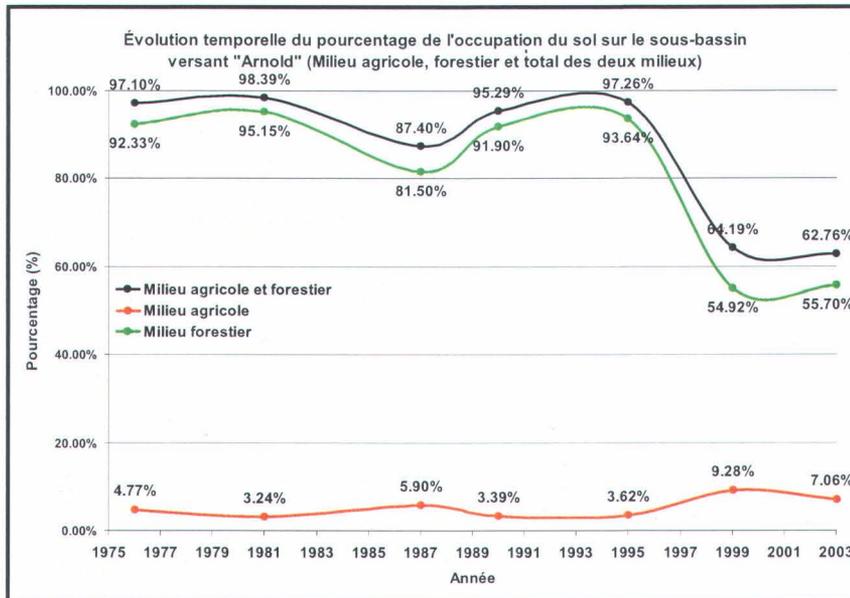


Figure C.3 Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Arnold

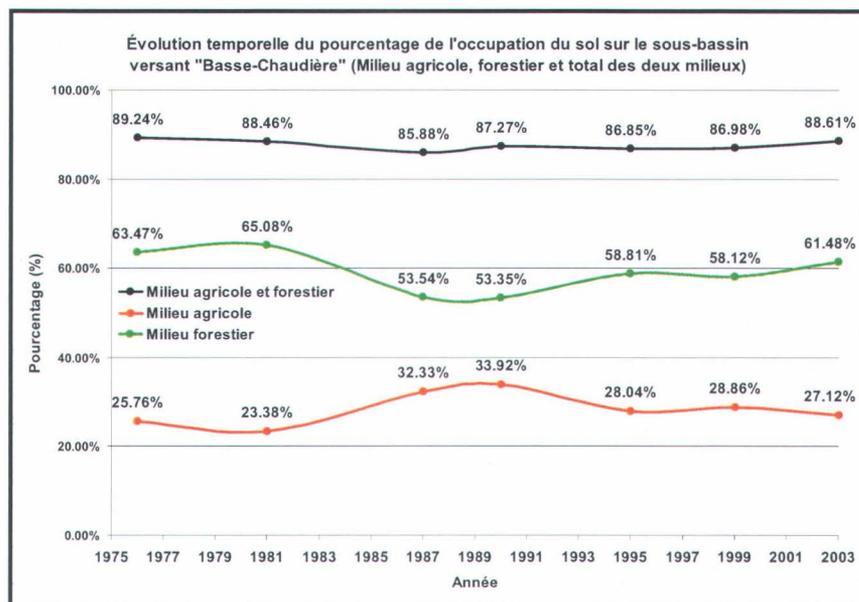


Figure C.4 Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Basse-Chaudière

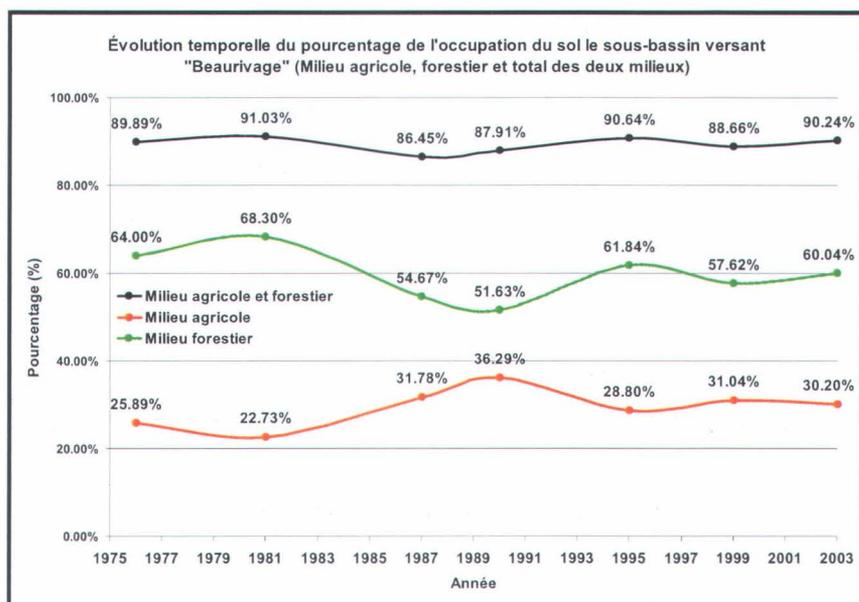


