

ISPRS MID-TERM SYMPOSIUM

**GLOBAL AND ENVIRONMENTAL MONITORING
TECHNIQUES AND IMPACTS**

**SEPTEMBER 17-21, 1990
VICTORIA CONFERENCE CENTRE
VICTORIA, BRITISH COLUMBIA
CANADA**



COMMISSION VII

**INTERPRETATION OF PHOTOGRAPHIC AND
REMOTE SENSING DATA**

L'INTERPRÉTATION D'IMAGES SATELLITE ACCENTUÉES :
UNE MÉTHODOLOGIE QUI A FAIT SES PREUVES AU QUÉBEC

Jean Beaubien
Centre foresterie des Laurentides (C.F.L.)
Forêt-Canada
Sainte-Foy (Québec)

Danielle Pilon
Centre québécois de coordination de la
télé-détection (C.Q.C.T.)
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Sainte-Foy (Québec)

Commission VII

RÉSUMÉ

La recherche en télé-détection satellitaire a principalement porté sur le développement de méthodes de classification automatisée visant des résultats rapides et objectifs directement intégrables aux données de systèmes d'information à référence spatiale (SIRS). Mais, à cause de la complexité des couverts au sol, particulièrement en terrains forestiers et d'autres facteurs (atmosphériques, phénologiques, etc.), il s'avérait souvent difficile de classifier adéquatement un territoire sur la seule base d'analyse numérique de ses caractéristiques spectrales. Ceci a poussé le Centre de foresterie des Laurentides (C.F.L.) de Forêt-Canada à orienter ses recherches vers l'accentuation numérique de l'image pour fins d'interprétation visuelle. Ainsi l'interprète, intégrant le domaine spectral et spatial de l'image, met son expérience et ses connaissances à profit pour aider à lever les confusions spectrales inévitables. Plusieurs organismes au Québec ont reconnu l'efficacité de cette approche et l'ont utilisée ou adaptée à divers besoins.

Les techniques d'accentuation de l'image ont évolué au cours des années en fonction de l'avancement de la recherche et des objectifs poursuivis. La transformation en composantes principales (TCP) fut particulièrement exploitée. Une méthodologie fut développée pour produire des accentuations dirigées en contrôlant la rotation et la translation des axes par un échantillonnage particulier de l'image et en étalant ou segmentant les composantes finales habituellement visionnées suivant la structure de couleurs "Taylor" (brillance, rouge-vert, bleu-jaune). Pour éviter l'échantillonnage difficile à systématiser, des recherches ont conduit à substituer la TCP par de simples combinaisons linéaires de bandes spectrales. Pour obtenir des résultats plus constants, les bandes spectrales sont préalablement calibrées suivant un procédé statistique et/ou thématique.

Jusqu'à récemment, les accentuations finalement sélectionnées étaient interprétées par le biais de diapositives projetées sur une carte de base. Aujourd'hui, pour répondre au besoin d'un produit final sous forme numérique intégrable aux banques de données, on a souvent recours à une "station

d'interprétation numérique interactive" permettant de tracer les polygones directement sur un visuel et de les emmagasiner sous forme numérique.

Depuis une dizaine d'années, cette méthodologie "accentuation-interprétation" a été utilisée au Québec pour la réalisation de plusieurs projets d'envergure. Les principaux organismes utilisateurs ont été : le C.F.L., le Centre québécois de coordination de la télé-détection (C.Q.C.T.), le Service de l'inventaire forestier (SIF), le Service de la protection contre les insectes et les maladies (SPIM), Hydro-Québec (H.Q.) et d'autres, incluant quelques firmes privées.

Parmi les projets réalisés, mentionnons la cartographie du couvert végétal de vastes territoires nordiques dans le cadre d'études environnementales, la réalisation de cartes de synthèse forestière (1:125 000), et l'évaluation sur de vastes territoires de la régénération forestière et des dommages causés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Il y a eu aussi des applications en inventaire des tourbières du Québec septentrional.

Cette méthodologie d'interprétation d'images accentuées par traitement numérique a permis d'apprécier au Québec les capacités de l'imagerie satellitaire qui, grâce à une vision globale incomparable de vastes territoires, s'avère un excellent outil d'aménagement.

