

Détection du pin blanc dans l'Outaouais à partir d'images satellitaires à haute résolution IKONOS*

François Gougeon¹, Pierre Labrecque², Michel Guérin², Donald Leckie¹ et Andrew Dawson¹

¹Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique, 506 chemin Burnside ouest, Victoria, Colombie-Britannique, Canada, V8Z 1M5, fgougeon@pfc.forestry.ca

²CLC-Camint Inc., 227, boul. Saint-Joseph, Hull (Québec), Canada, J8Y 3X5, efg.pl@clc-camint.com

Résumé

L'intensification de l'aménagement forestier implique l'acquisition d'une information de plus en plus précise. Heureusement, les recherches effectuées à partir d'images aériennes de haute résolution spatiale (10-100 cm/pixel) permettent d'entrevoir à moyen terme l'identification semi-automatique d'espèces «à l'arbre près» et la délimitation de peuplements sur une base opérationnelle. La mise en service récente du satellite IKONOS (1 m/pixel) ouvre aussi de nouveaux horizons pour l'inventaire forestier. Dans cette optique, un projet de recherche a été conduit afin d'évaluer le potentiel de détection du pin blanc à partir d'images IKONOS et de comparer l'efficacité du progiciel d'analyse d'image «à l'arbre près» ITC (Individual Tree Crown) sur des images IKONOS pan-sharpened et panchromatique/multispectrale distinctes.

Les versions panchromatique (1m/pixel), multispectrale (4m/pixel), et pan-sharpened (1m/pixel) d'une scène IKONOS d'une région du nord-ouest du Québec (46°N, 77°O) furent obtenues et analysées avec le progiciel ITC. Après un lissage de l'image et la création d'un masque des régions non-boisées, les cimes d'arbres furent délimitées en suivant les vallées d'ombres entre elles. Des signatures furent créées pour le pin blanc et quelques autres essences puis, les cimes furent classifiées individuellement par un processus à maximum de vraisemblance. Malgré la présence d'un fin brouillard sur une partie importante de la scène, l'inventaire du pin blanc s'avère remarquablement précis lorsque comparée à l'interprétation de photos aériennes infrarouges ou l'échantillonnage au sol. L'utilisation de l'image pan-sharpened ne semble pas nuire à la classification des cimes et celle d'images panchromatique et multispectrale séparées, bien que plus coûteuse, apporte une précision additionnelle au dénombrement des tiges.

Abstract

The intensification of forest management implies the acquisition of information with ever increasing precision. Fortunately, research done using high spatial resolution (10-100 cm/pixel) aerial images allow us to think in terms of semi-automatic individual tree crown species identification and stand delineation on an operational basis in the no-so-distant future. The recent availability of the IKONOS satellite (1 m/pixel) also opens new horizons for forest inventory. Within this framework, a research project was carried out to evaluate the potential of white pine detection from IKONOS images and to compare the efficiency of the ITC (Individual Tree Crown) suite on pan-sharpened and on separate panchromatic/multispectral IKONOS images.

The panchromatic (1m/pixel), multispectral (4m/pixel), and pan-sharpened (1m/pixel) versions of an IKONOS scene of a region in the Quebec North-West (46°N, 77°W) were acquired and analysed with the ITC suite. After smoothing the image and creating masks of the non-forested areas, the individual tree crowns were delineated by following the valleys of shade between them. Signatures were created for white pine and a few other species and then, crowns were classified individually by a maximum likelihood process. In spite of haze over a significant part of the scene, the white pine inventory appears remarkably precise when compared with the interpretation of infrared aerial photographs and with ground plots. The use of the pan-sharpened image does not appear to hinder crown classification and that of separate panchromatic and multispectral images, although more costly, brings additional precision to stem counts.

* Presented at the 23rd Canadian Symposium on Remote Sensing / 10^e Congrès de l'Association québécoise de télédétection, Sainte-Foy, Québec, Canada, August 21-24, 2001.

