

**Utilisation de l'imagerie numérique infrarouge
pour évaluer la performance agroenvironnementale
d'entreprises agricoles.**

Projet # 192

Rapport final soumis au



FONDS D'ACTION
QUÉBÉCOIS POUR LE
DÉVELOPPEMENT DURABLE
Québec 

Par
André Vézina
Charles Savoie
Camille Desmarais
Nicol Lemieux
Louise-Marie Cloutier
Jean-Pierre Dion



*Fondation
François-Pilote inc.*

Date de fin de projet : 18 juin 2003

Avant-propos

Les auteurs tiennent à remercier le Fonds d'Action Québécois pour le développement durable (FAQDD) dont le support financier a permis la réalisation de ce projet. Merci aussi à la Fondation canadienne pour l'innovation qui a financé les équipements permettant l'acquisition des images.

Les auteurs sont également reconnaissants envers les organismes qui ont participé à la réalisation de cette étude, soient la Fondation François-Pilote, l'Institut de technologie agroalimentaire de La Pocatière, la Direction régionale du MAPAQ (Centre-du-Québec), la Direction du développement et de l'environnement durable du MAPAQ, le Groupe Conseil agricole de la Côte-du-Sud et le Club agro-environnemental Yamasol.

Les auteurs tiennent aussi à souligner l'importante contribution de M. René Verrault, professeur de physique à l'Université du Québec à Chicoutimi, dont l'expérience au niveau de l'acquisition des images a permis au projet de débiter sur le bon pied.

Finalement, il faut souligner le soutien essentiel de Mme Marthe Grenier (Fondation François-Pilote) qui a réalisé la comptabilité du projet et de M. Hervé Bernier, responsable du développement et du transfert technologique à l'ITA de La Pocatière.

TABLE DES MATIÈRES

1. Description du projet	1
2. Déroulement des travaux.....	2
3. Biens livrés	2
4. Description des principales étapes	3
4.1. Mise au point d'un système d'acquisition d'images	3
4.2. Développement d'une méthode de traitement rapide des images	6
4.3. Élaboration des plans de ferme.....	7
4.4. Étude comparative des coûts de confection d'un plan de ferme standard.....	8
4.5. Indicateurs de performance agroenvironnementale	10
4.6. Atlas agroenvironnemental.....	37
5. Conclusion.....	40
Bibliographie.....	41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Échéances des différentes étapes du projet.....	2
Tableau 2.	Étapes de traitement des images pour une ferme de 250 ha	6
Tableau 3.	Étapes de réalisation d'un plan de ferme numérique (superficie de 250 ha).....	7
Tableau 4.	Temps et coûts (avant taxes) des étapes de traitement des images pour une ferme dont la superficie est de 250 ha.....	8
Tableau 5.	Critères agroenvironnementaux qui ont été mesurés	10
Tableau 6.	Écart relatif entre les mesures terrain des bandes riveraines et les mesures estimées d'après les images multispectrales	15
Tableau 7.	Correspondance entre les couvertures de résidus obtenus par classification automatique (2 classes) et celles mesurées à l'aide des images prises au niveau du sol	27
Tableau 8.	Correspondance entre les couvertures de résidus obtenus par classification automatique (5 classes) et celles mesurées à l'aide des images prises au niveau du sol	28
Tableau 9.	Pourcentages moyens de sable et d'argile pour les champs 3 et 46 de la ferme du CDBQ de La Pocatière, de même que la variance et les écarts types de ces pourcentages	30
Tableau 10.	Coefficients de détermination (R^2) entre les différents facteurs physico- chimiques et les valeurs des pixels des trois longueurs d'onde de la photographie aérienne numérique de mai 2002 pour le champ 3 (sol argileux) de la ferme du CDBQ.....	32
Tableau 11.	Coefficients de détermination (R^2) entre les différents facteurs physico- chimiques et les valeurs des pixels des trois longueurs d'onde de la photographie aérienne numérique de mai 2002 pour le champ 46 (sol sableux) de la ferme du CDBQ	32
Tableau 12.	Coefficients de détermination (R^2) entre les différents facteurs physico- chimiques et les valeurs des pixels des trois longueurs d'onde de la photographie aérienne numérique de mai 2002 pour l'ensemble des deux champs de la ferme du CDBQ	33
Tableau 13.	Tableau des seuils critiques et des seuils cibles pour les indicateurs retenus	35
Tableau 14.	Étapes de réalisation d'un plan de ferme agroenvironnemental numérique.....	37