Figure C.5 Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Beaurivage

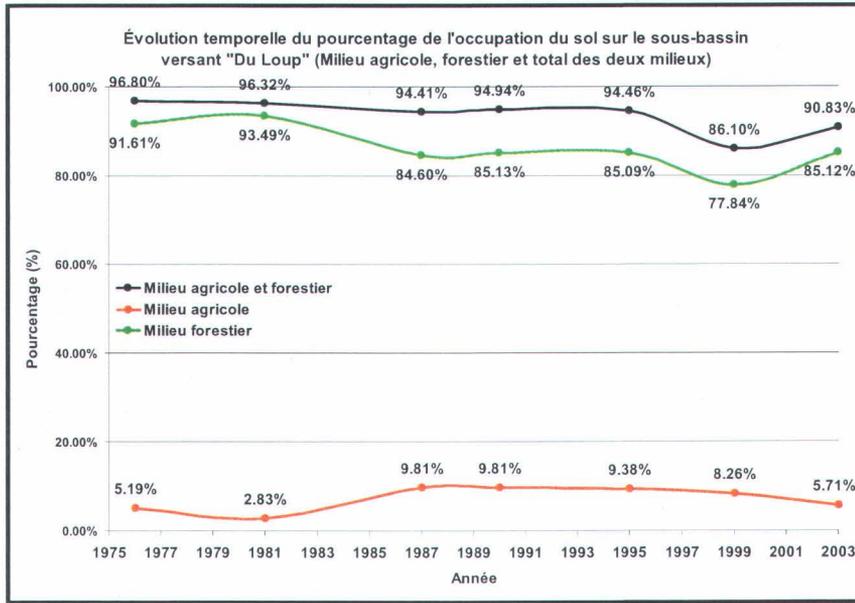


Figure C.6 Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Du Loup

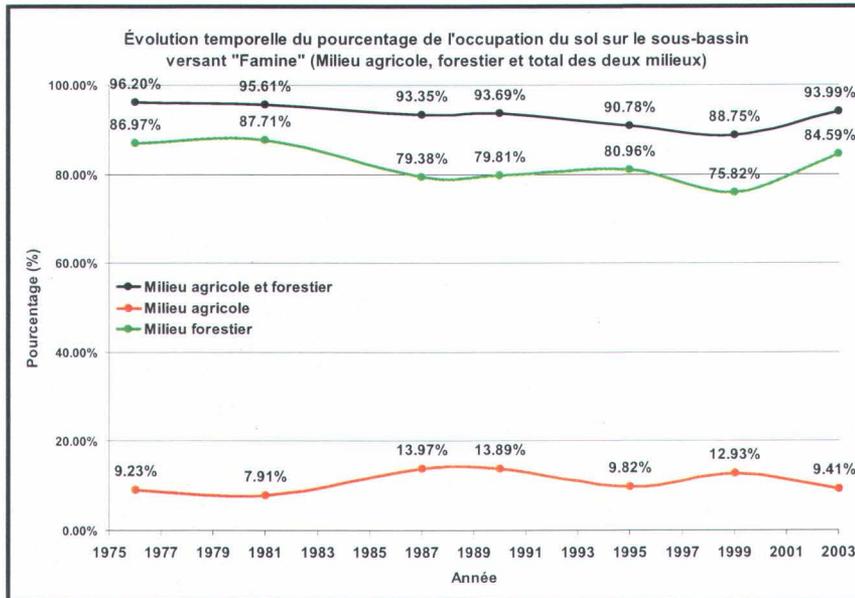


Figure C.7 Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Famine