Introduction

Au Québec, le processus actuel de création et de mise à jour de la carte écoforestière, basé sur l'interprétation de photographies aériennes, exige des ressources humaines et matérielles très importantes. Au terme de ce long processus, on obtient une description synthétique de chaque peuplement qui exprime, entre autres, la composition du couvert selon un modèle de stratification forestière du ministère des Ressources naturelles du Québec. L'appellation forestière décrit relativement bien les peuplements dans lesquels une espèce domine largement sur les autres. L'identification des espèces secondaires et compagnes dans le groupement d'essence s'avère plus imprécise et subjective. C'est le cas notamment du pin blanc, du chêne rouge et du bouleau jaune que l'on retrouve pourtant sur le terrain dans plusieurs strates mélangées et feuillues. Absentes de l'appellation forestière, ces espèces sont souvent mal représentées dans l'inventaire décennal.

L'intensification de l'aménagement forestier oblige l'aménagiste à avoir une information de plus en plus précise pour planifier ses travaux sylvicoles et ses coupes. Les recherches effectuées à partir d'images aériennes de haute résolution spatiale (10-100 cm/pixel) permettent d'entrevoir à moyen terme l'identification semi-automatique d'espèces à l'arbre près et la délimitation de peuplements sur une base opérationnelle (Gougeon *et al.*, 1999). La mise en service récente du satellite IKONOS à haute résolution spatiale (1 m/pixel) et la disponibilité prochaine d'un nombre croissant de satellites ayant une résolution spatiale supérieure permettent aussi de considérer la production semi-automatique d'inventaire forestier précis à partir d'images spatiales. La précision de l'identification, la répartition spatiale des espèces, la rapidité de production et la diminution des coûts sont autant de facteurs qui suscitent un vif intérêt.

Dans cette optique, un projet de recherche (CLC-Camint Inc., 2001) a été conduit afin :

- a) d'évaluer le potentiel de détection du pin blanc à partir d'images IKONOS ;
- b) de comparer l'efficacité du progiciel d'analyse d'image à l'arbre près ITC (Individual Tree Crown) sur des images IKONOS *pan-sharpened* et panchromatique/multispectrale distinctes ; et,

- c) de réaliser une étude comparative coûts/bénéfices entre cette approche numérique et la méthode traditionnelle d'acquisition de données dans un contexte de planification forestière.

Cet article décrit brièvement les techniques d'analyse d'image à l'arbre près employées pour détecter le pin blanc dans une région du Nord-Ouest québécois en utilisant une image IKONOS en version *pan-sharpened*, plus conviviale, et en version panchromatique/multispectrale distinctes, plus coûteuses. On y discute aussi l'effet sur les résultats de classification d'un fin brouillard sur une partie importante de la scène. La méthodologie et les résultats de l'analyse coûts/bénéfices n'y sont pas abordés (voir CLC-Camint Inc., 2001).

Images utilisées et région étudiée

Trois versions d'une image IKONOS d'une région du Nord-Ouest du Québec (46°N, 77°O) furent obtenues: les versions panchromatique (1m/pixel), multispectrale (4m/pixel), et *pan-sharpened* (1m/pixel). Cette dernière consiste en une fusion des deux premières selon une méthode non-documentée de Space Imaging, la société propriétaire du satellite IKONOS. Les effets potentiels (e.g., bruit) de cette fusion sur le traitement et l'analyse numérique de cette image constituait une préoccupation particulière. Par contre, le progiciel ITC s'accommode tout naturellement des images panchromatique et multispectrale séparées, faisant la délimitation des cimes des arbres avec la première, et leur classification avec la seconde. Malheureusement, les images séparées sont plus coûteuses (2x13US\$/km² vs. 17US\$/km²)* et n'offrent pas un aussi bon outil de visualisation. Il est donc important d'évaluer les avantages et désavantages de ces deux média. La scène fut acquise le 13 septembre 2000, à 16:08.