Tableau 15. Feuilles thématiques composant des atlas numériques
agroenvironnementaux.....38

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Caméra numérique haute résolution utilisée et support de fixation dans l'avion.....	3
Figure 2.	Diagramme d'assemblage de l'équipement à bord de l'avion.....	4
Figure 3.	Composé couleur formé de 3 bandes de tons de gris ayant des valeurs de 0 à 255.....	4
Figure 4.	Photographie de la rivière Ouelle, captée au début septembre 2001, à une altitude de 12 000 pieds (résolution de 1m).....	5
Figure 5.	Superposition du contour des champs sur les images multispectrales	6
Figure 6.	Image multispectrale du printemps 2002, représentant des champs de cultures annuelle et pérenne.....	10
Figure 7.	Réseau de drainage sur une partie du territoire de la ferme Candrine, superposée à l'image multispectrale d'été 2002.....	11
Figure 8.	Contour de ferme (en blanc) et les périmètres boisés de la ferme (vert).....	12
Figure 9.	Haie brise-vent le long d'un cours d'eau verbalisé	12
Figure 10.	Zone protégée par les haies brise-vent	13
Figure 11.	Bande riveraine idéale (gauche) sur la partie d'un cours d'eau d'une ferme, et le résultat du traitement de sa biomasse (droite).....	14
Figure 12.	Extraction de l'image multispectrale de printemps 2002 sur un des transects étudiés (gauche), et l'indice de biomasse généré à partir de cette image afin de détecter plus facilement de végétation (droite).....	15
Figure 13.	Écart relatif entre la mesure des bandes riveraines des deux séries d'images multispectrales et les mesures acquises sur le terrain	16
Figure 14.	Image brute du printemps 2002 et indice d'humidité d'un champ de la ferme Candrine	16
Figure 15.	Image brute d'été 2002 et l'indice de biomasse d'un champ de la ferme Candrine	17
Figure 16.	Indice de biomasse présentant les superficies générées dans la légende à l'intérieur de l'atlas numérique	18
Figure 17.	Relation entre la couverture de résidus et la réduction des pertes du sol. Tiré du <i>Guide des Pratiques de conservation en grandes cultures</i> , CPVQ, 2000	19
Figure 18.	a) Emplacement de la corde sur un site d'échantillonnage. b) Acquisition de la photographie numérique de chaque côté de la corde	20
Figure 19.	Enregistrement du point GPS à l'endroit d'une photographie	20

Figure 20. Exemple d'image au sol à traiter.....	21
Figure 21. Exemple de région d'intérêt.....	22
Figure 22. Résidus classifiés identifiés en vert	22
Figure 23. Création d'un polygone autour des pixels d'un point GPS d'échantillonnage	23
Figure 24. Relation entre la couverture de résidus mesurée avec la méthode de la corde et celle mesurée suite au traitement d'images au sol, printemps 2002	24
Figure 25. Illustration du point d'intersection du nœud sur la corde.....	24
Figure 26. Taux de résidus évalué par la méthode de la corde modifiée en fonction du taux évalué par analyse d'images, printemps 2003.....	25
Figure 27. Résultat de la classification automatique (deux classes).....	26
Figure 28. Localisation des champs étudiés sur la ferme du CDBQ de La Pocatière	29
Figure 29. Position des analyses de sol effectuées dans le champ 3 en sol argileux	30
Figure 30. Position des analyses de sol effectuées dans le champ 46 en sol sableux.....	30
Figure 31. Compte numérique des pixels d'un point d'échantillonnage	31
Figure 32. Courbe de régression entre le sable et les comptes numériques (CN) des pixels de la longueur d'onde infrarouge de la photographie aérienne numérique de mai 2002 pour l'ensemble des deux champs de la ferme du CDBQ de La Pocatière	32
Figure 33. Courbe de régression entre l'argile et les comptes numériques (CN) des pixels de la longueur d'onde infrarouge de la photographie aérienne numérique de mai 2002 pour l'ensemble des deux champs de la ferme du CDBQ de La Pocatière.....	33
Figure 34. Envirogramme de la Ferme-école LAPOKITA.....	35
Figure 35. Exemple de la page de présentation d'un atlas.....	39
Figure 36. Transect 1	44
Figure 37. Transect 2.....	44
Figure 38. Transect 3.....	45
Figure 39. Transect 4.....	45
Figure 40. Transect 7.....	46
Figure 41. Transect 8.....	47
Figure 42. Transect 9.....	47
Figure 43. Transect 10.....	48