ABSTRACT

Research on remote sensing from satellite has concentrated on automated classification methods aimed at rapid and objective results directly integrable to GIS systems. But, because of the usual complexity of land covers, mainly in forested areas, and other factors (atmospheric, phenological, etc.), it is often difficult to clarify a piece of land only from the digital analysis of its spectral characteristics. This pushed Laurentian Forestry Centre (LFC) of Forestry Canada to concentrate research on digital enhancement of images for purpose of analog interpretation. Integrating the spectral and spatial domain, the interpreter uses knowledge and experience to clarify the

inevitable ambiguities that accompany the use of spectral data. Many organizations in Quebec have recognized the effectiveness of this approach and have applied it for their purposes.

Image enhancement methodologies have evolved over time in accordance with research progress and project objectives. We took particularly advantage of the principal component transformation (PCT). A methodology was developed to produce various enhancements drawn from specified samplings of the image, selectively stretching or segmenting the image components and viewing the results through the Taylor look-up table (brightness, red-green, blue-yellow). To avoid the hard-to-systematize sampling, research led to replacing PCT with simple linear combinations of spectral bands. To obtain more constant results, the spectral bands are first calibrated on a statistical and/or thematic basis.

So far the final enhancements have been mainly interpreted by projecting transparencies of the enhancements into a base map. To meet the present needs for a final product in digital form (GIS), the interpretation is now commonly done on a digital work station where the polygons traced on a monitor are directly saved in a data bank.

The "enhancement-interpretation" methodology has been used operationally in Quebec for the past fifteen years. Some of the main users were : L.F.C., the "Centre québécois de coordination de la télédétection" (C.Q.C.T.), the Québec Forest Inventory Section and Insects and Diseases Section, Hydro-Québec and others including the private sector. The applications were : vegetation cover mappings of large northern territories in the frame work of environmental studies, general forest inventory maps (1:125 000), evaluation over large areas of forest regeneration and damages caused by spruce budworm. There have also been applications in bug inventory.

This methodology of interpreting digital enhancements allowed to take advantage of satellite imagery in Quebec. Offering an incomparable overall view of large territories, it is an excellent synthesis tool for management.

MOIS CLÉS : imagerie satellitaire, méthodologies d'accentuation, interprétation et cartographie, applications au Québec.

INTRODUCTION

Depuis plus de quinze ans maintenant, la télédétection par satellites est l'objet d'études très variées visant à développer des méthodologies de traitements numériques pour l'application de l'image satellitaire à l'inventaire et à la surveillance de nos ressources naturelles. Les efforts de recherche ont surtout été axés sur le développement de méthodes de classification automatisée visant à obtenir des résultats rapides et objectifs directement intégrables aux données de systèmes d'information à référence spatiale (SIRS).

Mais, à cause de la fréquente hétérogénéité des couverts au sol, particulièrement des couverts forestiers, il est souvent difficile de classifier adéquatement un territoire sur la seule analyse de ses caractéristiques spectrales.

Les changements phénologiques, la topographie (pente, exposition) et la variation éventuelle de la couche atmosphérique sur une image ou entre deux images juxtaposées sont autant de facteurs qui augmentent les risques de confusions dans les résultats de classifications automatisées.

À la fin des années 70, ceci a poussé le Centre de foresterie des Laurentides (C.F.L.) à orienter ses recherches en télédétection satellitaire vers l'accentuation numérique de l'image pour fins d'interprétation visuelle. Ainsi l'interprète, intégrant le domaine spectral et spatial d'une scène, met son expérience et ses connaissances à profit pour aider à lever les confusions spectrales inévitables. Plusieurs organismes au Québec ont reconnu l'efficacité de cette approche et l'ont utilisée ou adaptée à leurs besoins. Une interprétation assistée par ordinateur (Audet et al., 1985) permet un retour au support numérique des résultats destinés à alimenter une banque de données.

Après un sommaire des principales techniques d'accentuation numérique développées particulièrement au Québec, nous discuterons des principaux projets qu'elles ont contribué à réaliser.

L'IMAGERIE SATELLITAIRE

La méthodologie "accentuation-interprétation" a d'abord été élaborée pour l'imagerie Landsat-MSS : 80 m de résolution et couvrant une partie du spectre visible (vert (V), rouge (R)) et deux bandes du proche-infrarouge (PIR). Malgré cette faible résolution spatiale et spectrale (les bandes du visible étant fortement corrélées ainsi que celles du PIR) les images MSS ont bien servi les objectifs de certains projets d'emvergure.

