

**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 de recherche No R-802

15 avril 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 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 :
Jean-François 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° 802

15 avril 2005

ISBN : 2-89146-130-4

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	III
LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES TABLEAUX	IX
1 INTRODUCTION	1
2 CONTEXTE DE L'ÉTUDE.....	3
2.1 TERRITOIRE À L'ÉTUDE.....	3
2.2 DONNÉES UTILISÉES.....	5
2.2.1 Images satellitaires.....	6
2.2.2 Autres données	8
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 Transformations radiométriques.....	13
3.1.2 Transformations géométriques.....	14
3.1.3 Autres prétraitements.....	16
3.2 CLASSIFICATIONS	17
3.2.1 Méthodes de classification	17
3.2.2 Résultats qualitatifs de la classification.....	19
3.2.3 Statistiques concernant la carte d'occupation du sol.....	24
3.3 COMPARAISONS	24
4 ANALYSE ET CONCLUSION	29
4.1 ANALYSE	29
4.2 CONCLUSION	31
5 RÉFÉRENCES.....	33

ANNEXE A : SCÈNES ACQUISES.....	35
A.1 SCÈNES BRUTES.....	35
A.2 SCÈNES NON CONFORMES AUX CRITÈRES FIXÉS.....	39
A.2.1 Couverture partielle du bassin versant de la Chaudière.....	39
A.2.2 Scènes affectées par une présence de nuage au-dessus du bassin versant de la Chaudière.....	40
ANNEXE B : CARACTÉRISTIQUES DES CARTES D'OCCUPATION DU SOL DE 1977.....	41
B.1 CARACTÉRISTIQUES CARTOGRAPHIQUES.....	41
B.2 DÉFINITIONS DES DONNÉES THÉMATIQUES CONTENUES DANS LES CARTES D'OCCUPATION DU SOL DU MAPAQ DE 1977 (SOURCE : MAPAQ).....	42
B.2.1 Affectation agricole.....	42
B.2.2 Affectation urbaine et para-urbaine.....	46
B.2.3 Affectation récréative.....	47
B.2.4 Autres affectations.....	48
ANNEXE C : PRÉCISIONS TECHNIQUES CONCERNANT LA CLASSIFICATION.....	51
C.1 CLASSES PRÉ-CLASSIFIÉES.....	51
C.2 PARAMÈTRES DE CLASSIFICATION.....	53
C.3 ZONES D'ENTRAÎNEMENT.....	54
C.3.1 Milieu agricole.....	55
C.3.2 Milieu forestier.....	59
C.3.3 Milieu urbain.....	63
C.4 RÉSULTATS DE LA CLASSIFICATION.....	64
C.5 TRAITEMENTS POST-CLASSIFICATION.....	67
ANNEXE D : DONNÉES DE LA FINANCIÈRE AGRICOLE DU QUÉBEC (FADQ).....	71
D.1 MISE EN CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU PROJET DE L'INRS-ETE.....	71
D.2 PRÉSENTATION DES SOLUTIONS DISPONIBLES À LA FADQ.....	71

D.2.1 Type de données archivées	71
D.2.2 Contenu des données	72
D.2.3 Consulter les données.....	72
D.3 CONCLUSION.....	73



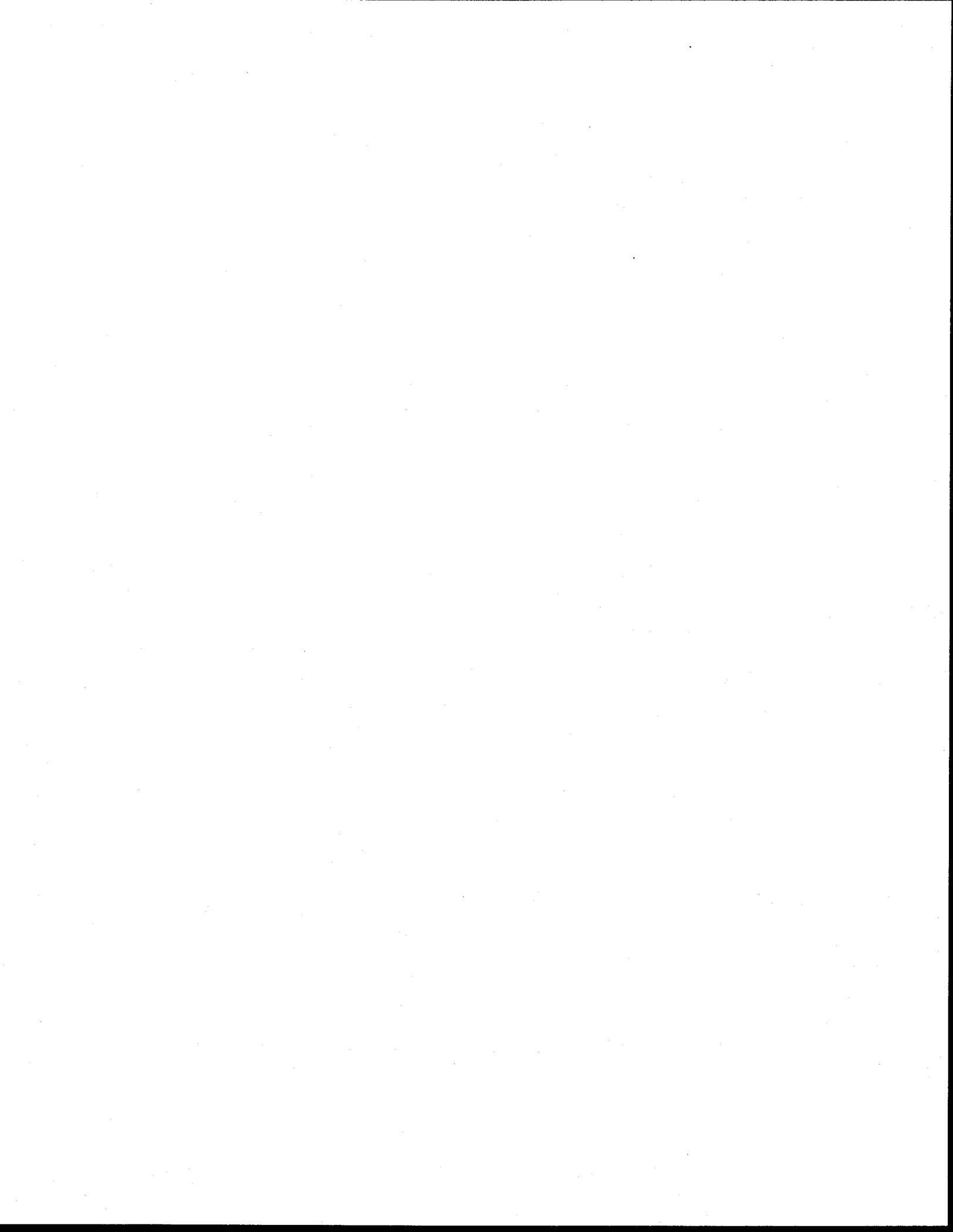
LISTE DES FIGURES

Figure 2.1: Localisation du bassin versant de la rivière Chaudière (tiré de Guillot et al., 2004)..	4
Figure 2.2 : Sous-bassins pour le bassin versant de la rivière Chaudière	5
Figure 2.3 : Un pixel de 80 m (en vert) par rapport à des pixels de 30 m (en rouge).....	11
Figure 3.1 : Ligne de pixel qui présente des anomalies sur l'image de 1976.....	14
Figure 3.2 : Image de 1981 avant et après l'application des autres prétraitements.....	17
Figure 3.3 : Exemple d'une classification suite à la sélection trop vague de zones d'entraînement du milieu urbain (en rose).....	22
Figure 3.4 : Exemple d'une classification avec une bonne sélection de sites d'entraînement pour les zones urbaines (en rose)	22
Figure 3.5 : Carte thématique de l'utilisation du sol pour l'année 1987 obtenue par classification d'image.....	23
Figure A.1 : Image du 4 août 1976	35
Figure A.2 : Image du 14 août 1981	36
Figure A.3 : Image du 6 août 1987	37
Figure A.4 : Image du 29 juillet 1990	38
Figure A.5 : Territoire non couvert par l'image de 1976.....	39
Figure A.6 : Territoire non couvert par l'image de 1987	39
Figure A.7 : Exemple de zones de présence de nuages sur l'image de 1987	40
Figure A.8 : Exemple d'une zone de présence de nuages sur l'image de 1990	40
Figure B.1 : Feuillet 21L11 présentant l'utilisation du sol pour l'année 1977	41
Figure B.2 : Agrandissement d'un feuillet d'utilisation du sol de 1977	42
Figure C.1 : Résultat du seuillage des nuages après filtrage (zones rouges).....	52
Figure C.2 : Image de 1987 sans seuillage.....	53
Figure C.3 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 1, maïs	55
Figure C.4 : Exemple de zones d'entraînement des classes 2 (rouge), 3 (bleu), 4 (turquoise) et 5 (orange).....	56
Figure C.5 : Figure C.4 sans les zones d'entraînement	56
Figure C.6 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 3, champs vert-rose.....	57

Figure C.7 : Figure C.6 sans les zones d'entraînement.....	57
Figure C.8 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 4, champs rose-vert	57
Figure C.9 : Figure C.8 sans les zones d'entraînement.....	57
Figure C.10 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 5, champs rose	58
Figure C.11 : Figure C.10 sans les zones d'entraînement	58
Figure C.12 : Exemple de zones d'entraînement des classes 6 (jaune) et 7 (rouge).....	58
Figure C.13 : Figure C.12 sans les zones d'entraînement	58
Figure C.14 : Exemple de zones d'entraînement des classes 8 (turquoise) et 9 (rouge), conifères et feuillus respectivement	59
Figure C.15 : Figure C.14 sans les zones d'entraînement	59
Figure C.16 : Exemple de zones d'entraînement des classes 8 (turquoise) et 9 (rouge), conifères et feuillus respectivement	60
Figure C.17 : Figure C.16 sans les zones d'entraînement	60
Figure C.18 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 10, friche	61
Figure C.19 : Figure C.18 sans les zones d'entraînement	61
Figure C.20 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 11, milieu humide	62
Figure C.21 : Figure C.20 sans les zones d'entraînement	62
Figure C.22 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 12 (rouge), urbain	63
Figure C.23 : Figure C.22 sans les zones d'entraînement	63
Figure C.24 : Résultat de la classification (12 classes)	65
Figure C.25 : Exemple d'une erreur probable de classification concernant les zones urbaines.	66
Figure C.26 : Image classifiée sans filtre.....	68
Figure C.27 : Classification filtrée avec un filtre modal 3 x 3.....	69
Figure C.28 : Classification filtrée avec un filtre modal 5 x 5.....	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Images acquises dans le cadre du projet.....	7
Tableau 2.2 : Résolution spatiale de chaque image.....	10
Tableau 3.1 : Classes d'occupation utilisées dans GIBSI	19
Tableau 3.2 : Statistiques de la carte d'occupation du sol par classes thématiques.....	24
Tableau 3.3 : Comparaisons des superficies pour chaque classe d'occupation.....	26
Tableau 3.4 : Comparaison des proportions de l'occupation du territoire	26
Tableau 3.5 : Comparaison des superficies de territoires agricoles.....	27
Tableau C.1 : Paramètres de seuillage pour créer la classe « Eau »	51
Tableau C.2 : Paramètres de seuillage pour créer la classe « Nuages »	52
Tableau C.3 : Classes thématiques utilisées pour la classification	54
Tableau C.4 : Statistiques qualitatives de la classification de l'image de 1987	64
Tableau C.5 : Matrice de confusion de la classification de l'image de 1987 (%).....	64
Tableau C.6 : Association des classes issues de la classification avec celles de GIBSI	67
Tableau C.7 : Proportion de la superficie des occupations sur le territoire suite à l'application de filtres	68



1 INTRODUCTION

Aux 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 d'une partie 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 2000 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 d'images effectuées, particulièrement sur l'image de 1987, suivit d'une analyse et d'une conclusion où des recommandations sont émises.