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Description des sites de bandes riveraines étudiés.....	43
Annexe 2 : Procédé de génération de la couche numérique des surfaces protégées par les haies brise-vent.....	49

1. Description du projet

Le projet proposé vise à développer une méthode économique et rapide utilisant l'imagerie numérique infrarouge permettant d'évaluer la performance agroenvironnementale des entreprises agricoles et de réaliser un plan de ferme amélioré qui intègre des éléments de conservation des ressources eau et sol.

Les objectifs spécifiques du projet sont :

- développer à coût abordable un système aéroporté de capture d'images infrarouges numériques à partir d'équipement disponible sur le marché ;
- développer une méthode de traitement rapide des images en vue de faciliter leur utilisation par les intervenants du milieu, notamment pour la réalisation du plan de ferme qui accompagne le PAEF ;
- développer et valider des indicateurs de performance agroenvironnementale mesurables à partir des images obtenues ;
- dresser un portrait visuel de la performance agroenvironnementale des fermes en intégrant les indicateurs retenus dans le logiciel Envirogram ;
- comparer les coûts d'acquisition des images et de fabrication des plans de ferme de la méthode proposée avec ceux engendrés par les méthodes usuelles.

2. Déroulement des travaux

Les travaux ont débuté à la fin juin 2001, avec la mise au point du système d'acquisition d'images (tableau 1).

Tableau 1- Échéances des différentes étapes du projet

Étape	Période de réalisation
Mise au point d'un système d'acquisition d'images	juin-juillet 01, septembre 01 à avril 02
Développement d'une méthode de traitement rapide des images	septembre 01 à avril 03
Élaboration des plans de ferme	juin 01 à juin 03
Étude comparative des coûts	avril à juin 2003
Indicateurs de performance agroenvironnementale	mai 01 à juin 03
Atlas agroenvironnemental	mai 01 à juin 03
Diffusion des résultats	février 2003 à juin 2003

3. Biens livrés

Les principaux résultats obtenus sont les suivants :

- une banque d'images numériques qui permet de suivre l'évolution de la situation agroenvironnementale d'une ferme ou d'un groupe de fermes en lien avec les pratiques culturales et le milieu ;
- des plans de ferme (70) qui dressent un portrait de la situation agroenvironnementale de la ferme et qui sont directement utilisables dans les PAEF ;
- un diagramme illustrant la performance agroenvironnementale de chacune des entreprises par rapport à des seuils fixés par des spécialistes et comparativement à la moyenne de celles-ci ;
- livraison d'atlas numériques (70) contenant les informations géographiques pertinentes (de référence et agroenvironnementales) à l'échelle de la ferme.

4. Description des principales étapes

4.1 Mise au point d'un système d'acquisition d'images

Un système efficace et opérationnel de capture d'images numériques multispectrales a été mis au point, à l'aide de la compagnie Levées Aéroscan inc., de Québec, et de M. René Verrault, de l'Université du Québec à Chicoutimi. Le matériel utilisé consiste en une caméra numérique Duncantech MS-3100-CIR, munie d'une lentille Tokina 17 mm (figure 1), d'un système d'acquisition d'images (NI PCI-1424) et d'un micro-ordinateur (Pentium- III, 1000 Mhz). La caméra numérique repose sur une monture Wild RC-10A, fixée au plancher de l'aéronef. Les vols ont été effectués à 3658 m (12 000 pi), le tout conférant une résolution de 1 mètre au sol.