La zone d'étude est localisée à environ 150 km à vol d'oiseau de la grande région de Hull-Ottawa. D'une superficie approximative de 82 km², le territoire présente un relief ondulé où alternent collines basses et vallées. Le dénivelé est relativement faible avec une altitude qui oscille entre 200 et 400 m. Selon la cartographie écoforestière (feuille 31K03NO) du ministère des Ressources naturelles du Québec, les

* Depuis, la superficie d'acquisition minimale et les prix au km² ont augmentés.

peuplements à dominance feuillue dominant avec 46% de la superficie totale de la zone, les peuplements mélangés suivent avec 33% tandis que les peuplements à dominance résineuse n'occupent que 9% de la superficie boisée. De cette dernière, les peuplements à dominance de pin blanc (PBPB) occupent plus du tiers de la superficie, soit approximativement 3% de la zone d'étude. Bien entendu, le pin blanc se retrouve aussi comme espèce secondaire ou compagne dans les autres peuplements. Sa localisation spatiale à l'intérieur de ces peuplements est particulièrement d'intérêt.

Pour le repérage et la délimitation des zones d'entraînement et de validation servant à la classification des cimes, nous disposons d'une couverture complète de photographies aériennes infrarouge (1990) ainsi que d'une série de photographies aériennes obliques prises en juillet 2000. Près de 180 zones échantillons furent établies (Tableau 1). De plus, afin de valider sur le terrain les résultats de classification, un plan de sondage fut préparé et un inventaire sommaire des peuplements a été conduit. Ainsi, un total de 112 placettes à rayon variable (facteur 2) ont été visitées. Dans chaque placette, le technicien a noté l'espèce, le diamètre et la position sur un cadran de tous les arbres relevés grâce au prisme.

Méthodes et techniques

L'analyse de ces images IKONOS fut réalisée avec le progiciel ITC (Individual Tree Crown) du Service canadien des forêts (Gougeon, 2000). L'approche poursuivie, dite à *l'arbre près*, consiste normalement à identifier les régions boisées d'une image, à délimiter les cimes d'arbres qui s'y trouvent, et à les classer par une à partir de leurs signatures spectrales. La classification implique la sélection de zones échantillons représentatives des essences ou classes à séparer. La séparation des cimes à l'intérieur de ces zones permet le calcul d'une signature pour chaque arbre. Ces signatures sont regroupées pour créer la signature représentative de la classe. Un processus à maximum de vraisemblance est utilisé pour assigner une des classes à chaque cime de l'image. Les résultats de classification sont évalués à l'aide d'autres zones échantillons, préférablement indépendantes, ou à partir d'une vérification sur le terrain. L'information à *l'arbre près* peut alors être résumée pour une région donnée ou par peuplements, quand les peuplements existants sont considérés encore valables.

Prétraitements

Pour toute image multispectrale, il faut d'abord choisir la bande la plus appropriée à une bonne délimitation des cimes d'arbres, ou créer une image dite d'illumination. Avec l'image IKONOS *pan-sharpened*, la bande infrarouge fut utilisée étant donné sa sensibilité à la végétation et à l'illumination. Dans le cas des images IKONOS panchromatique et multispectrale distinctes, l'image panchromatique est toute indiquée étant donné sa résolution spatiale supérieure. L'image choisie est alors lissée à l'aide d'un filtre appliqué à chaque pixel et faisant la moyenne d'une fenêtre de 3x3 pixels.

La carte écoforestière, disponible sous forme numérique et en projection MTM, fut extraite du système d'information géographique, transformée sous projection UTM et intégrée au projet. Elle permet de facilement créer des masques éliminant les surfaces non-boisées, telles les lacs, les rivières, les marais, ... Un rehaussement très poussé de la bande bleue mit en évidence la présence d'un faible brouillard sur une partie importante de la scène. Un examen sommaire de signatures spectrales provenant de diverses sections de l'image permet de constater l'influence importante du brouillard sur celles-ci. La décision fut prise de faire une analyse séparée des régions affectées. Un masque fut donc créé pour les séparer des régions apparemment sans brouillard.

Délimitation des cimes d'arbres

La technique de délimitation des cimes repose sur la présence d'ombre entre les arbres (Gougeon, 1995). À partir de l'image d'illumination lissée, la délimitation s'opère en deux étapes. Premièrement, à partir des minima locaux de l'image, toutes les vallées d'ombres entre les arbres sont retracées pixel par pixel. Il en résulte une assez bonne, quoique souvent incomplète séparation des cimes d'arbres. Deuxièmement, un processus basé sur des règles d'opération au niveau du pixel et favorisant tout mouvement vers la droite tente de suivre le périmètre de chaque cime potentielle. Toute fermeture de ce périmètre correspond à la détection d'une cime ou d'un regroupement d'arbres. Des règles d'opération à un niveau supérieur tentent de séparer les cimes faisant parties d'un regroupement. Les objets qui résultent de tout ce traitement sont considérés des cimes d'arbres

pour le reste de l'analyse de l'image et sont traités individuellement.