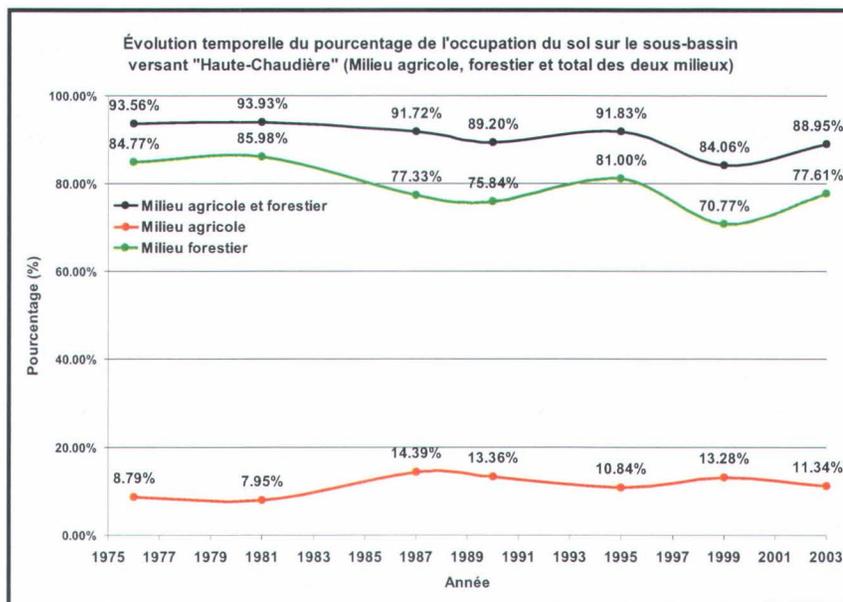


Figure C.8 Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Haute-Chaudière

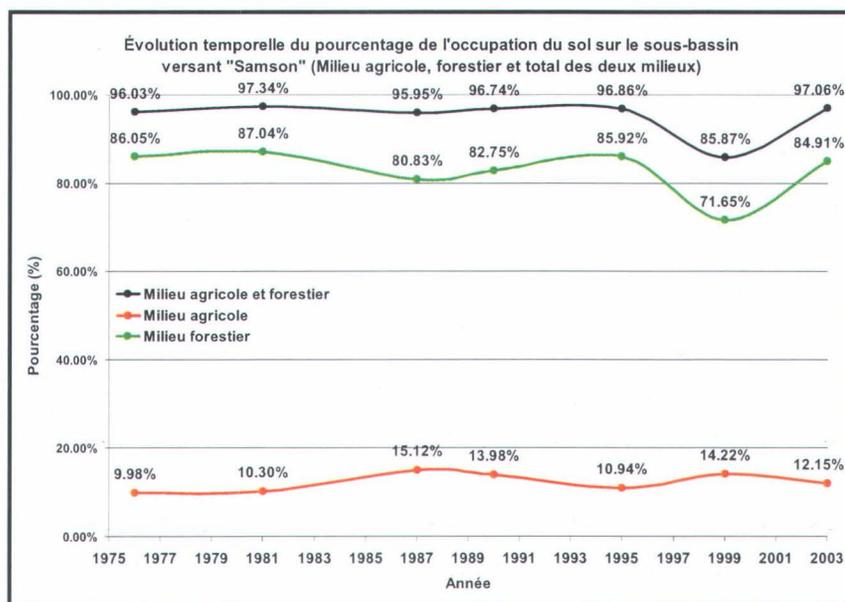


Figure C.9 Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Samson

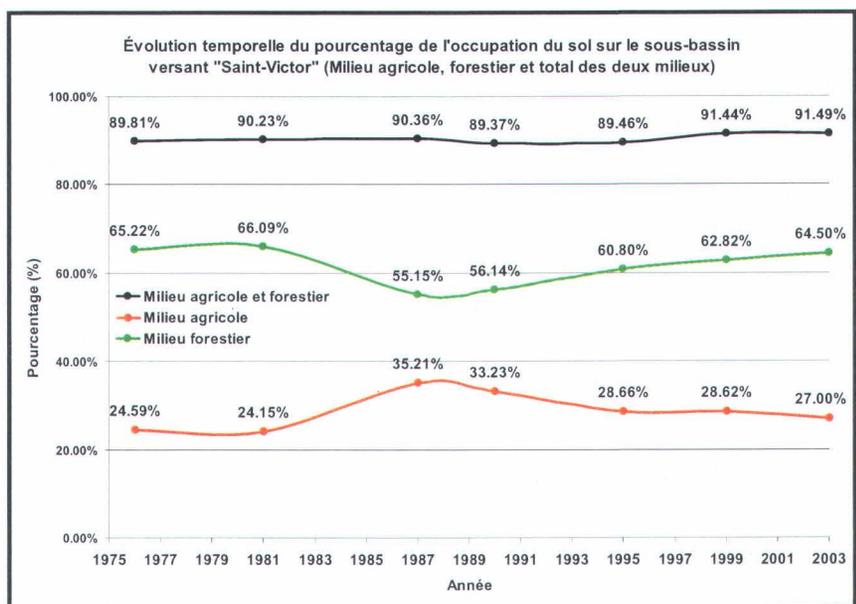