Figure 1- Caméra numérique à haute résolution utilisée et support de fixation dans l'avion

Les opérations aériennes s'effectuent à partir d'un aéronef bi-moteur de type Cessna 310c avec deux personnes à bord, soit un pilote utilisant un système de navigation GPS Softnav ©Filanda, lui permettant un alignement précis sur le secteur à photographier et un photographe-navigateur opérant la caméra numérique ainsi que les systèmes de correction des paramètres de la caméra (le niveau de la caméra, la dérive et l'exposition). La caméra est reliée à un ordinateur via un câble (100 broches) et un port série (figure 2). Un écran LCD 17 pouces permet de visionner les images en direct.

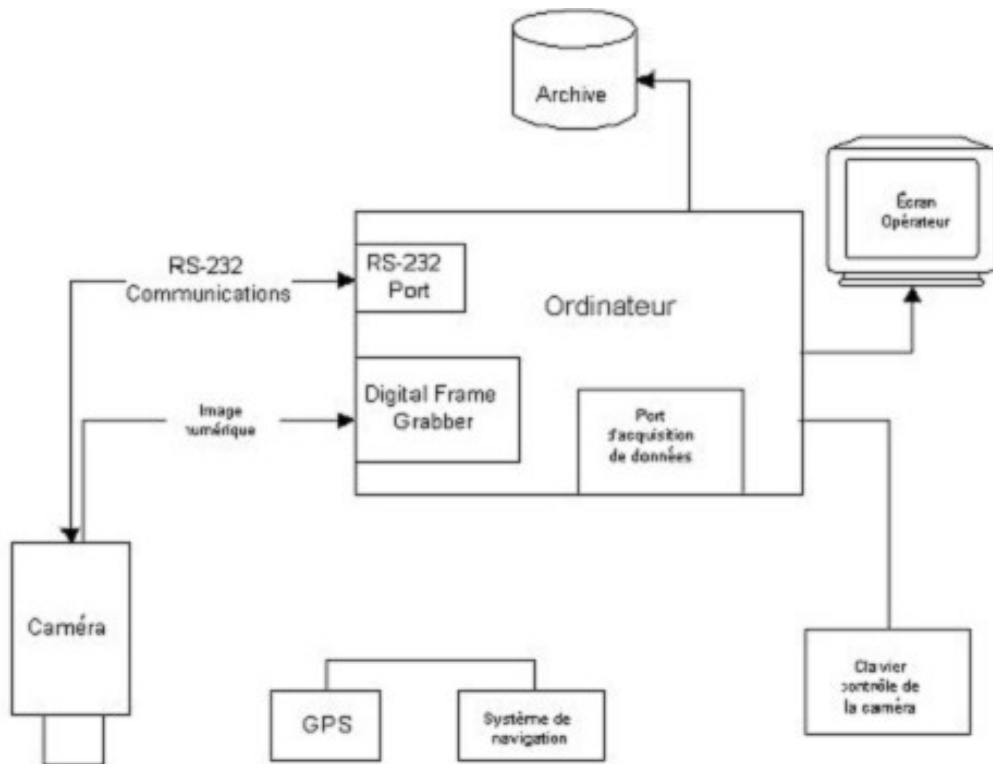


Figure 2- Diagramme d'assemblage de l'équipement à bord de l'avion

Les images sont acquises automatiquement en fonction de la distance parcourue par l'avion. L'intervalle entre deux clichés successifs est fonction de l'altitude de vol, de la vitesse de l'avion et du recouvrement désiré. Chaque image est sauvegardée dans un fichier portant le numéro de la ligne de vol, où il est possible d'avoir une image en canaux séparés (vert, rouge et infrarouge) ou une image combinant ces trois bandes (figure 3). Une image compte 4,3 Mo d'information pour un format de 1392 X 1039 pixels.