Cette technique fonctionne bien avec les peuplements résineux de moyenne densité sur images aériennes de haute résolution spatiale. Elle fonctionne aussi avec les feuillus, mais la séparation des couronnes est moins bonne. Évidemment, quelle que soit l'essence, plus la résolution spatiale diminue plus la séparation des cimes se fait difficile. À la limite fonctionnelle supérieure (un m/pixel), on peut s'attendre à plus de groupes de cimes que de cimes individuelles. Les peuplements très ouverts, où l'on voit le sous-bois ou le sol, présente des complications particulières et font généralement l'objet de prétraitements spéciaux (ce qui n'est pas le cas pour cette étude). Les effets de la résolution spatiale sur la délimitation et la classification des cimes n'ont pas encore été quantifiés.

Signatures spectrales

Le procédé de classification dirigée implique le prélèvement de plusieurs zones échantillons pour chaque classe à identifier afin de créer leur signature spectrale (Tableau 1). Utilisant les résultats du procédé de délimitation, les cimes contenues dans chacune de ces zones peuvent être analysées. Les moyennes et la covariance des valeurs multispectrales des pixels de chaque cime deviennent la signature spectrale de cette cime, alors que les moyennes multispectrales et la covariance des cimes deviennent la signature spectrale d'une zone donnée. Chaque zone, choisie pour son uniformité et sa pureté, correspond à une essence forestière (ou à une classe plus générique). Occasionnellement, il faut créer plus d'une signature pour chaque essence. Par exemple, une signatures différentes quand les arbres sont situés sur un versant nord ayant beaucoup moins d'illumination directe ou, comme c'est le cas ici, des signatures distinctes pour les régions «avec brouillard » et «sans brouillard».

Il faut aussi choisir les classes judicieusement. Le sujet d'intérêt de cette étude étant le pin blanc, les autres classes furent choisies purement dans le but d'aider la discrimination de cette essence. Ces classes sont : «autres résineux», «bouleau jaune», «autres feuillus», et «régénération en feuillus». Elles sont pour la plupart de nature générique, à l'exception du «bouleau jaune». Cette dernière fut ajoutée parce que sa signature se rapprochait de celle du «pin

blanc», mais se distinguait quelque peu de la classe «autre feuillus». Par contre, due à l'absence de peuplements relativement purs de bouleau jaune dans la zone d'étude, il fut difficile de délimiter avec justesse des zones d'entraînement et de validation pures.

Classification des cimes

La classification des cimes est faite en utilisant un algorithme à maximum de vraisemblance; c'est à dire, en calculant une distance multispectrale entre la signature de chaque cime de l'image et celles des classes à distinguer, et en associant cette cime à la classe la plus rapprochée spectralement. Un seuil de confiance permet de laisser «non-classifiée» les cimes qui sont trop éloignées spectralement des classes considérées. Des classifications distinctes furent réalisées pour chacune des deux images (*pan-sharpened* et multispectrale) et chacune des deux situations (avec et sans brouillard), en utilisant leurs signatures correspondantes.

Considérations informatiques

La quantité de données à traiter et les exigences informatiques qui en découlent ont toujours été des considérations importantes en télédétection. Bien que les capacités de stockage de données et les vitesses des puces informatiques progressent à pas de géant, la question continue de se poser car nos attentes s'adaptent en conséquence : l'analyse des peuplements forestiers à partir d'une image Landsat amène à celle à *l'arbre près* d'une image IKONOS qui fait penser à l'inventaire ultra détaillé de toute une province. Essayons de mettre les choses en perspective.