2 CONTEXTE DE L'ÉTUDE

2.1 TERRITOIRE À L'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 1994 (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.

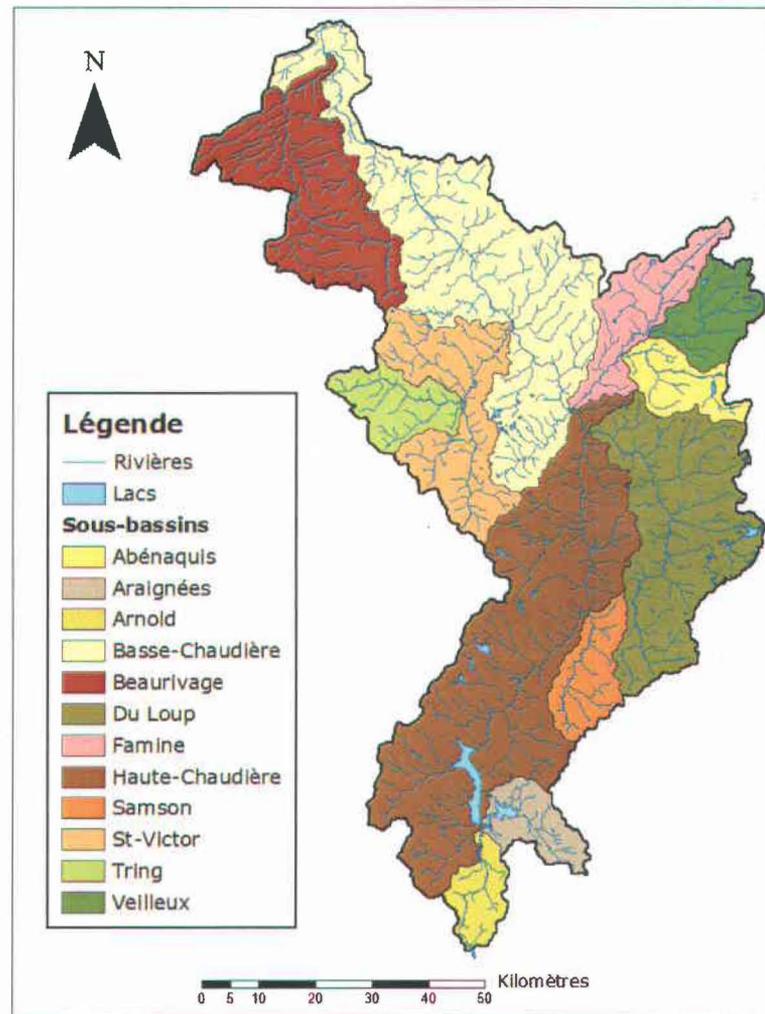


Figure 2.2 : Sous-bassins pour le bassin versant de la rivière Chaudière

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, il y a des images satellitaires, des cartes d'occupation du sol et différents rapports. La section qui suit expose ces sources d'information.

2.2.1 Images satellitaires

L'analyse des images satellitaires permettra de détecter des changements d'utilisation du sol sur le bassin de la Chaudière à divers moments durant les 30 dernières années l'occupation du sol.

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 2000 (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 période 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 août. 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 être respectés lors du choix des images. Le premier est que la scène couvre la totalité de la superficie du bassin. Le second consiste à ce que la couverture nuageuse soit minimale pour que l'analyse de l'image soit possible. 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	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+

Il est important de noter que l'image de 1995 et celle de 1999 sont issues de travaux antérieurs au projet FACC. Ces images ont déjà été classifiées et il est donc envisageable de les utiliser dans le contexte du projet.

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 et celle de 1987 n'affichent pas une couverture entière du bassin. D'autre part, les images de 1987 et de 1990 présentent quelques nuages au-dessus du bassin (moins de 10% de la superficie). L'annexe A montre en détail les scènes acquises.

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

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

³ <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/>

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 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. Enfin 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.

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. Elles pourront donc être utilisées pour la classification de la scène de 1976. On retrouve à l'annexe B, 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 D 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 dont l'on possède les images (1976, 1981, 1987 et 1990). 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 devenu 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 peuvent prendre leur origine des différences de caractéristiques entre les capteurs. Ainsi, les scènes ne possèdent pas toutes les mêmes résolutions spatiales. C'est-à-dire que les pixels qui forment les images représentent des distances sur le terrain qui ne sont

pas identiques entre les capteurs (tableau 2.2). Cette situation peut affecter le projet de diverses manières.

Tableau 2.2 : Résolution spatiale de chaque image

Date d'acquisition	Capteur	Résolutions spatiales des bandes du visible, proche infrarouge et moyen infrarouge (m)
4 août 1976	Landsat-2 MSS	80
14 août 1981	Landsat-2 MSS	80
6 août 1987	Landsat-5 TM	30
29 juillet 1990	Landsat-5 TM	30
28 août 1995	Landsat-5 TM	30
14 juillet 1999	Landsat-7 ETM+	30

En premier lieu, le résultat des classifications est intimement relié 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.

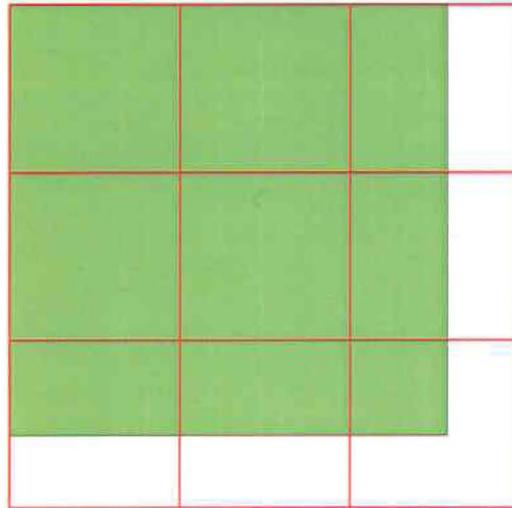


Figure 2.3 : Un pixel de 80 m (en vert) par rapport à des pixels de 30 m (en rouge)

En second lieu, la différence de dimension des pixels 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 une résolution commune si l'on veut appliquer des analyses spatiales de comparaison sur les images. Cette opération de rééchantillonnage peut entraîner des déplacements de pixels 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 diffèrent 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. Nonobstant l'amélioration de la résolution spatiale, la qualité des images satellitaires s'est beaucoup appréciée depuis trente ans. Cette évolution permet une plus grande flexibilité lors des classifications, ce qui augmente leur fiabilité.

Le peu d'information terrain disponible complexifie 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. 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 des étapes sont abordées 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 détériorent 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.

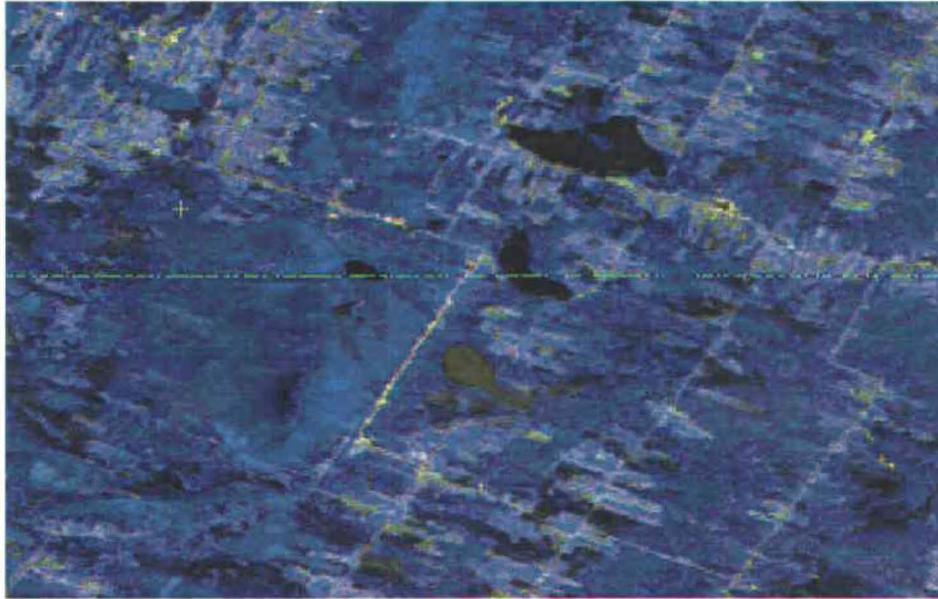


Figure 3.1 : Ligne de pixel qui présente des anomalies sur l'image de 1976

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 18 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). 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 quatre 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.

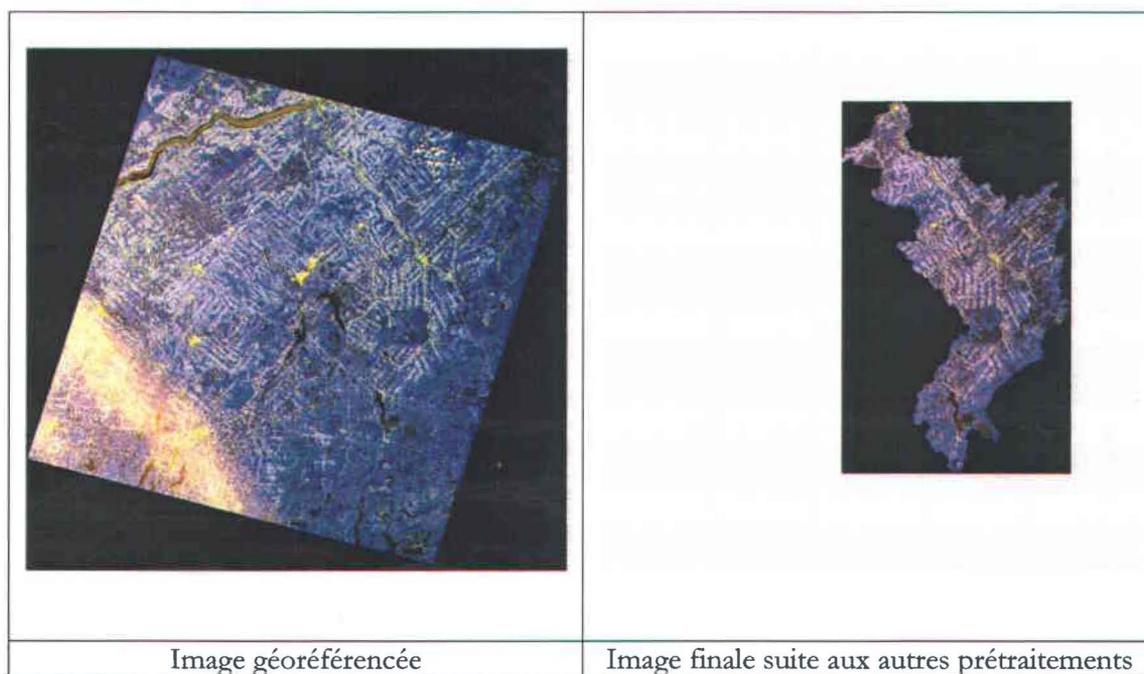


Figure 3.2 : Image de 1981 avant et après l'application des autres prétraitements

3.2 CLASSIFICATIONS

Le processus de classification a été appliqué uniquement sur l'image de 1987. Le savoir faire et les connaissances diffusés dans ce rapport ont donc pour objectif de guider les futures classifications des images de 1976, 1981 et 1990. Cette section aborde de façon générale la méthode de classification employée, les problèmes rencontrés et les résultats obtenus.