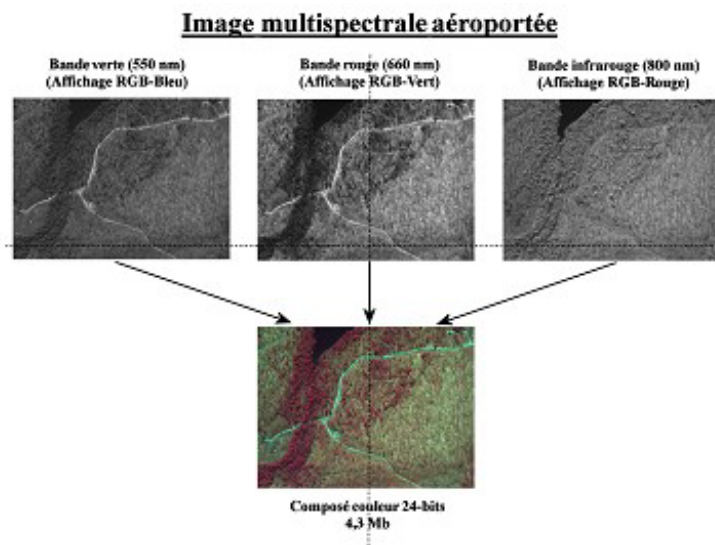


Figure 3- Composé couleur formé de 3 bandes de tons de gris ayant des valeurs de 0 à 255

L'ajustement de l'exposition des images se fait en vol en fonction des conditions de lumière ambiantes et du type de surface photographiée. La correction se fait dans les trois bandes (vert, rouge et infrarouge) en réglant le gain et le temps d'exposition. Le logiciel qui supporte la carte d'acquisition d'images (PCI-1424) permet l'affichage d'un histogramme de la distribution de la réflectance des trois bandes en temps réel. L'ajustement de l'exposition des images constitue le principal problème rencontré. Les plans d'eau ou les boisés importants affectent la réflexion de la lumière et, par conséquent, l'exposition des images en milieu agricole. Il faut surtout éviter de surexposer les images, ce qui les rend inutilisables. Ce problème s'est produit au printemps 2002, au-dessus de la région du Centre-du-Québec, et le survol a dû être repris.

La caméra numérique Duncantech 3100 donne des images de grande qualité, comme le montre la figure 4. Il n'y a pas de distorsion dans les coins des images, comme c'est le cas avec un appareil conventionnel, ce qui facilite la construction de mosaïques.