Coté ressources informatiques, le procédé de classification est potentiellement le plus gourmand car il demande accès à toutes les bandes spectrales, aux signatures spectrales des classes, et au bitmap des cimes d'arbres de toute l'image; il produit une signature spectrale pour chaque cime, calcule les distances spectrales, la zone de confiance et le maximum de vraisemblance; et finalement, il produit autant de bitmaps qu'il y a de classes à distinguer. Pour notre image IKONOS *pan-sharpened* de 10264 pixels par 8072 lignes (environ 83 Mpixels) par quatre bandes spectrales, cela peut représenter une demande très forte de mémoire vive (et virtuelle), si l'accès ne se fait pas par groupe de lignes provenant directement du disque dur (méthode de programmation employée quand les

ressources informatiques sont faibles). Les bandes spectrales IKONOS ayant théoriquement plus que 8 bits de résolution radiométrique sont souvent stockées en images de 16 bits. De plus, certains systèmes d'analyse d'images les ingèrent et les traitent en utilisant 32 bits par pixel par bande. Ouvrir une telle image peut donc demander : $83\text{Mpixels} \times 4 \text{ bandes} \times 4 \text{ octets} = 1.3 \text{ Go}$ de mémoire. Et cela, sans compter qu'il faudra produire de 0.5 à 4 millions de signatures spectrales utilisant au minimum 100 octets chacune, un autre 400Mo. Les bitmaps (approx. 10Mo chaque) peuvent demander approximativement 100Mo additionnels, dépendant du nombre de classes. En comptant le programme lui-même, il existe une demande de l'ordre de 2Go pour traiter 82 km², ou 8200 hectares.

Même une telle demande ne présente pas de problème majeur pour un ordinateur moderne roulant à 1GHz, disposant de 512Mo de mémoire vive et de 2-3Go de mémoire virtuelle sur disque dur. Une classification à l'arbre près pourra s'y dérouler en moins d'une demi-heure, ce qui est très peu en considération du temps employé à créer et peaufiner les zones échantillons pour les signatures spectrales des classes et généralement, à se préparer à cette classification. En fait, c'est le procédé de délimitation des cimes à base de règles qui demande le plus de temps, environ deux heures, et il n'utilise qu'une seule image à niveaux de gris.

Résultats et discussion

Délimitation des cimes d'arbres

Après avoir masqué les zones non-boisées, la procédure de délimitation des cimes d'arbres a été appliquée aux images IKONOS panchromatique et *pan-sharpened*. Dans les deux cas, un examen visuel révèle une bonne correspondance avec les éléments principaux de la canopée. Étant donnée la faible résolution spatiale, beaucoup des cimes délimitées correspondent en fait à des groupes de cimes, et ce, de façon plus marquée pour l'image *pan-sharpened*. En effet, pour une zone d'environ 82 km², la délimitation sur l'image panchromatique a produit 860 166 entités distinctes, alors que celle faite sur l'image infrarouge *pan-sharpened* donne 580 744 entités. Cette dernière a d'ailleurs beaucoup plus de difficulté à isoler les arbres des jeunes peuplements. La délimitation sur l'image panchromatique paraît donc supérieure à celle

sur l'image *pan-sharpened*, mais les exactitudes de délimitation et de densité des peuplements n'ont pas été étudiées. De plus, la différence entre les deux médias peut ne pas être importante pour certaines applications forestières.

Classification des cimes

Des signatures spectrales furent créées à partir de plusieurs zones échantillons d'entraînement distinctes pour chacune des cinq classes et pour les deux situations d'acquisition (avec et sans brouillard). Les cimes d'arbres furent classifiées séparément pour chacune de ces deux zones (avec et sans brouillard) et chacune des deux images IKONOS (multispectrale et *pan-sharpened*). Le tableau 2 présente les résultats de classification des cimes tels qu'établis avec des zones échantillons de validation indépendantes (Tableau 1).

Les classifications des zones dépourvues de brouillard semblent raisonnables, que ce soit avec l'image multispectrale ou avec la *pan-sharpened*. La précision, telle qu'obtenue avec des zones tests, s'étale entre 63% et 86%, sauf pour le bouleau jaune où elle est nettement plus faible (42% et 40%). Ceci s'explique par la difficulté à trouver le bouleau jaune en peuplements ou en groupes uniformes et donc, à créer de bonnes signatures spectrales et aussi, à tester avec des zones tests supposées « pures ». Les différences entre les deux types d'images ne sont que de 3.8% en moyenne (de 1 à 6%), illustrant le peu d'effet que l'utilisation de la *pan-sharpened* a sur la classification des cimes.