3.2.1 Méthodes de classification

Plusieurs méthodes de classification ont été employées et évaluées sur la scène de 1987. L'idée initiale était d'utiliser en premier lieu une méthode de classification non dirigée pour ensuite mettre à profit les informations obtenues pour réaliser une classification selon une méthode dirigée. Ainsi, de nombreux tests de classification non dirigée ont été réalisés en utilisant divers algorithmes classificateurs (Isodata, Fuzzy K-Means, K-Means) et en faisant varier leurs paramètres. Malheureusement, les résultats de ces tests se sont avérés non concluants. Dans le contexte du projet, le principal problème engendré par l'utilisation de la méthode de classification non dirigée provient de la difficulté d'obtenir une différenciation au niveau du territoire agricole. En se basant uniquement sur les statistiques spectrales des pixels pour créer

des classes, les classificateurs de cette méthode semblent moins sensibles aux variations radiométriques des différentes cultures qu'aux variations observées sur d'autres types d'utilisation. En effet, cette méthode a affiché un éventail de classes caractérisant le couvert forestier, de même que le milieu urbain, ce qui n'était pas utile à nos travaux. Après maints essais, il a été décidé d'abandonner la méthode de classification non dirigée pour se concentrer sur la possibilité d'employer une méthode dirigée.

L'utilisation d'une méthode de classification dirigée pour classifier la scène de 1987 présente une contrainte particulière, celle de ne pas posséder de connaissance fiable a priori de l'utilisation du sol pour cette année. Il faut donc s'appuyer sur une interprétation visuelle de l'image et sur le savoir faire développé lors des travaux de Gauthier (1996). L'algorithme de classification choisie est celui du maximum de vraisemblance. Caloz et Collet (2001 : 303) décrivent cette méthode comme :

« ... la méthode de classification la plus aboutie, car elle s'appuie sur des considérations théoriques approfondies. Développée pour un grand nombre de situations étrangères au traitement d'images, elle cherche à estimer la probabilité d'occurrence d'un événement en faisant intervenir toutes les connaissances que nous possédons a priori à son sujet. C'est l'approche bayésienne des probabilités. »

L'utilisation de l'algorithme de maximum de vraisemblance s'inscrit dans un cheminement classique de classification dirigée. Tout d'abord, les définitions de classes thématiques sont établies. Dans ce cas-ci, les classes recherchées sont celles utilisées dans GIBSI (tableau 3.1). Par la suite, des zones d'entraînement sont déterminées à l'aide des connaissances a priori du territoire. Cette connaissance est nommé vérité terrain. Comme mentionné plus haut, dans le 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 Chaudière. Les zones d'entraînement sont ensuite caractérisées par une signature spectrale propre. Enfin, la scène est classifiée selon la règle de décision choisie, l'algorithme du maximum de vraisemblance et les zones d'entraînement établies.

Tableau 3.1 : Classes d'occupation 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 arbustive
9	Feuillus
10	Conifères

3.2.2 Résultats qualitatifs de la classification

Les détails techniques entourant la classification de l'image de 1987 sont présentés à l'annexe C. La section suivante résume le résultat de la classification pour chaque utilisation du sol et elle dévoile la carte thématique finale obtenue.

Milieu agricole :

La classification des occupations qui caractérisent le milieu agricole s'est avérée assez complexe. Les différentes cultures qui occupent les champs sont passablement difficiles à discriminer entre elles à partir de l'image satellite.

Les cultures de trèfle, de luzerne et de mil qui constituent généralement des pâturages dans un cycle de rotation des cultures ou des pâturages permanents possèdent une signature spectrale distinctive par rapport aux autres cultures. Ainsi, dans un composé couleur 3, 4, 5, (bleu = 3, vert = 4 et rouge = 5) ces occupations prennent une couleur vert fluo (voir figures C.4 et C.5).

Selon les observations fournies par Gauthier (1996), le maïs présente une couleur émeraude lorsque l'image est affichée selon un composé couleur 3, 4, 5. Les zones d'entraînement du

mais ont été sélectionnées à partir de ces informations (voir figures C.3). Les champs de cette couleur ont été retrouvés majoritairement dans la section de la basse chaudière.

L'identification des champs de céréales a posée la plus grande difficulté. Ceux-ci sont généralement composés de blé, d'avoine, d'orge ou un mélange de ces trois cultures. Gauthier (1996) indique que les champs de céréales sont identifiables sur un composé couleur 3, 4, 5 par des couleurs jaunes, orangés ou verts rougeâtres, l'activité chlorophyllienne de ces cultures étant moins forte par rapport aux autres. Cependant, sur l'image de 1987, il ne semble pas y avoir d'occupations qui affichent ces deux premières couleurs. Le fait que les images de 1987 et 1995 aient été acquises dans deux périodes différentes dans le stade végétatif explique peut-être cette absence. Ainsi, les champs non identifiés jusqu'à maintenant présentent des couleurs s'étendant du vert teinté de rose au rose uniforme de même que des teintes de mauve, de pâle à foncé. Ceux présentant des teintes de mauve traduisent possiblement la présence de sol nu, les nuances de couleur provenant de la teneur en eau des sols (voir figures C.12 et C.13). Il apparaît donc que les champs de céréales possèdent des couleurs de vert teinté rose à un rose uniforme. Il est donc déterminé que les champs vert-rose (voir figures C.6 et C.7) sont des céréales et probablement les mêmes cultures que Gauthier (1996) avait décrit comme vert-rougeâtre. Les champs de couleur rose uniforme présentent une texture lisse et une couleur bien définie, ce qui laisse présager qu'il s'agit d'une culture de céréales (voir figures C.10 et C.11). Enfin, les zones agricoles restantes possèdent une couleur rose avec des nuances de vert. L'aspect inégal et irrégulier de ces champs (voir figures C.8 et C.9) rend douteuse la possibilité d'une occupation de culture de céréales. Il est supposé que ces champs sont plutôt des pâturages naturels ou négligés. Cette interprétation est subjective et il est impossible de la confirmer étant donné l'absence de vérité terrain pour l'année 1987.

Milieu forestier :

La couverture forestière a été divisée en deux grandes classes : la forêt à dominance de conifères et celles à dominance de feuillus. Cette segmentation s'appuie sur les classes thématiques utilisées dans GIBSI. La distinction visuelle de ces deux classes peut être observée en fonction des nuances de vert dans le composé couleur 3, 4, 5. Les conifères apparaissent en vert foncé, alors que les feuillus se révèlent vert pâle (voir figures C.14 à C.17). La définition

de classes n'intègre pas la possibilité d'un couvert mixte, il s'agit soit de conifères, soit de feuillus.

Les zones de friches s'avèrent plus difficilement identifiables que le couvert forestier. En effet, la couleur vert brunâtre associée à cette utilisation par Gauthier (1996) n'apparaît pas de façon claire sur l'image de 1987. De plus, la définition de friche est assez vague selon les informations présentes dans les travaux antérieurs. À quel moment un groupe d'arbre 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 discriminer de manière fiable les friches. Dans l'image de 1987, ce sont davantage les friches herbacées ou partiellement arbustives qui semble 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 (voir figures C.18 et C.19).

Les milieux humides sont quant à eux identifiés sans difficulté. Comme l'observe Gauthier (1996), cette occupation présentent une couleur bleu-gris s'approchant à l'occasion du violet (voir figures C.20 et C.21).

Milieu urbain :

Visuellement, les zones urbaines sont aisément distinguables par leurs formes, leur couleur violet-bleu et leurs localisations géographiques. Toutefois, la classification de ce milieu est plus complexe. En effet, les zones urbaines sont hétérogènes et contiennent souvent d'autres types d'utilisation (végétation, arbres, milieu humide, eau, etc.). La sélection des sites d'entraînement doit être concentrée sur les éléments caractérisant le milieu urbain soit les routes, les bâtiments, les surfaces asphaltées, etc. Dans le cas contraire, une classification inexacte risque d'être engendrée (figures 3.3. et 3.4).

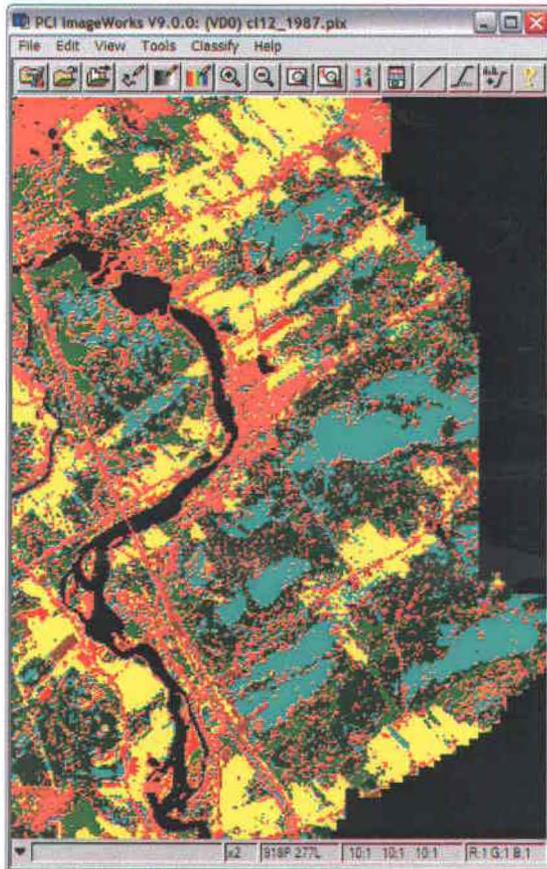


Figure 3.3 : Exemple d'une classification suite à la sélection trop vague de zones d'entraînement du milieu urbain (en rose)



Figure 3.4 : Exemple d'une classification avec une bonne sélection de sites d'entraînement pour les zones urbaines (en rose)

Carte thématique de l'occupation du sol pour l'année 1987 :

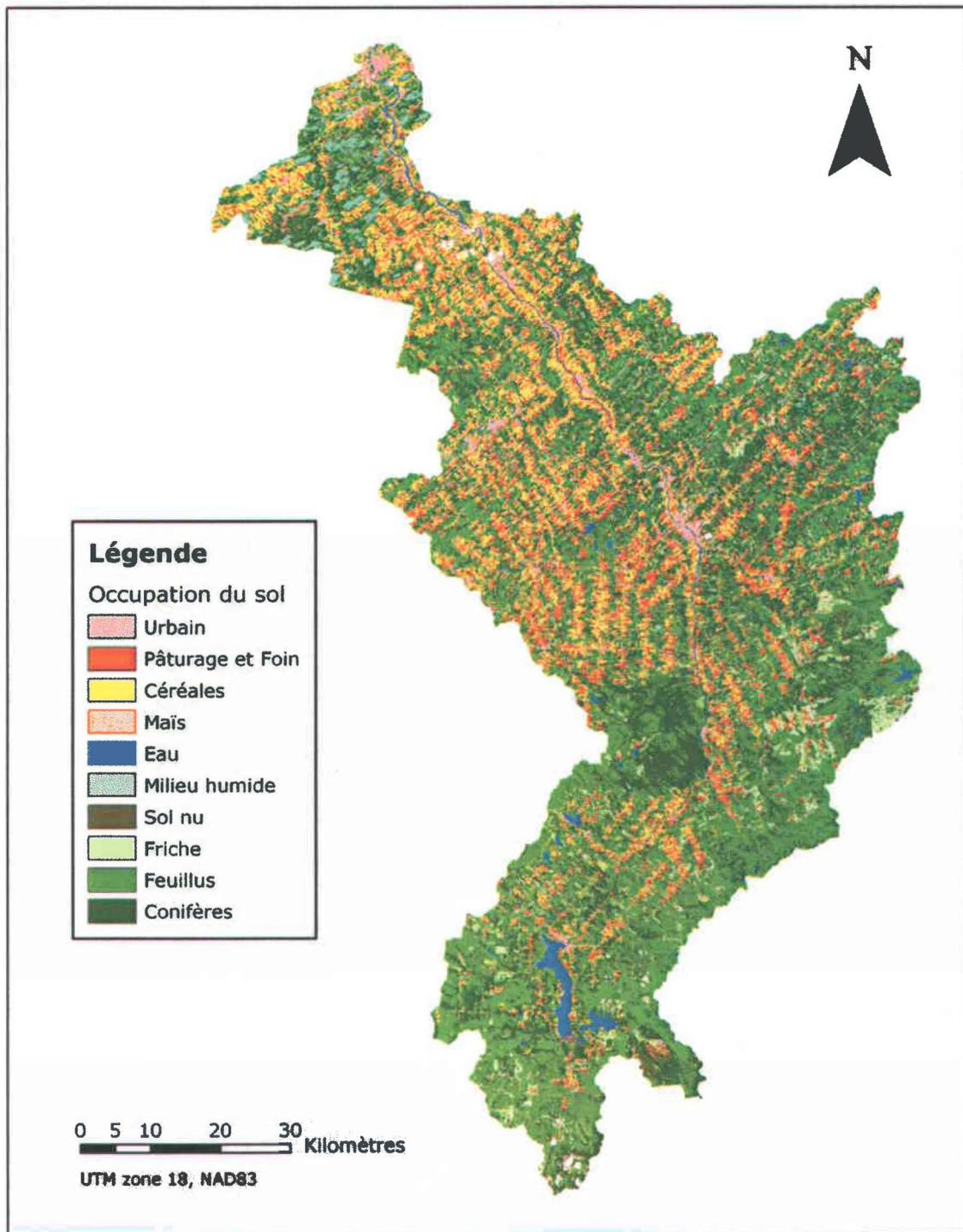


Figure 3.5 : Carte thématique de l'utilisation du sol pour l'année 1987 obtenue par classification d'image