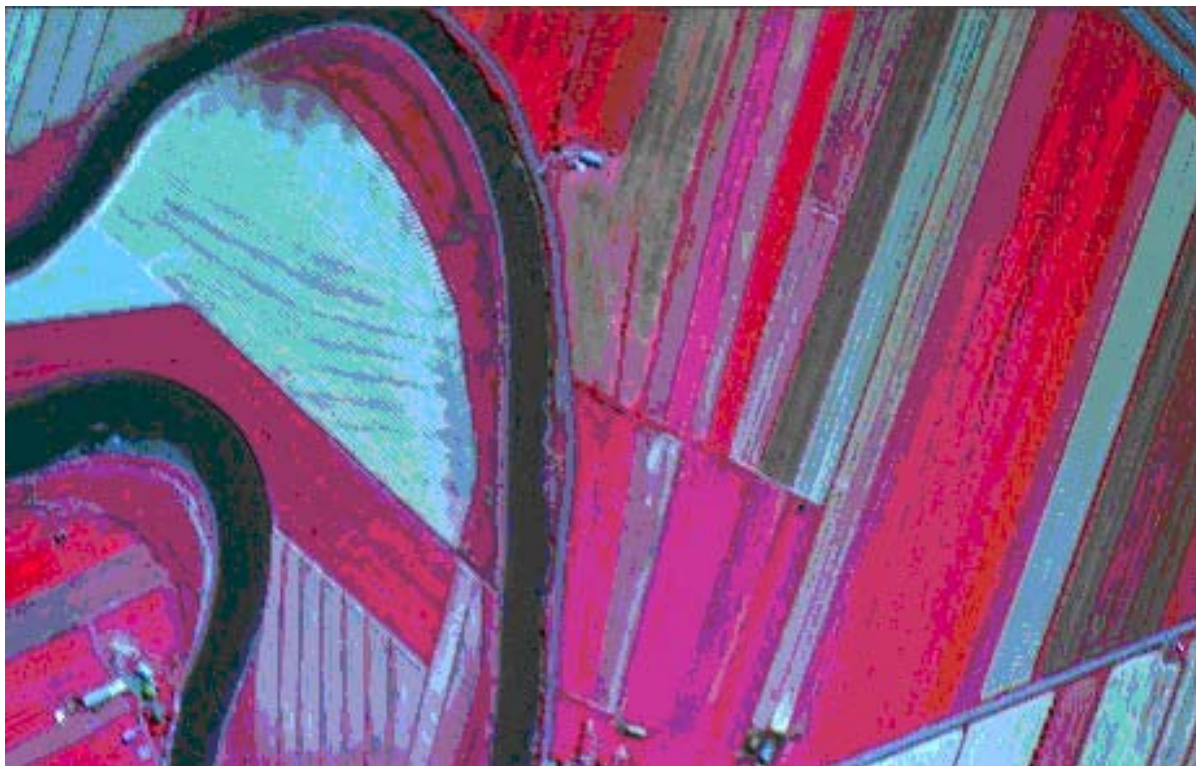


Figure 4- Photographie de la rivière Ouelle, captée au début septembre 2001, à une altitude de 12 000 pieds (résolution de 1 m)

4.2 Développement d'une méthode de traitement rapide des images

Les images numériques sont utilisables dès le retour de l'avion. Un graveur permet de transférer rapidement les images du disque dur de l'ordinateur à un cédérom. Les images obtenues doivent ensuite être importées dans le logiciel TNTmips, de la compagnie MicrolImages. Ce logiciel est utilisé en raison de sa polyvalence, de sa performance dans les procédures de traitement des images multispectrales et de son prix. Les étapes de traitement des images sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2- Étapes de traitement des images pour une ferme de 250 ha

Étapes	Description	Temps requis (min/ferme)
Importation	Transférer les images pour leur utilisation dans le logiciel	5
Mosaïque	Assemblage des images par ligne de vol	45
Géoréférence	Positionnement des images dans l'espace	60
Rééchantillonnage	Rectification de la géométrie des images	5

Une fois importées, les images, qui couvrent une superficie de 1,5 km² chacune, sont assemblées par ligne de vol pour former une mosaïque. Les mosaïques sont ensuite géoréférencées à l'aide des couches numériques (routes, cours d'eau) provenant des feuillets de la carte de base de la BDTQ (Base de données topographiques du Québec) à l'échelle 1:20 000 ainsi que des orthophotos 1:40 000 (1998 et 2000) de la Photocartotheque québécoise. L'utilisation des orthophotos est moins rapide, mais elle confère une meilleure précision. Il est important de bien géoréférencer les images, car la précision des données cartographiques en dépend. Dans l'exemple de la figure 5, les contours des champs superposés à l'image de printemps (gauche) se trouvent bien positionnés, tandis que sur l'image d'été (droite), on constate un décalage lié au choix des points d'ancrage lors de la géoréférence de cette image.