Les différences de classifications entre les zones dépourvues de brouillard et celles avec brouillard sont importantes, quelque soit le média employé. Elles sont de l'ordre de 11,6 et 14,4% en moyenne, avec des écarts importants allant jusqu'à 30 et 29%, pour l'image multispectrale et la *pan-sharpened*, respectivement. De plus, contrairement aux classifications des zones sans brouillard, la différence entre les deux types d'images est importante, de l'ordre de 14,6% en moyenne, avec des écarts allant jusqu'à 33% (voir classe «Autres feuillus»). Cette grande instabilité, malgré l'utilisation de signatures distinctes pour les régions couvertes par le brouillard, semble confirmer que, malgré toutes les apparences, le brouillard n'était pas assez uniforme.

Le pin blanc, le sujet principal de cette étude, est raisonnablement bien classifié (59-70%). De plus, la concordance avec un examen des photos aériennes infrarouge semble très bonne. Il est quelque peu confondu avec des feuillus environnants lorsque ces groupements d'arbres se trouvent sur des pentes fortes, et de manière moins importante, avec les *Autres résineux*. La concordance avec la réalité du terrain est aussi très enviable et s'applique autant au pin blanc qu'aux autres classes. Des 112 placettes à rayon variable visitées, 50% des placettes ont démontré une bonne correspondance avec la classification, 37% une correspondance moyenne, et 13% seulement une correspondance faible. Cela peut se traduire par un taux de réussite oscillant entre 50 et 87%.

Pour la région dépourvue de brouillard, la classification des cimes avec l'image *pan-sharpened* semble mener à des résultats comparables (3.8%) à ceux de la multispectrale. Peut-on alors conclure que le procédé de fusion utilisé par Space Imaging pour créer la *pan-sharpened* ne présente pas de désavantage? Il est trop tôt pour le dire. Les résultats de classification sont bons, mais comparables au Landsat pour des classes aussi séparables que le pin blanc, les feuillus, les résineux et la régénération. Il faudra donc tester la classification avec des essences plus spécifiques et un nombre supérieur de classes, ce qui demandera des différenciations spectrales plus fines et remettra sérieusement en question ce procédé de fusion et même, la résolution radiométrique des bandes spectrales du satellite. De plus, il faut prendre en considération que la nature même du processus de vérification utilisé favorise l'obtention de résultats de classification supérieurs. En effet, la vérification se fait à partir de zones échantillons choisies spécifiquement pour être les plus pures possibles. Les arbres d'une même espèce s'y trouvent côte à côte et leur classification est donc peu embarrassée par un pixel de quatre mètres. Seule une vérification à l'arbre près dans des peuplements très mélangés pourra être convainquante.

Conclusion

Une étude de la faisabilité, de l'utilité et des coûts d'une méthode d'analyse d'images à l'arbre près pour la détection du pin blanc dans l'Outaouais québécois à partir d'images IKONOS mena à des résultats encourageants. L'information plus précise sur la répartition

spatiale du pin blanc fournie par cette approche devrait faciliter la planification des travaux sylvicoles et des coupes. De plus, les résultats de l'analyse coûts/bénéfices (CLC-Camint Inc., 2001) révèlent que pour des coûts comparables, l'analyse d'images à l'arbre près procure une information additionnelle importante. Ce projet fut aussi l'occasion d'un début de transfert technologique prometteur des milieux de recherche gouvernementaux à l'industrie privée.

L'étude ne permet pas encore de conclure sur l'efficacité d'utiliser l'image *pan-sharpened*, moins coûteuse et plus conviviale, par rapport à l'utilisation d'images panchromatique et multispectrale séparées, la première servant à la délimitation des cimes d'arbres et la deuxième, purement à la classification des essences. La présence d'un fin brouillard sur une partie substantielle de l'image compliqua l'analyse, obligeant à produire deux classifications distinctes, avec toutes les zones d'entraînement et de vérification additionnelles que cela implique. Le brouillard n'étant pas constant, une analyse en plusieurs sections ne garantit pas toujours de bons résultats. Ceux-ci sont naturellement moins fiables pour les régions sous brouillard. Malheureusement, ce genre de brouillard fin est difficile à repérer et ne constitue pas pour l'instant un critère valable pour retourner une image à son distributeur.