3.2.3 Statistiques concernant la carte d'occupation du sol

Tableau 3.2 : Statistiques de la carte d'occupation du sol par classes thématiques

Classes thématiques	Superficie (ha)	% du territoire
Urbain	31 645	4,8
Pâturage et foin	80 986	12,3
Céréales	68 170	10,3
Maïs	4 651	0,7
Eau	9 251	1,4
Milieu humide	37 126	5,6
Sol nu	17 866	2,7
Friche arbustive	32 617	4,9
Feuillus	185 777	28,2
Conifères	191 918	29,1

3.3 COMPARAISONS

Au moment d'écrire ce rapport, l'étape de comparaison n'a pas encore été approfondie de façon rigoureuse. Il faut donc considérer les chiffres présentés plus bas comme des résultats préliminaires. De plus, les quelques comparaisons effectuées se situent seulement au niveau qualitatif. Aucune analyse spatiale n'a été réalisée.

Plusieurs remarques doivent être apportées à propos des comparaisons des statistiques de la carte d'occupation de l'année 1987 avec celles provenant des autres sources de données : le rapport de Villeneuve et al. (1998) et le rapport de Poulin (2001).

La carte d'occupation du sol de 1987 possède des caractéristiques propres qui ont un impact direct sur le calcul de superficie des classes thématiques. Comme mentionné plus haut, cette image est affectée par la présence de quelques nuages au-dessus du bassin. De plus, la scène ne couvre pas la totalité du bassin : une petite partie du sous-bassin versant de la Beurivage n'étant pas incluse dans celle-ci. Ces deux facteurs font en sorte que la superficie du bassin sur l'image

de 1987 est de 6 600 km², soit 80 km² de moins que l'aire réelle du bassin versant de la Chaudière.

Ensuite, 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 rapport de Villeneuve et al. (1998), deux sources de données différentes peuvent être comparées avec les statistiques de la carte d'occupation du sol créée pour l'année 1987. Premièrement, il est possible d'évaluer les résultats de 1987 par rapport à la carte d'occupation issue de la classification de l'image de 1995. Évidemment, la comparaison de ces deux résultats consiste 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 deux sources. Il est à noter la présence de quelques incohérences entre les chiffres fournis dans le texte et les données du tableau 4.6 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 ($790/668\ 000 = 0,0012$) 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. Deuxièmement, 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.

Tableau 3.3 : Comparaisons des superficies pour chaque classe d'occupation

Classes thématiques	Superficie en hectares		
	Classification 1987	Carte d'occupation 1995	Données MAPAQ (année)
Urbain	31 645	24 182	
Pâturage et foin	80 986	75 284	45 400 (1994)
Céréales	68 170	25 184	8700 (1994)
Maïs	4 651	2138	1733 ¹ (1994)
Eau	9 251	11 289	
Milieu humide	37 126	14 896	
Sol nu	17 866	14 028	
Friche arbustive	32 617	85 103	16 600 (1989)
Feuillus	185 777	267 200	
Conifères	191 918	148 697	

Tableau 3.4 : Comparaison des proportions de l'occupation du territoire

Classes thématiques	% du territoire	
	Classification 1987	Carte d'occupation 1995
Urbain	4,8	3,6
Pâturage et foin	12,8	11,3
Céréales	10,3	3,8
Maïs	0,7	0,3
Eau	1,4	1,7
Milieu humide	5,6	2,2
Sol nu	2,7	2,1
Friche arbustive	4,9	12,7
Feuillus	28,3	40,0
Conifères	29,1	22,3

¹ Données pour 5 municipalités : St-Bernard, St-Elzéard, St-Narcisse, St-Patrice, Ste-Marie, St-Victor.

Tableau 3.5 : Comparaison des superficies de territoires agricoles

Classes	Superficie en hectares		
	Classification 1987	Carte d'occupation 1995	Données pour l'année 1986 provenant de Poulin (2001) ¹
Somme des occupations agricoles	153 807	102 606	≈ 110 000

¹ Donnée interpolée à partir d'un graphique dans Poulin (2001)



4 ANALYSE ET CONCLUSION

Ce chapitre est divisé en deux sections distinctes. En premier lieu, on retrouve une courte analyse concernant le processus de classification et l'étape de comparaison des résultats. En second lieu, la conclusion a pour but de résumer les réalisations, diffuser les résultats obtenus et faire part de recommandations pour la poursuite du projet.

4.1 ANALYSE

L'évaluation de la précision de la classification de l'image de 1987 présente d'excellents résultats. En effet, l'indice Kappa est supérieur à 91% tandis que la précision moyenne se chiffre à plus de 89%. L'étude de la matrice de confusion révèle que parmi les 12 thématiques avec des sites d'entraînement (voir Annexe C), les classes « urbain », « maïs », « pâturage amélioré (trèfle, luzerne, mil) », « milieu humide », « friche », « feuillus » et « conifères » sont discriminées avec un haut niveau de précision. Par contre, les classes définissant des champs de céréales et des pâturages négligés affichent une certaine confusion entre elles. De la même façon, les deux classes associées ultérieurement au sol nu se chevauchent légèrement.

Il est important de mettre en perspective ces résultats de classification. En effet, le calcul des indices de qualité s'effectue à l'aide des sites d'entraînement. Ainsi, ces indices révèlent la précision selon laquelle les zones d'entraînement utilisées pour établir les propriétés des classes se retrouvent effectivement associées à ces classes. Il serait plus rigoureux 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. Malheureusement, pour l'image de 1987, on ne possède pas de vérité terrain, ce qui rend impossible l'établissement de zones de validation.

En ce qui concerne les statistiques de superficies des occupations qui servent aux comparaisons, deux facteurs pouvant affecter celles-ci méritent d'être soulignés. Le premier élément réfère à l'état de l'image avant classification. Comme c'est le cas pour la scène de 1987, une présence de nuages et une couverture non complète du bassin influencent

directement les statistiques de superficies totales des utilisations. Cette situation doit être considérée lors des analyses comparatives. Le second facteur qui affecte l'étendue surfacique des classes thématiques découle de l'utilisation des filtres. L'emploi d'un filtre modal par Gauthier (1996) semble justifier car il permet d'éliminer les pixels seuls qui brulent l'image en prenant la valeur de la classe la plus fréquente parmi les pixels qui l'entourent. Ce choix est donc répété dans le contexte actuel du projet. Toutefois, il faut s'interroger sur la dimension de la fenêtre de filtrage à appliquer. Gauthier (1996) a utilisé une fenêtre de filtrage de dimension 5 pixels par 5 pixels. Concrètement, il s'agit de considérer les occupations voisines d'un pixel, dans un rayon de 75 m (pour des pixels de 30 m), pour définir celui-ci. L'emploi d'un tel filtre transforme l'image considérablement et élimine une forte proportion des occupations qui sont représentées sur l'image de façon plus fine. L'annexe C présente un tableau comparatif entre l'application d'un filtre 3x3 et un 5x5 et des figures illustrant ces différences. La classe « urbain » est particulièrement affectée par ce changement de dimension. Cela s'explique par la nature de cette classe qui contient beaucoup de pixels regroupés en formes linéaires (le réseau routier) et qui sont perdus suite à l'application d'un filtre modal 5 par 5. En résumé, il semble plus approprié de filtrer la classification avec un filtre modal dont la dimension de la fenêtre est de 3 pixels par 3 pixels.

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.

4.2 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 2000. Le présent rapport fait état de l'avancement de ces travaux en présentant les différentes étapes réalisées et un processus de classification appliqué à l'image de 1987. Ainsi, la recherche d'information pour l'obtention d'une vérité terrain a été réalisée. Les étapes de prétraitements sur les images de 1976, de 1981, de 1987 et de 1990 ont ensuite été complétées. L'image de 1987 a été classifiée. Puis, une carte d'occupation du sol pour cette année a été créée. Enfin, l'étape des comparaisons a été entamée.

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 pourront 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. 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.

Ensuite, des prétraitements ont été appliqués aux quatre scènes. Les images de 1976 et 1990 ont été restaurées radiométriquement afin de corriger des lignes de pixels affichant des valeurs erronées. Puis, les quatre scènes 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.

La classification de l'image de 1987 a été effectuée avec la méthode du maximum de vraisemblance. Elle a été réalisée sans vérité terrain et en s'appuyant sur une interprétation visuelle et des informations textuels provenant du rapport de Gauthier (1996). Les résultats

obtenus s'avèrent excellents. Néanmoins, il faut considérer l'absence de données de validation, ce qui ne permet pas d'évaluer de manière totalement objective la précision de la classification.

Quelques comparaisons quantitatives ont été réalisées jusqu'à maintenant sur la carte d'utilisation de 1987, mais il est difficile de juger des résultats étant donné le manque de données comparatives fiables. Plusieurs facteurs doivent être considérés lors des comparaisons, comme il a été souligné dans la section 4.1. Malgré cela, les ordres de grandeurs obtenus des statistiques de la carte d'occupation du sol, issue de la classification, semblent assez bien respectés dans l'ensemble. Seules les superficies agricoles apparaissent légèrement surestimées aux dépens des superficies en friches.

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. Le rapport de Gauthier (1996) s'est avéré utile comme source d'information. Le présent document vise aussi à devenir une référence pour les classifications des autres scènes.

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. Toutefois, l'image de 1990 paraît présenter un très léger voile brumeux au-dessus de la basse Chaudière (voir figure A.8). Il serait important de s'assurer que ce phénomène n'affecte pas la classification et si c'est le cas, des corrections atmosphériques devraient être exécutées.

Enfin, pour plusieurs raisons, les comparaisons des cartes d'occupations demeurent l'étape la plus problématique dans le cadre du projet. D'abord, du fait qu'il n'existe pas de sources de données fiables et standardisées avec lesquelles on peut comparer les résultats des classifications. Puis, les analyses spatiales devront relever le défi créé par la comparaison d'images issues de capteurs différents. Le choix de la méthode d'analyse spatiale et l'interprétation des résultats devront donc être effectués avec prudence.