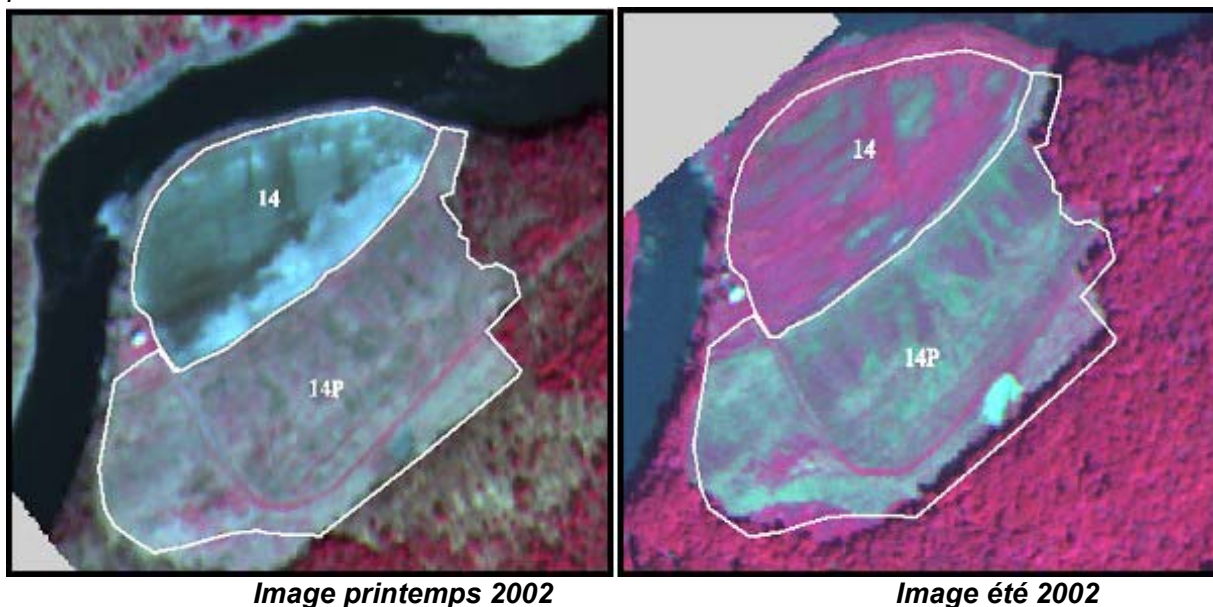


Figure 5- Superposition du contour des champs sur les images multispectrales

Le rééchantillonnage des images, qui est la dernière étape, consiste à rectifier la géométrie de l'image en utilisant comme référence les points planimétriques fournis par la géoréférence.

Le temps de réalisation de chaque opération du tableau 2 représente une valeur moyenne pour les 70 fermes étudiées. Une fois ces quatre étapes complétées, les images peuvent être utilisées pour réaliser un plan de ferme et pour détecter des problématiques agroenvironnementales ou culturelles.

4.3 Élaboration des plans de ferme

Il faut d'abord superposer aux images les données géographiques se rapportant directement à une ferme. Ces données sont le cadastre, les cours d'eau et le réseau routier environnant. Les contours des champs de la ferme sont numérisés à partir de croquis illustrant la distribution spatiale des champs. Pour chaque champ numérisé, le type de culture est identifié et intégré dans une base de données simple, liée à la couche d'information géographique des champs. S'il y a présence d'un cours d'eau, d'un fossé ou encore d'une raie de curage entre deux champs, ces derniers sont séparés par deux polygones distincts afin d'en soustraire la superficie. Quant au contour de la ferme, il est numérisé sur une couche vectorielle différente de celle des champs, et il doit également être vérifié à partir des lots appartenant au producteur.

Le regroupement de ces données géographiques est facilement transférable au producteur, ou encore à un conseiller, grâce à un atlas numérique. L'atlas est une version réduite et gratuite du logiciel TNTmips, qui permet de visualiser aisément les informations géographiques d'une ferme et les bases de données qui s'y rattachent. À la suite de l'installation de l'atlas sur son ordinateur, le producteur peut donc rapidement connaître l'état actuel de sa ferme, et même ajouter des informations supplémentaires. Considérant que l'ensemble des étapes de réalisation d'un plan de ferme sous forme d'atlas numérique se réalise en quelques heures (tableau 3), cela constitue une avenue prometteuse de diffusion de l'information géographique auprès des utilisateurs.

Tableau 3- Étapes de réalisation d'un plan de ferme numérique (superficie de 250 ha)

Étapes	Description	Temps (min/ferme)
Addition des données géographiques de la ferme	Ajouter les informations géographiques reliées au territoire de la ferme, tels les cours d'eau , le réseau routier, etc. ,	10
Production d'un croquis des champs	Tracer à la main un croquis des champs du producteur sur les images	120
Numérisation des contours des champs	Numériser et effectuer la mise à jour des contours des champs de la ferme ainsi que de la ferme en général selon les lots.	180
Vérification des données auprès du producteur	Validation des données et identification des contraintes	120
Description des métadonnées des couches numériques	Description des sources et des caractéristiques de chaque couche d'information géographique du plan de ferme réalisé.	10
Réalisation de l'atlas numérique	Effectuer les mises en page et la construction de l'atlas numérique pour mieux visualiser les paramètres environnementaux de la ferme.	20