Figure C.10 Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Saint-Victor

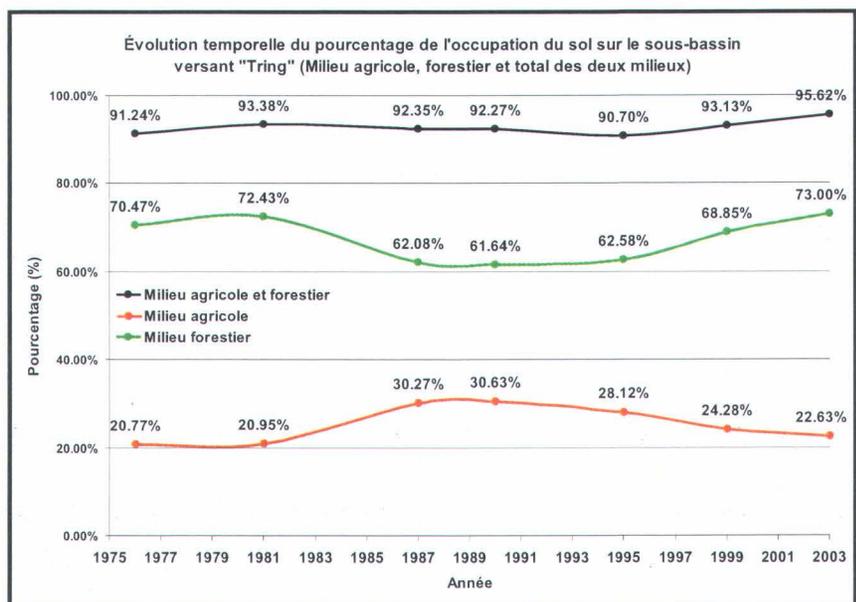


Figure C.11 Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Tring

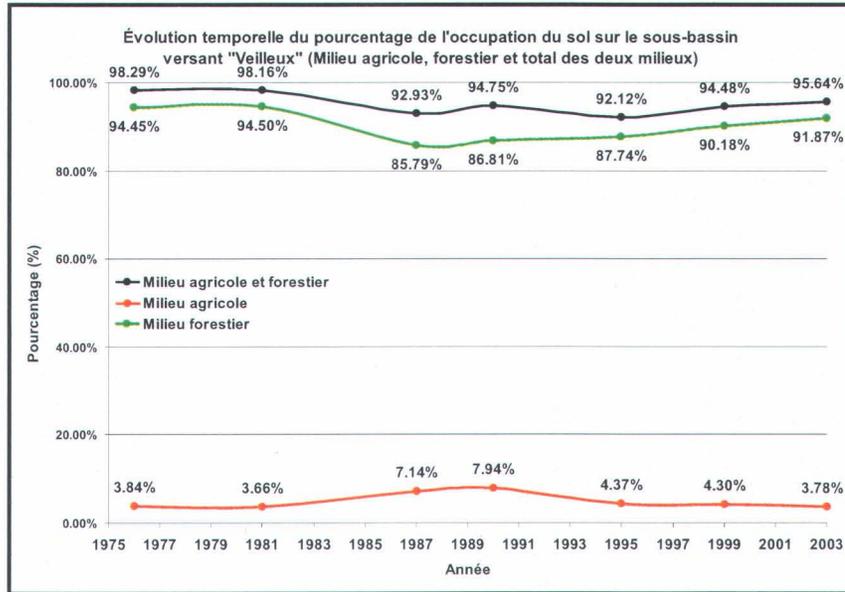


Figure C.12 Évolution de l'occupation du territoire sur le sous-bassin Veilleux