5 RÉFÉRENCES

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

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 : SCÈNES ACQUISES

A.1 SCÈNES BRUTES

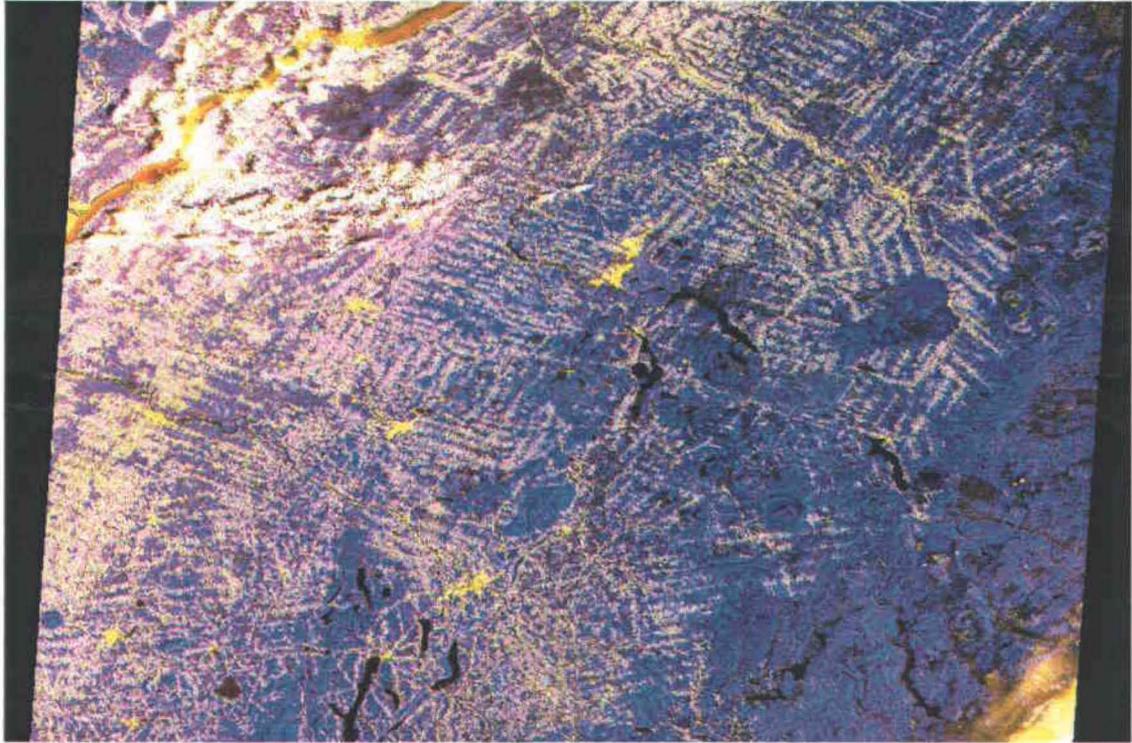


Figure A.1 : Image du 4 août 1976

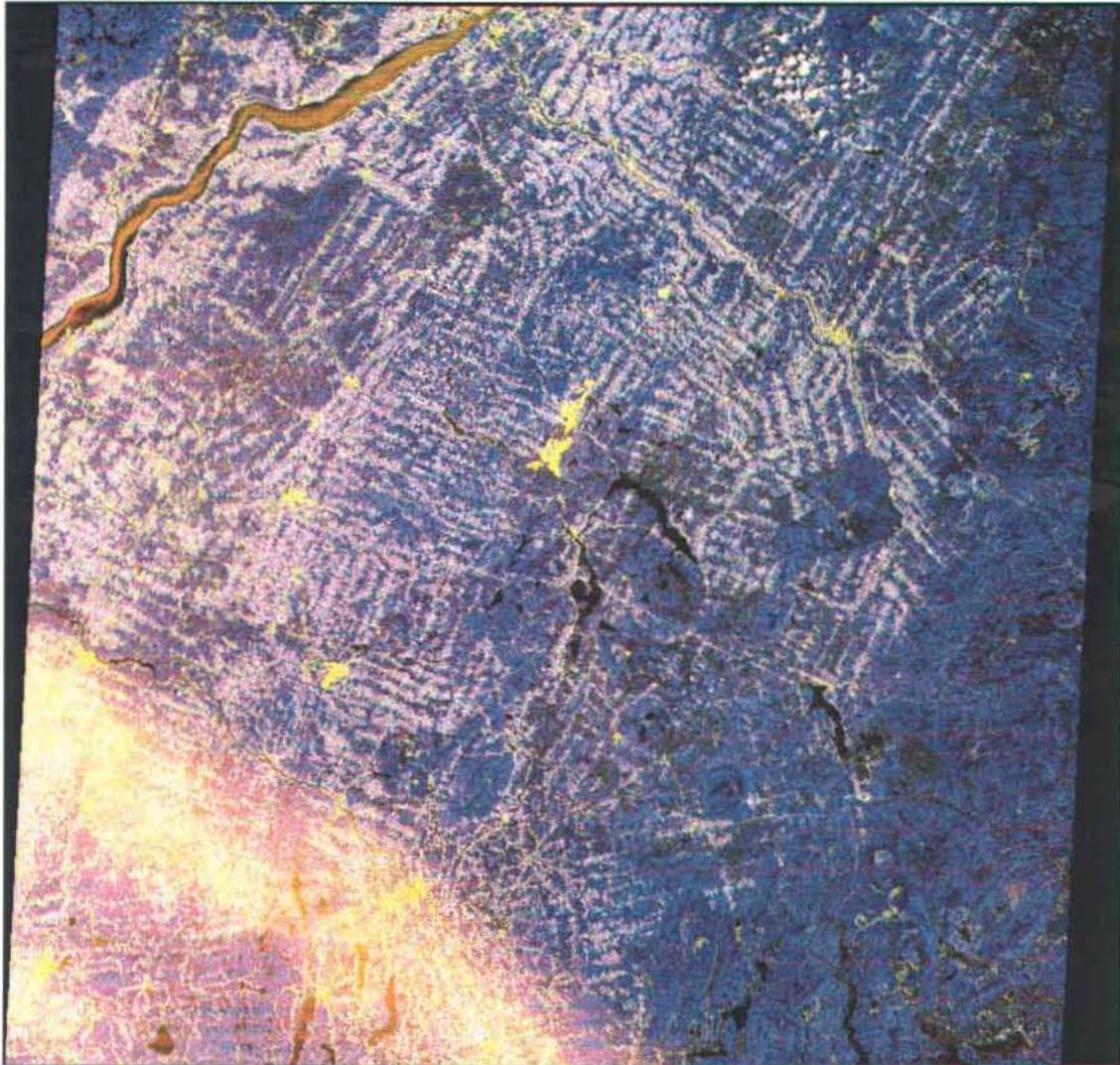


Figure A.2 : Image du 14 août 1981

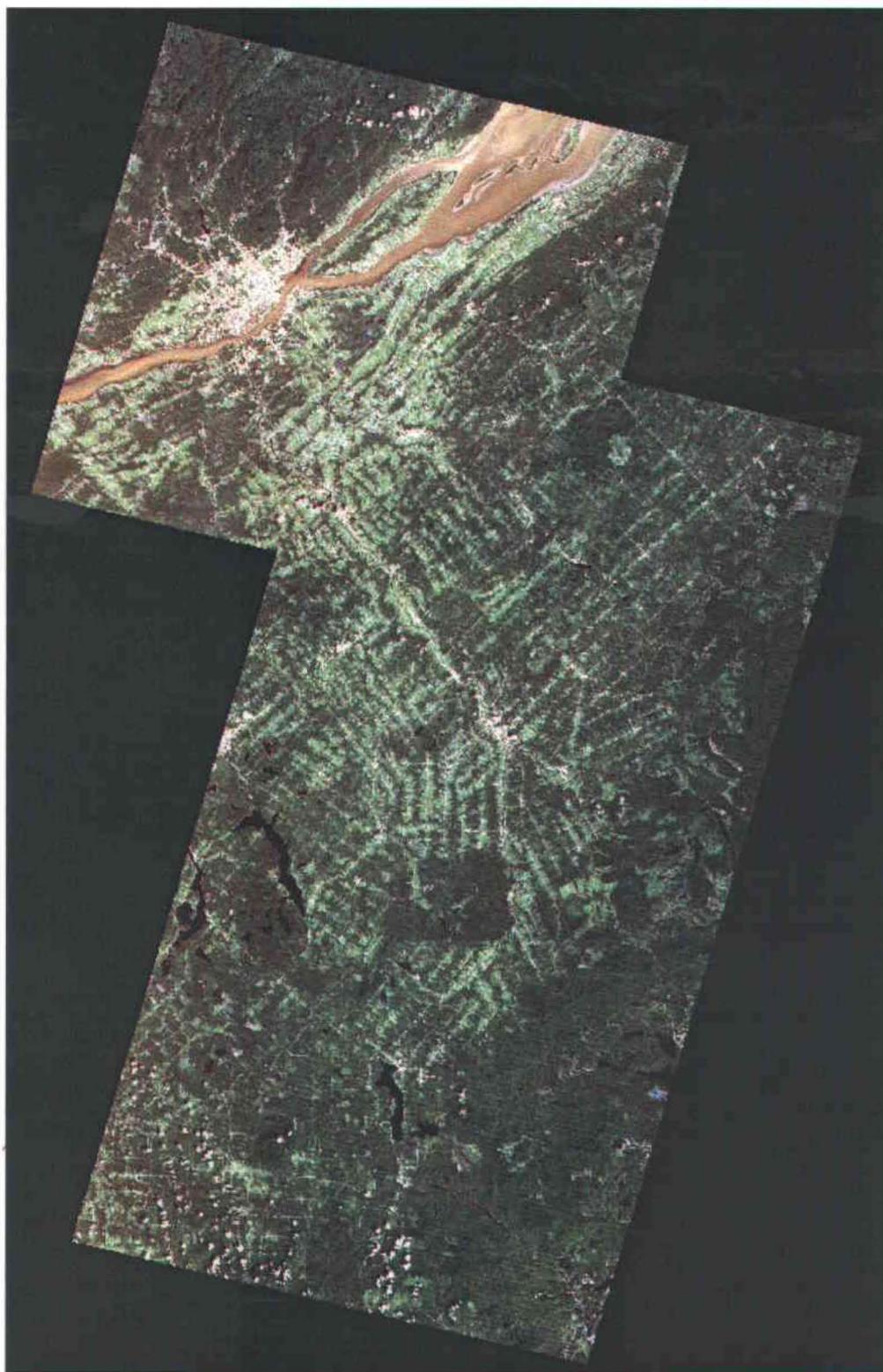


Figure A.3 : Image du 6 août 1987



Figure A.4 : Image du 29 juillet 1990

A.2 SCÈNES NON CONFORMES AUX CRITÈRES FIXÉS

A.2.1 Couverture partielle du bassin versant de la Chaudière

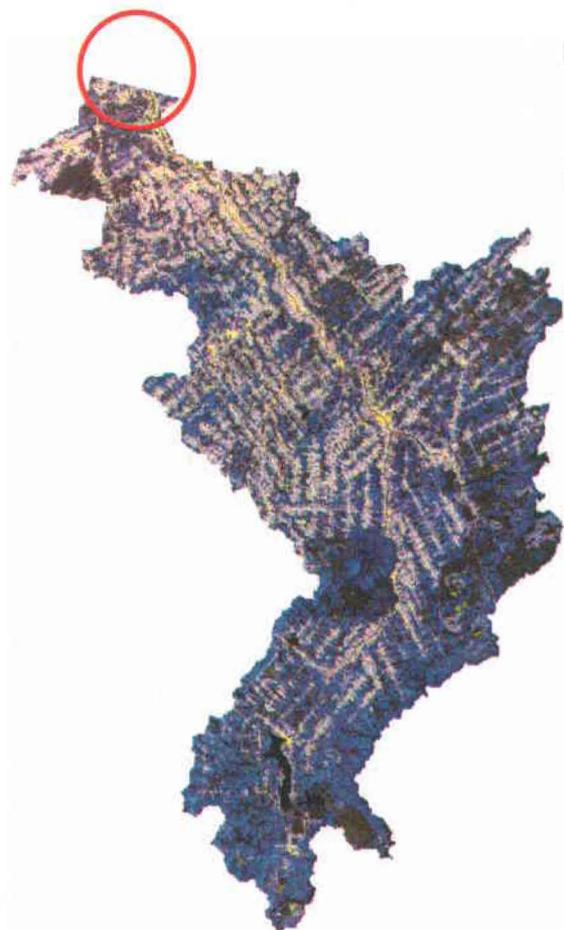


Figure A.5 : Territoire non couvert par l'image de 1976

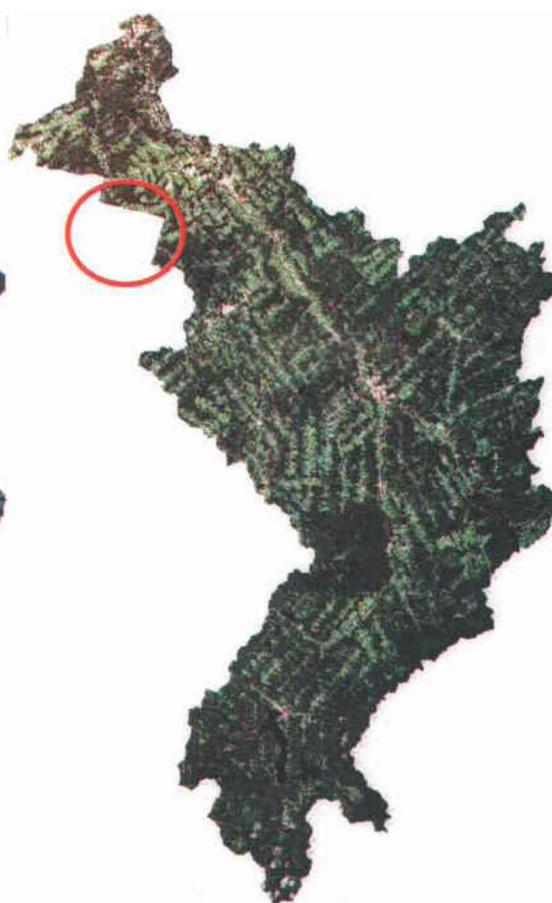


Figure A.6 : Territoire non couvert par l'image de 1987

A.2.2 Scènes affectées par une présence de nuage au-dessus du bassin versant de la Chaudière

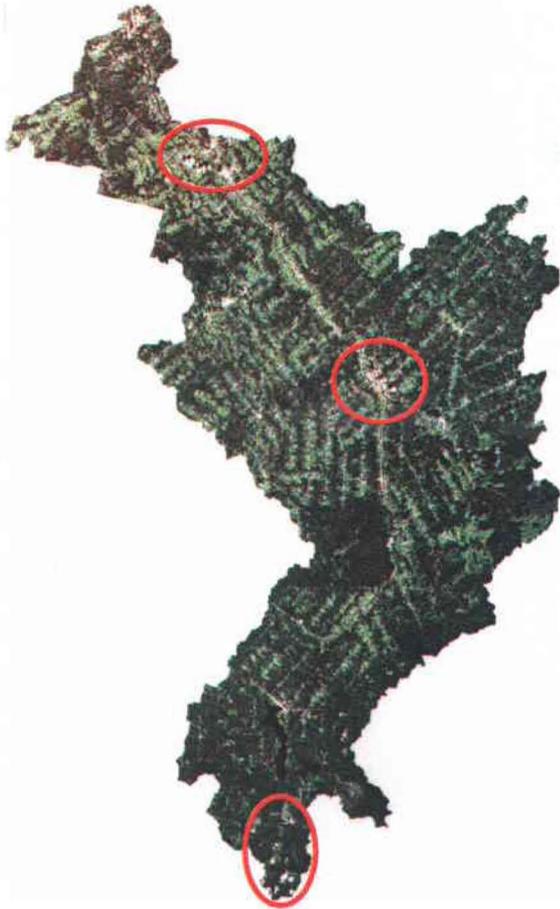


Figure A.7 : Exemple de zones de présence de nuages sur l'image de 1987



Figure A.8 : Exemple d'une zone de présence de nuages sur l'image de 1990

ANNEXE B : CARACTÉRISTIQUES DES CARTES D'OCCUPATION DU SOL DE 1977

B.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 degrés décimal



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

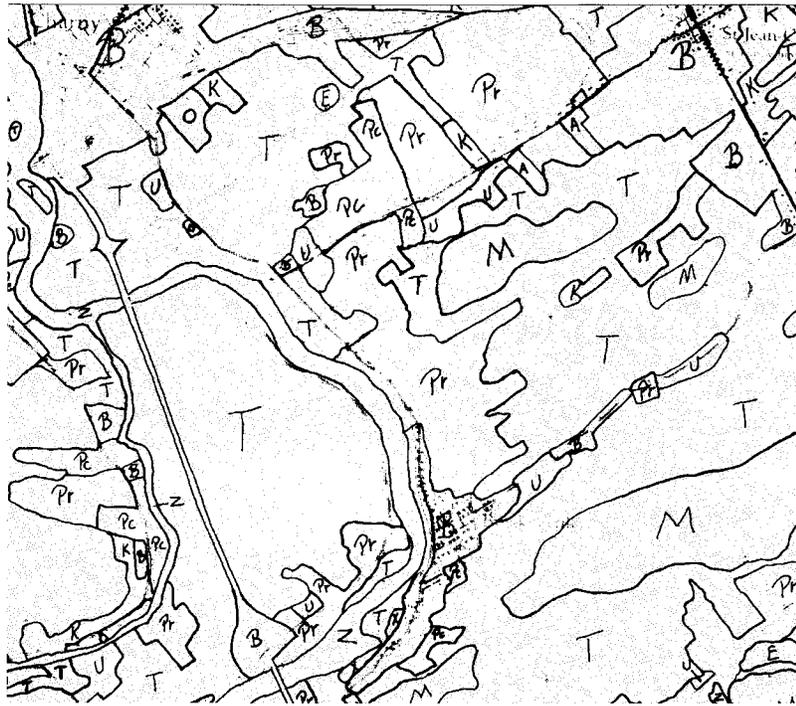


Figure B.2 : Agrandissement d'un feuillet d'utilisation du sol de 1977

B.2 DÉFINITIONS DES DONNÉES THÉMATIQUES CONTENUES DANS LES CARTES D'OCCUPATION DU SOL DU MAPAQ DE 1977 (SOURCE : MAPAQ)

B.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 superficie du terrain. Autrement, ils sont considérés comme friche embroussaillée (U).

B.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 dominent 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.

B.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.

B.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 C : PRÉCISIONS TECHNIQUES CONCERNANT LA CLASSIFICATION

C.1 CLASSES PRÉ-CLASSIFIÉES

Comme l'avait fait Gauthier (1996), il a été jugé plus simple d'identifier la classe « Eau » de façon indépendante aux autres classes thématiques. L'eau a une réponse spectrale faible dans le proche et moyen infrarouge. Néanmoins, différents facteurs affectent la signature spectrale de l'eau sur l'image de 1987 : profondeurs des plans d'eau, matières en suspension, végétation en bordure des cours d'eau cachant en partie la surface, présences d'algues, etc.

En appliquant un seuillage de l'image selon les observations de Gauthier, il est alors possible d'isoler la majorité des cours d'eau et des lacs qui se retrouvent dans le bassin versant de la Chaudière. Le tableau C.1 contient les paramètres de seuillage employés. Les trois conditions sont liées par l'opérateur logique « et ».

Tableau C.1 : Paramètres de seuillage pour créer la classe « Eau »

Opérateur logique	Pixels de la bande	Condition	Valeur
et	TM 3	Plus petit	40
	TM 4	Plus petit	45
et	TM 5	Plus petit	45