4.4. Étude comparative des coûts de confection d'un plan de ferme standard

Les coûts des différentes étapes nécessaires à l'élaboration d'un plan de ferme en format numérique sont présentés au tableau 4. L'ensemble des fermes survolées couvrirait une superficie de 15 000 ha, et les coûts d'acquisition pour les trois vols se chiffraient à 55 000 \$, ce qui représente un coût de 306 \$ (1,22 \$/ha) pour une ferme de 250 ha. Ce coût est variable et dépend du nombre de fermes survolées, de leur distribution sur le territoire et de leur éloignement de l'aéroport. Dans cette étude, les 70 fermes se trouvaient à moins de 150 km de l'aéroport (Québec), et il y avait suffisamment de fermes pour amortir le coût du déplacement entre celles-ci et l'aéroport.

Tableau 4-Temps et coûts (avant taxes) des étapes de traitement des images pour une ferme dont la superficie est de 250 ha

Étapes	Description	Temps requis (min/ferme)	Coût total
Acquisition	Somme totale/nb de vols/ha*250		305,56 \$
Importation	Transférer les images pour leur utilisation dans le logiciel	5	3,33 \$
Mosaïque	Assemblage des images par ligne de vol	45	30,00 \$
Géoréférence	Positionnement des images dans l'espace	60	40,00 \$
Rééchantillonnage	Rectification de la géométrie des images	5	3,33 \$
Addition des données géographiques de la ferme	Ajouter les informations géographiques reliées au territoire de la ferme, tels les cours d'eau , le réseau routier, etc. ,	10	6,67 \$
Croquis des champs	Réalisation d'un croquis des champs sur les photos aériennes	120	80,00 \$
Numérisation des contours des champs	Numériser et effectuer la mise à jour des contours des champs de la ferme ainsi que de la ferme en général selon les lots.	180	120,00 \$
Validation des données	Validation des données au champ avec le producteur	120	80,00 \$
Description des métadonnées des couches numériques	Description des sources et des caractéristiques de chaque couche d'information géographique du plan de ferme réalisé.	10	6,67 \$
Réalisation de l'atlas numérique	Effectuer les mises en page et la construction de l'atlas numérique pour faciliter la consultation des paramètres environnementaux de la ferme.	20	13,33 \$
	Total	575	688,89 \$
N.B. Salaire horaire : 40 \$/h		coût/ha	2,76 \$

Le coût d'acquisition (306 \$) représente 48 % du coût total, qui s'élève à 689 \$, soit 2,76 \$/ha. Les étapes entourant le tracé des contours des champs et leur validation représentent 40 % de la facture totale, soit 1,12 \$/ha. Le coût de production du plan de ferme réalisé dans le cadre de cette étude (2,76 \$/ha) se compare avantageusement aux coûts de réalisation des plans de ferme utilisés par les clubs agroenvironnementaux au Québec, qui varient entre 3 \$/ha et 11 \$/ha selon la méthode et les outils utilisés. Les coûts les plus élevés sont obtenus lorsque les contours de champs sont relevés à l'aide d'un récepteur GPS.

Un nombre croissant de clubs utilisent les orthophotographies noir et blanc (1:40 000) pour réaliser leurs plans de ferme. Une orthophotographie est généralement suffisante pour couvrir une ferme de 250 ha. Son coût, de 57 \$, est très inférieur au coût d'acquisition des images calculé dans cette étude (306 \$).

Cependant, les images multispectrales donnent plus d'informations que les orthophotographies sur les aspects cultureux et environnementaux. De plus, les images multispectrales offrent une grande flexibilité d'acquisition, permettant ainsi d'optimiser leur utilisation pour la mesure de ces aspects. Finalement, le plan de ferme réalisé dans cette étude est disponible en format numérique facilement consultable par le producteur, qui peut, sans achat de logiciel, faire des mesures de ses champs et ajouter des données supplémentaires, tel l'historique des cultures et des pratiques culturales.

La rapidité de traitement des données, grâce entre autres au logiciel utilisé, explique pourquoi les coûts de la méthode proposée dans cette étude sont comparables à ceux du marché, malgré un coût supérieur d'acquisition des images.