Fort de cette expérience, nous entreprenons une étude plus substantielle visant la classification à l'arbre près des espèces commerciales les plus importantes, la création de polygones de peuplements de manière semi-automatique, et le transfert de cette information à un système d'information géographique pour deux régions très distinctes représentant deux strates du Nord-Ouest québécois : une région à dominance d'éraablières et une à dominance de sapinières. Il sera ainsi possible d'explorer l'utilité des images IKONOS et les effets de leurs résolutions spatiale et radiométrique sur l'identification d'une plus grande variété d'essences. La disponibilité prochaine d'un nombre croissant de satellites ayant une résolution spatiale supérieure (par exemple, EROS-B à 82 cm/pixel, QuickBird-2 à 61 cm/pixel) et le perfectionnement continu des méthodes d'analyse d'images à l'arbre près nous permettent d'envisager à moyen terme la production semi-automatique d'inventaires forestiers précis.

Remerciements

Ce projet a été rendu possible grâce à la contribution financière des Industries Davidson Inc. dans le cadre du Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier (Volet I 1999-2000) du ministère des Ressources naturelles du Québec.

Références

Gougeon, F.A. 1995. A crown-following approach to the automatic delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images. *Can. J. Rem. Sens.* 21(3):274-284.

Gougeon, F. 2000. Vers l'inventaire forestier semi-automatique par la reconnaissance individuelle des cimes des arbres. Notes de transfert technologique. Centre de foresterie du

Pacifique, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Victoria, C.-B., Numéro 22, septembre 2000, 6 p.

Gougeon, F.A., D. Leckie, I. Scott, et D. Paradine. 1999. Individual tree crown species recognition: the Nahmint study. Pages 209-223 in Hill, D.A. and Leckie, D.G., eds. Actes du forum international: Automated Interpretation of High Spatial Resolution Digital Imagery for Forestry. 10-12 février 1998. Victoria, C.B., Canada. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Victoria, C.B., Canada.

CLC-Camint Inc. 2001. Application d'une méthode d'identification géospatiale du pin blanc à partir d'images satellitaires à haute résolution IKONOS. Rapport final: Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier Volet I. Avril 2001, 34 p.

Tableau 1 - Zones d'entraînement et de validation par classes de végétation

	Sans brouillard		Avec brouillard	
	Entraînement	Validation	Entraînement	Validation
Pin blanc	17	7	8	5
Autres résineux	19	8	20	6
Bouleau jaune	11	12	2	4
Autres feuillus	9	6	6	4
Régénération	6	9	11	9

Tableau 2 - Pourcentages d'exactitude par classe de végétation

	Multispectrale	Multispectrale	<i>Pansharpened</i>	<i>Pansharpened</i>
	Sans brouillard	Avec brouillard	Sans brouillard	Avec brouillard
Pin blanc	70%	70%	64%	59%
Autres résineux	78%	73%	77%	75%
Bouleau jaune	42%	62%	40%	69%
Autres feuillus	63%	93%	69%	60%
Régénération	82%	79%	86%	59%



Figure 1 – Polygones de la carte écoforestière actuelle superposés sur une section de l’image IKONOS *pan-sharpened*. On y devine bien les peuplements composés majoritairement de feuillus en teinte rose et ceux de conifères en plus foncé (image originale de style infrarouge couleur). On y voit aussi les lacs et leurs multiples reflets, ainsi que les zones marécageuses (tons de brun) qui leurs sont généralement associées. Notons que l’alignement entre les polygones et l’image est meilleur dans certaines régions que d’autres.