On observe sur la scène de 1987 la présence de nuages dispersés sur le territoire. De la même façon que la classe « Eau », il semble plus facile de créer une classe « Nuages » en opérant un seuillage selon des paramètres établis. De plus, la définition de classes thématiques de GIBSI (voir tableau 3.1) ne contient évidemment pas d'utilisation du sol de type « Nuages ». Ainsi, il est important de pouvoir isoler ces pixels. Les zones nuageuses affichent une forte réflectance dans les bandes du visible, proche et moyen infrarouge. On retrouve les caractéristiques du seuillage dans le tableau C.2. Les trois conditions sont liées par l'opérateur logique « et ».

Tableau C.2 : Paramètres de seuillage pour créer la classe « Nuages »

Opérateur logique	Pixels de la bande	Condition	Valeur
Et	TM 1	Plus grand	100
	TM 4	Plus grand	100
Et	TM 5	Plus grand	100

Le résultat de cette identification a ensuite été filtré pour créer un lissage et éliminer les pixels isolés. Un filtre modal de dimension 3 par 3 a été utilisé.



Figure C.1 : Résultat du seuillage des nuages après filtrage (zones rouges)



Figure C.2 : Image de 1987 sans seuillage

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 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 ». Ce masque permet d'effectuer la classification sur les pixels non inclus dans ces zones.

C.2 PARAMÈTRES DE CLASSIFICATION

Algorithme de classification : maximum de vraisemblance

Création d'une classe « Null » : non

Utilisation d'un couche masque : oui, classification à l'extérieur du masque

Masque utilisé : couche extérieur, eau et nuages

Bandes utilisées : 1, 2, 3, 4, 5, 7

Étant donné le fait que le système de modélisation intégrée GIBSI ne traite pas les données de type « no data », il est important de spécifier lors de la classification que l'on ne désire pas obtenir de pixels nuls. Ainsi, tous les pixels sont associés à des classes qui possèdent des zones

d'entraînement. Il faut être conscient que ce choix occasionne un effet de « forcer » l'association de pixels à certaines classes thématiques, même si les propriétés spectrales de ceux-ci sont relativement éloignées des pixels contenus dans ces classes.

C.3 ZONES D'ENTRAÎNEMENT

Pour la classification, 12 types de zones d'entraînement ont été sélectionnés. Ensuite, ces classes ont été regroupées pour former les 9 classes d'occupation utilisées dans GIBSI. Les figures que contient cette section illustrent la scène de 1987 selon une composition couleur des bandes 3, 4 et 5 (bleu = 3, vert = 4 et rouge = 5).

Tableau C.3 : Classes thématiques utilisées pour la classification

Numéros de classe pour la classification	Classes thématiques
1	Maïs
2	Trèfle / Luzerne / Pâturage amélioré
3	Champs vert-rose
4	Champs rose-vert
5	Champs rose
6	Champs violet pâle
7	Champs violet foncé
8	Conifères
9	Feuillus
10	Milieu humide
11	Zones urbaines
12	Friches

C.3.1 Milieu agricole



Figure C.3 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 1, maïs



Figure C.4 : Exemple de zones d'entraînement des classes 2 (rouge), 3 (bleu), 4 (turquoise) et 5 (orange)



Figure C.5 : Figure C.4 sans les zones d'entraînement

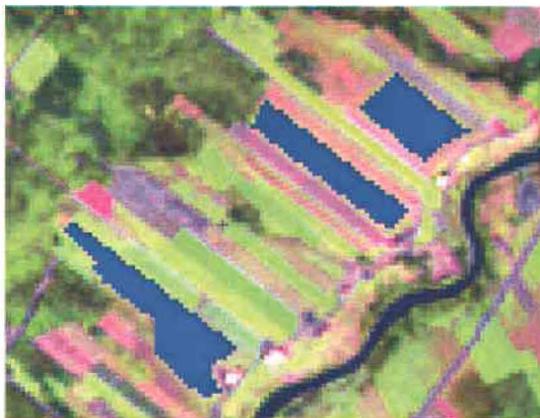


Figure C.6 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 3, champs vert-rose



Figure C.7 : Figure C.6 sans les zones d'entraînement

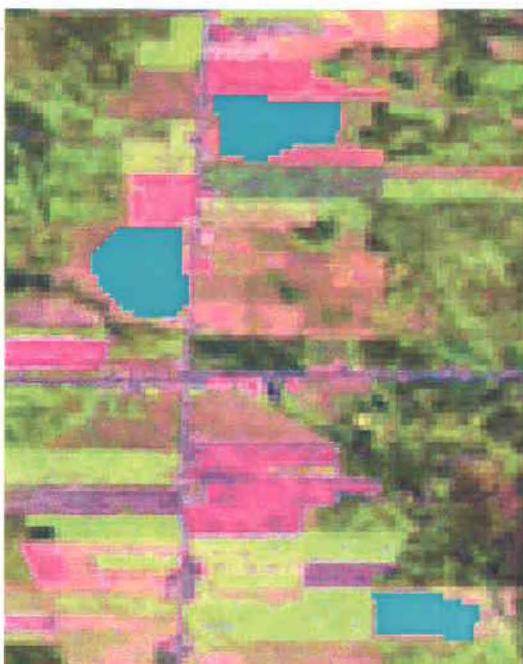


Figure C.8 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 4, champs rose-vert

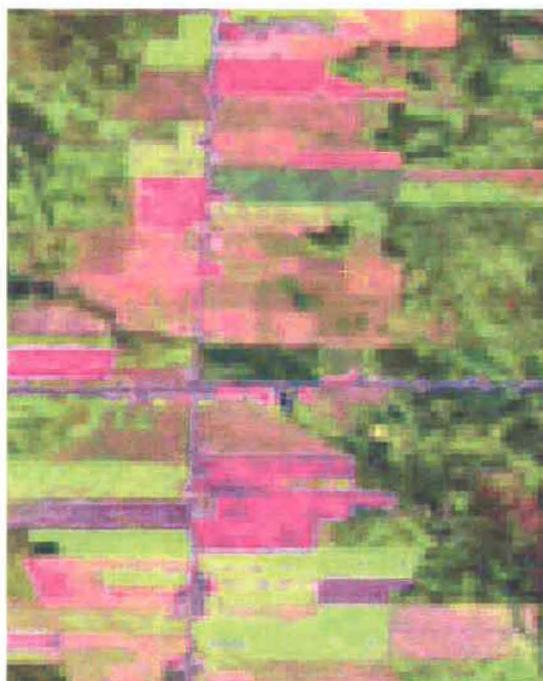


Figure C.9 : Figure C.8 sans les zones d'entraînement



Figure C.10 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 5, champs rose



Figure C.11 : Figure C.10 sans les zones d'entraînement



Figure C.12 : Exemple de zones d'entraînement des classes 6 (jaune) et 7 (rouge)



Figure C.13 : Figure C.12 sans les zones d'entraînement

C.3.2 Milieu forestier

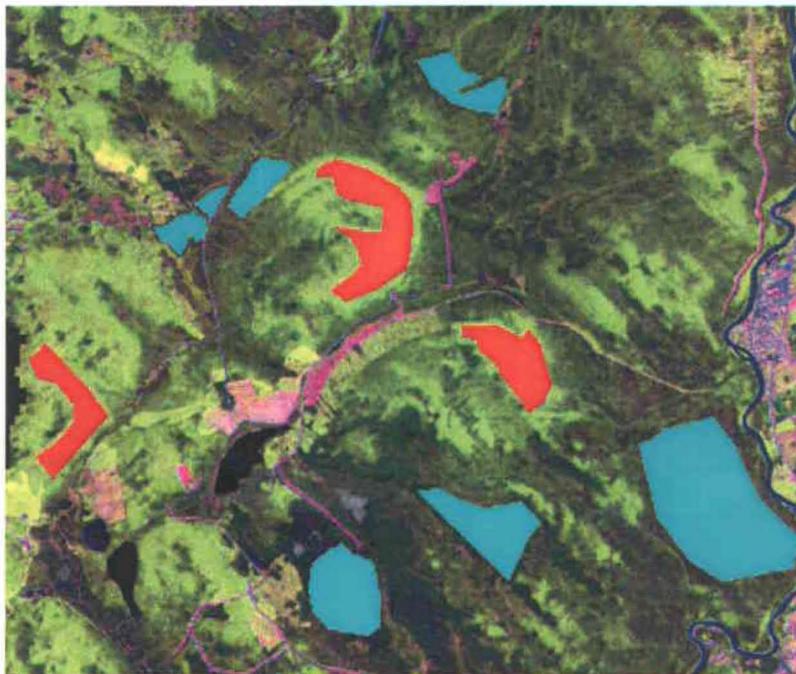
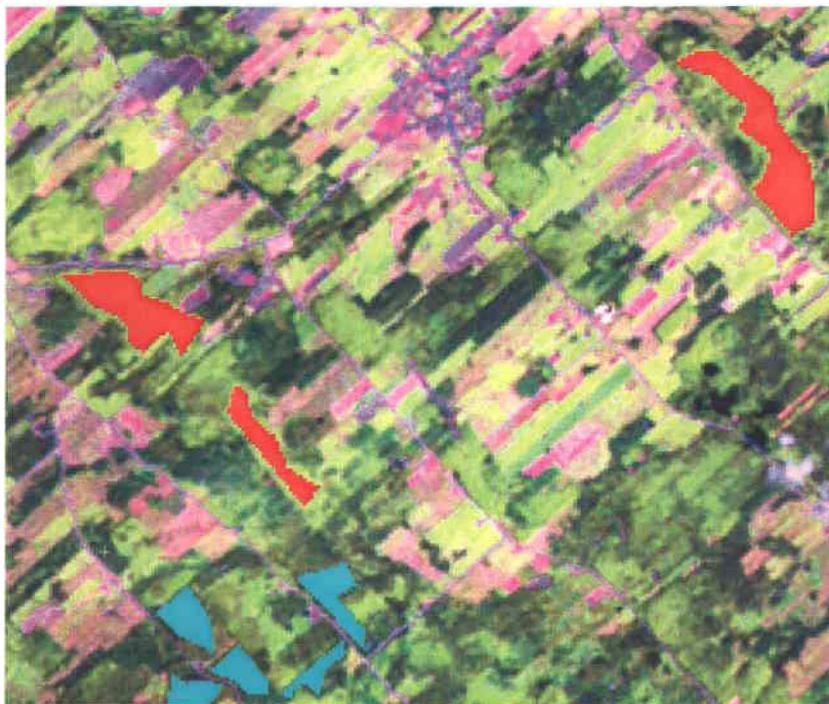


Figure C.14 : Exemple de zones d'entraînement des classes 8 (turquoise) et 9 (rouge),
conifères et feuillus respectivement



Figure C.15 : Figure C.14 sans les zones d'entraînement



**Figure C.16 : Exemple de zones d'entraînement des classes 8 (turquoise) et 9 (rouge),
conifères et feuillus respectivement**

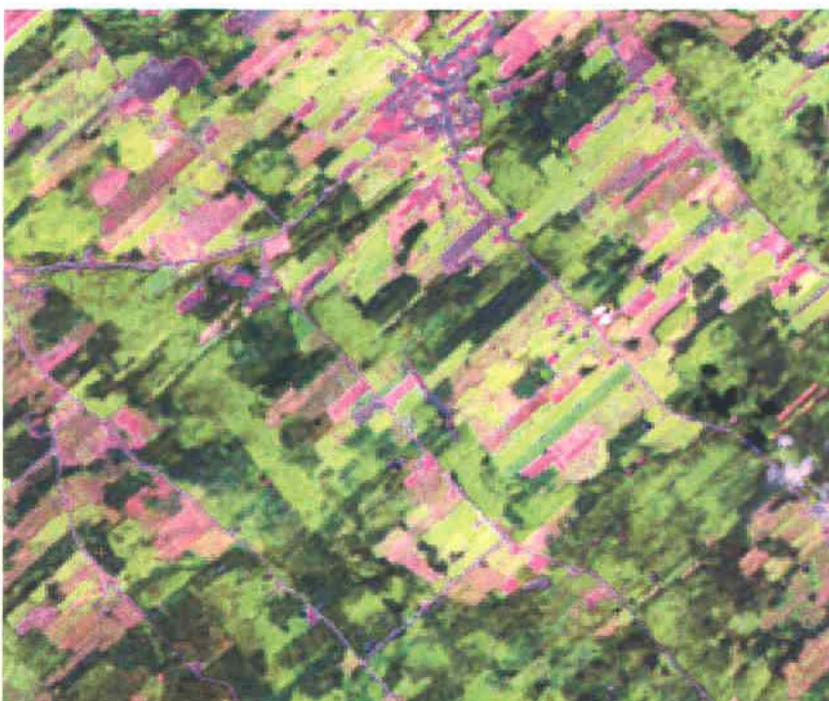


Figure C.17 : Figure C.16 sans les zones d'entraînement

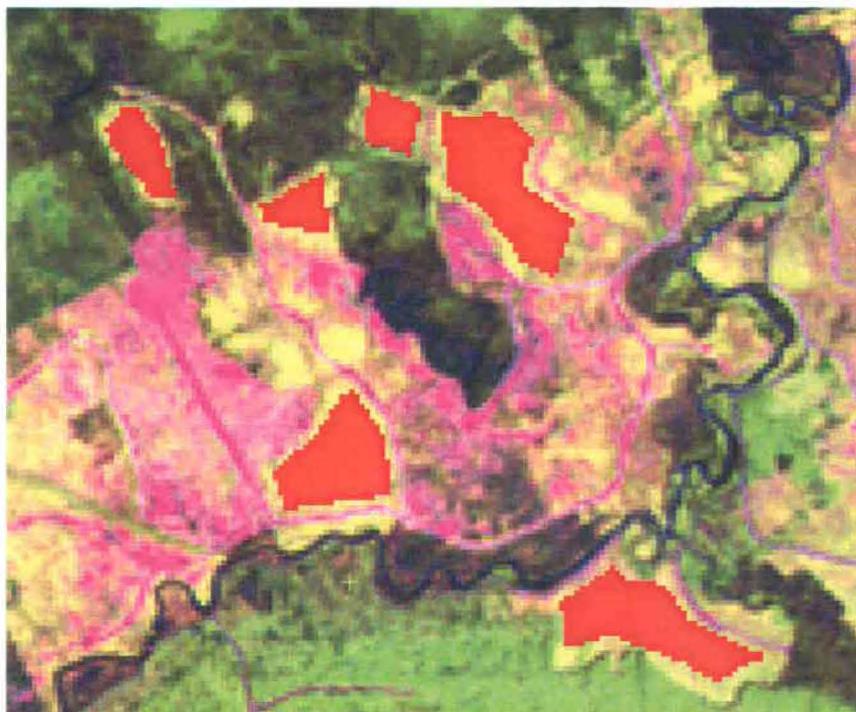


Figure C.18 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 10, friche

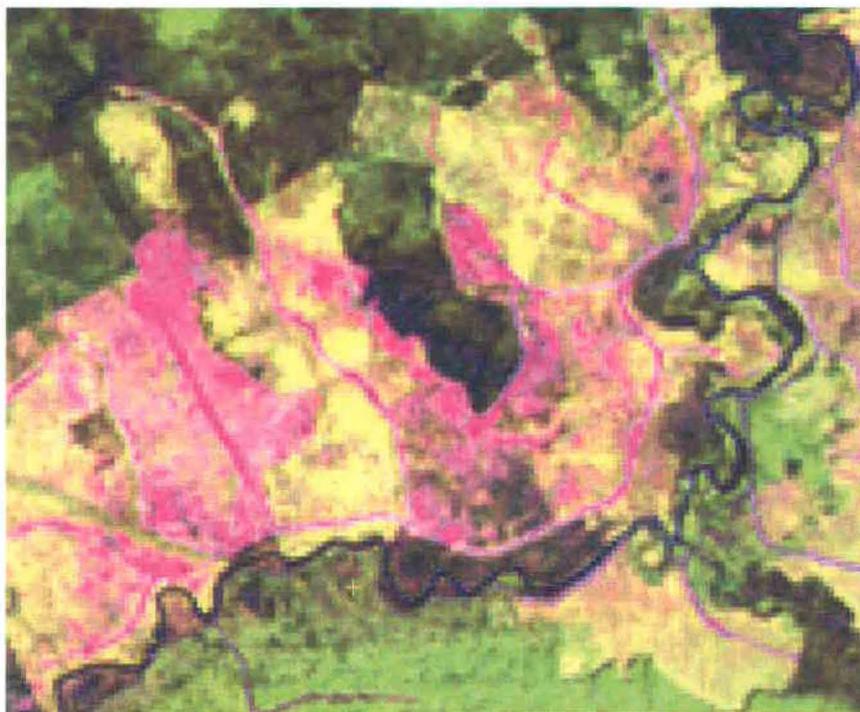


Figure C.19 : Figure C.18 sans les zones d'entraînement



Figure C.20 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 11, milieu humide



Figure C.21 : Figure C.20 sans les zones d'entraînement

C.3.3 Milieu urbain



Figure C.22 : Exemple de zones d'entraînement de la classe 12 (rouge), urbain



Figure C.23 : Figure C.22 sans les zones d'entraînement

C.4 RÉSULTATS DE LA CLASSIFICATION

Le tableau C.4 présente les statistiques qui servent à évaluer la qualité de la classification. La matrice de confusion de la classification constitue le tableau C.5. La figure C.24 illustre le résultat de la classification selon les 12 classes employées. La figure C.25 expose, quant à elle, un exemple de problème engendré par la classification.