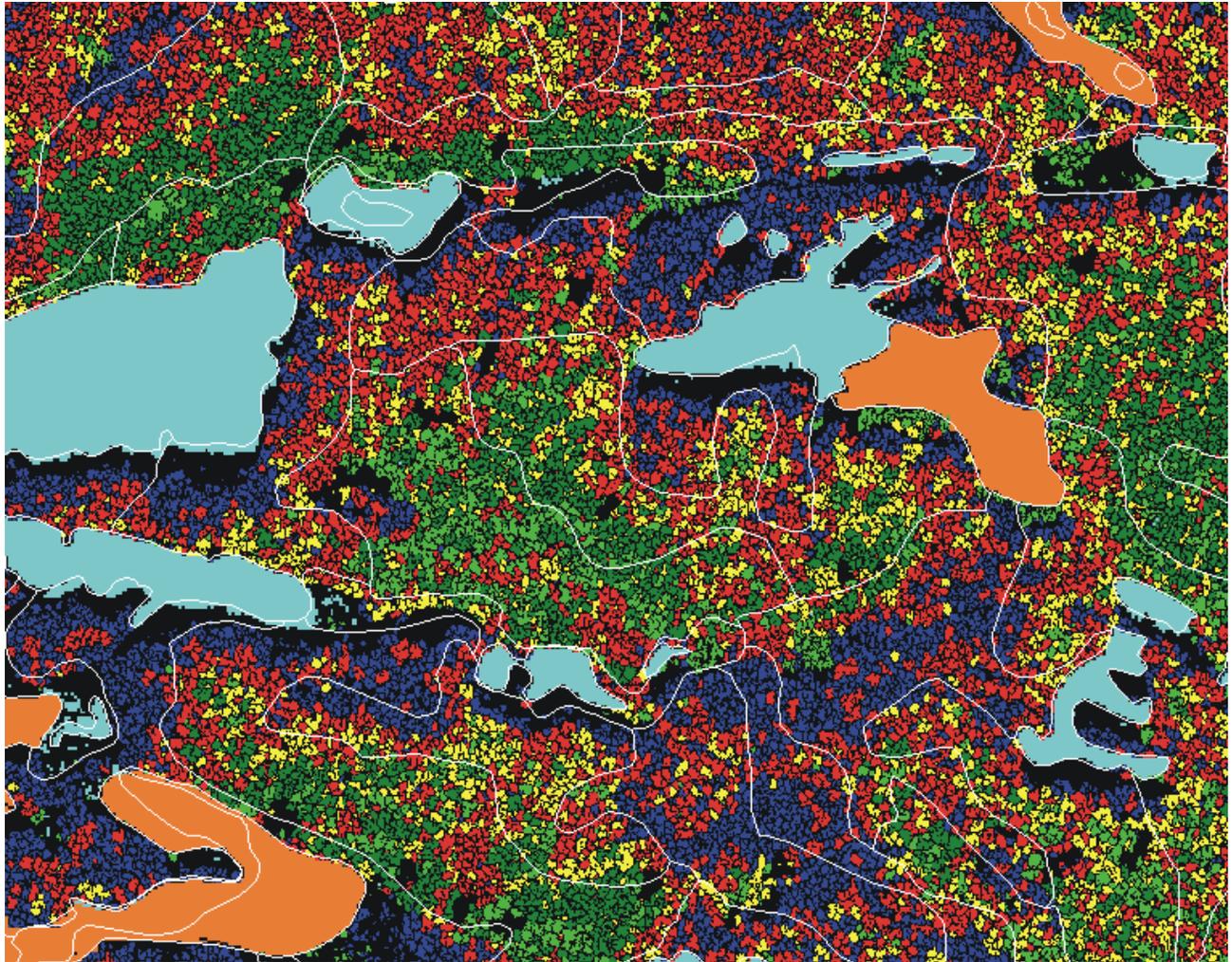


Figure 2 – Les arbres de la section d’image IKONOS en figure 1 tels que délinés et classifiés par le progiciel ITC. Les classes sont les suivantes : pin blanc (en rouge), autres résineux (en bleu), bouleau jaune (en jaune), autres feuillus (en vert), et régénération (en vert pâle). Les zones marécageuses (orange) et les lacs (en bleu pâle) proviennent de la carte écoforestière, avec certains réajustements (N.B. : L’image originale est en couleur).