Tableau C.4 : Statistiques qualitatives de la classification de l'image de 1987

Indice de qualité	Résultat pour la classification
Précision moyenne (%)	89
Indice Kappa (%)	91

Tableau C.5 : Matrice de confusion de la classification de l'image de 1987 (%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Nb pixel
1	94,7	0,2	0,3	0,3	0	0	0,1	0	2,4	1,8	0,1	0,2	1615
2	0,6	97,8	1,4	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0,2	3846
3	0,1	1,4	79,6	14,5	0,5	0	0	0	0,7	0,1	0,1	3,0	11135
4	0	0	14,8	75,8	5,6	0,5	1,0	0	0,1	0,5	0,2	1,4	13685
5	0	0	0,3	1,7	95,3	1,9	0,1	0	0	0,1	0,6	0	7346
6	0	0	0,1	0	2,8	79,3	12,4	0	0	0,2	5,1	0	2245
7	0,2	0	0	1,0	0	9,1	80,0	0	0	6,4	2,6	0,1	2301
8	0	0	0	0	0	0	0,2	94,3	0,5	1,6	3,3	0	34671
9	0,3	0,1	0,6	0,1	0	0	0	0,4	96,2	0,2	0,1	2,0	51306
10	1,2	0	0	0,2	0,5	0,6	3,6	1,3	0,1	91,1	1,5	0	13314
11	0	0	0	0	0,6	2,2	0,9	0	0	0,4	95,2	0	5905
12	0	0,4	2,6	1,8	0	0	0,3	0	2,4	0,2	0,1	92,2	4752



Figure C.24 : Résultat de la classification (12 classes)

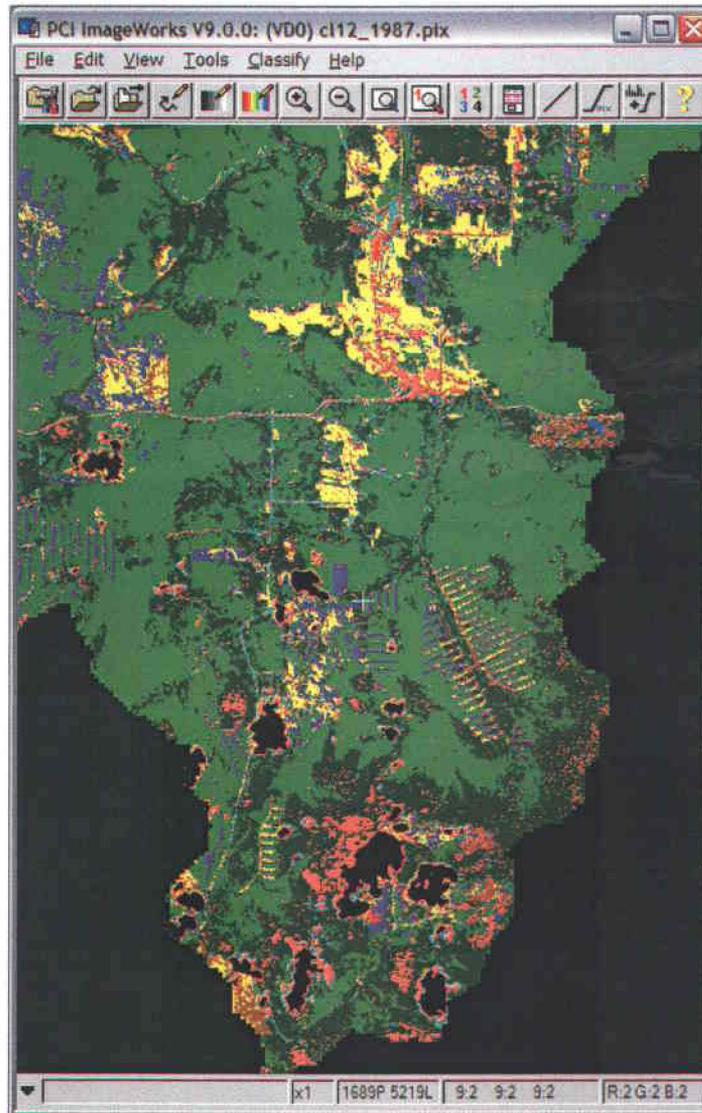


Figure C.25 : Exemple d'une erreur probable de classification concernant les zones urbaines

C.5 TRAITEMENTS POST-CLASSIFICATION

En premier lieu, il s'agit d'associer les objets de la classification dans le but d'obtenir une image dont les classes thématiques correspondent à celles utilisées dans GIBSI (voir tableau 3.1). Il faut comprendre que plusieurs combinaisons sont possibles en fonction des définitions de classes thématiques qui existent. Le tableau C.6 présente l'association choisie pour la création de la carte thématique servant à alimenter GIBSI.

Tableau C.6 : Association des classes issues de la classification avec celles de GIBSI

Classes thématiques de GIBSI	Numéros des classes provenant de la classification
Urbain	11
Pâturage et foin	2 – 4
Céréales	3 – 5
Maïs	1
Eau	opération de seuillage
Milieu humide	10
Sol nu	6 – 7
Friche arbustive	12
Feuillus	9
Conifères	8

En second lieu, une opération de filtrage est réalisée sur la carte thématique nouvellement créée. Cette opération a pour but de lisser l'image en éliminant les pixels seuls qui se retrouvent à l'intérieur de surfaces homogènes de classes différentes. Dans les travaux de Gauthier (1996), un filtre modal de dimension de fenêtre 5 par 5 a été appliqué. Le choix de la dimension du filtre a un impact non négligeable visuellement et statistiquement comme en témoignent le tableau C.7 et les figures C.26, C.27 et C.28.

Tableau C.7 : Proportion de la superficie des occupations sur le territoire suite à l'application de filtres

Classes thématiques	% du territoire	
	Test de classification sur l'image de 1987 après filtre modal 3 x 3	Test de classification sur l'image de 1987 après filtre modal 5 x 5
Urbain	4,6	3,4
Pâturage et foin	2,7	2,5
Céréales	20,9	22,1
Maïs	0,7	0,4
Eau	1,4	1,4
Milieu humide	5,4	4,2
Sol nu	2,6	2,0
Friche arbustive	4,7	4,3
Feuillus	28,0	28,8
Conifères	29,0	31,0

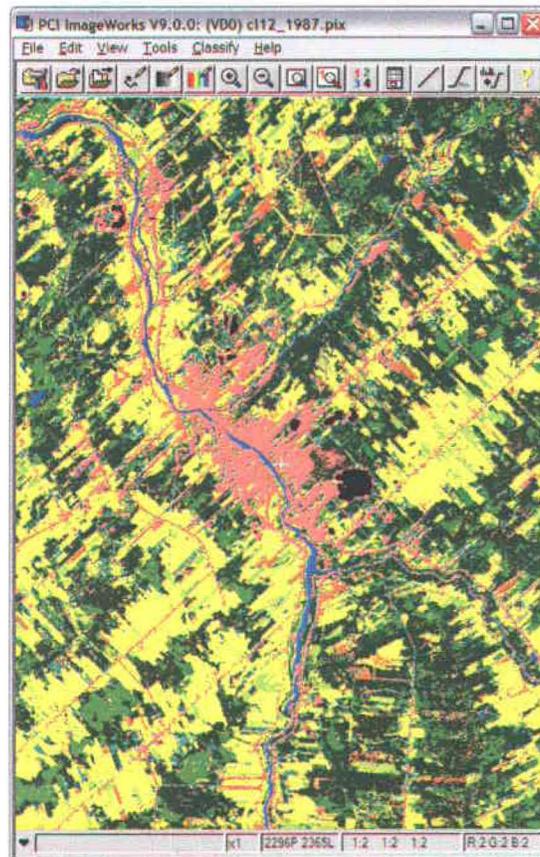


Figure C.26 : Image classifiée sans filtre

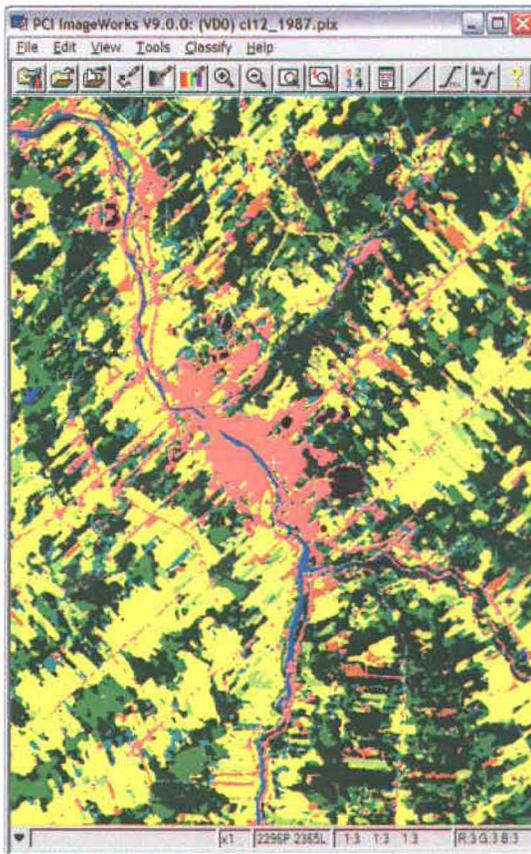


Figure C.27 : Classification filtrée avec un filtre modal 3 x 3

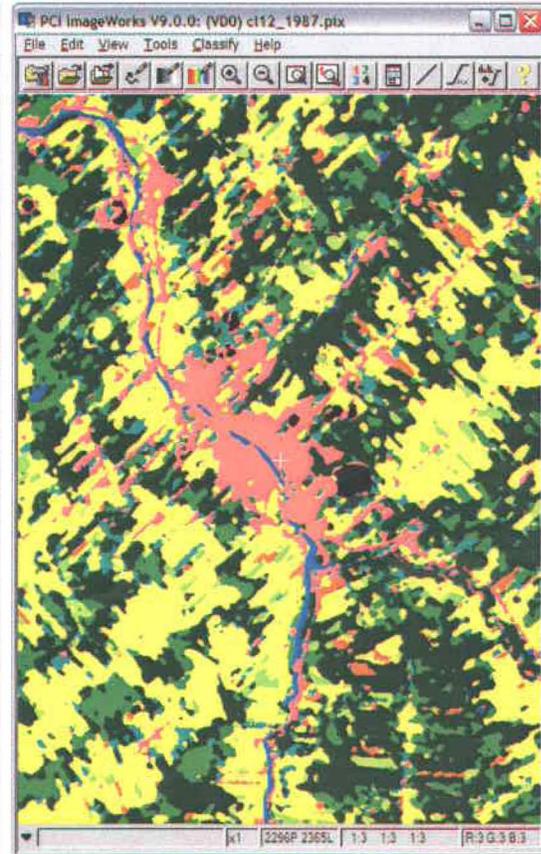


Figure C.28 : Classification filtrée avec un filtre modal 5 x 5



ANNEXE D : 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

D.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.

D.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.

D.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

D.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 numérisé. 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.

D.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.

D.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'information 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.