En plus d'être d'une résolution accrue (30 m), l'imagerie Landsat TM couvre une plus large portion du spectre électro-magnétique. En plus des bandes spectrales captées par MSS, le capteur TM enregistre des réflectances dans le bleu (B) et dans deux bandes du moyen infrarouge (MIR). La méthodologie d'accentuation a été modifiée en fonction de ce nouveau jeu de bandes spectrales qui offre plus de possibilités. Il est généralement admis que l'addition de toutes les bandes spectrales n'apporte guère plus de discrimination entre les objets au sol qu'un choix judicieux de 2, 3 ou 4 bandes choisies en fonction des buts d'un projet. Il est également reconnu qu'une bande de chacune des trois zones du spectre, soit le visible, le proche-infrarouge et l'infrarouge moyen, soit une heureuse combinaison pour une discrimination générale en milieu végétal. L'étude de matrices de corrélation et de vecteurs propres (Tableau 1) issus de transformations en composantes principales (TCP) a suggéré le choix des bandes 3 (R), 4 (PIR) et 5 (MIR) tel que suggéré par d'autres auteurs (Benson et De Gloria, 1985; Horler et Ahern, 1986). De toutes façons, les bandes du visible (1, 2, 3) sont très corrélées entre elles, ainsi que les bandes du MIR (5, 7). La bande PIR (4) est particulièrement individualisée et la plus informative (Shen et al., 1985). La bande 1 (B) a été évitée parce que particulièrement affectée par la variation de la couche atmosphérique causant fréquemment des problèmes additionnels au cours de la réalisation de projets couvrant de vastes territoires.

Tableau 1. Valeur et vecteurs propres d'une transformation en composantes principales (TCP) issue d'un échantillonnage général du couvert forestier sur une scène TM. La matrice suggère le choix des bandes spectrales 4, 5 et 3 (ou 1).

Composante principale	Valeur propre	Bande spectrale					
		1	2	3	4	5	7
<u>Vecteurs propres</u>							
1	1163,2	0,09	0,10	0,09	<u>0,75</u>	<u>0,62</u>	0,10
2	268,6	0,20	0,12	0,24	<u>-0,64</u>	<u>0,57</u>	0,39
3	10,1	0,54	0,42	<u>0,57</u>	0,13	-0,42	0,07

Les images SPOT ont été peu utilisées jusqu'à maintenant. Des études récentes ont démontré que, malgré une plus forte résolution, 20 m en mode multispectral et 10 m en panchromatique, leur résolution spectrale n'offre pas le potentiel de discrimination auquel l'imagerie TM nous a habitués, particulièrement pour le couvert forestier. L'absence d'une bande spectrale située dans la zone du MIR limite certaines applications, comme l'appréciation du niveau de défoliation en forêt ou l'évaluation de la régénération. En effet, les images multispectrales SPOT ne couvrent que trois zones de spectre : V, R et PIR. Par contre, l'image panchromatique apporte plus de finesse dans les détails planimétriques.

LES MÉTHODOLOGIES D'ACCENIATION

L'accentuation a pour but d'augmenter les contrastes entre les réflectances des divers objets apparaissant sur une image pour faciliter leur identification dans un processus d'interprétation analogique. Les systèmes de traitement numérique, quoique d'abord utilisés pour l'analyse statistique, la correction et la classification des données, sont d'excellents outils d'accentuation.

Les compositions colorées

Les accentuations les plus communes proviennent de la superposition de trois bandes spectrales sur les canaux rouge, vert et bleu d'un écran cathodique ou d'un synthétiseur d'images. Les données numériques sont habituellement étalées pour une meilleure exploitation des coloris disponibles. La superposition des bandes R, V et B donne une image aux couleurs normales, celle des bandes PIR, R et V une image fausses-couleurs IR. Cependant les bandes TM PIR, MIR et R adéquatement étalées produisent des compositions colorées particulièrement riches en informations sur le milieu végétal. Entre autres, on y distingue bien le résineux du feuillu, le résineux mûr du résineux plus jeune, de même que la défoliation qui apparaît d'un verdâtre caractéristique. Cette composition sert souvent d'image de départ pour guider les traitements numériques subséquents ou l'échantillonnage au sol.

Les composantes principales

La transformation en composantes principales (TCP) est reconnue comme étant une technique particulièrement efficace pour accentuer des images multispectrales. Par analyse multivariée les données sont décorrélatées pour produire de nouvelles composantes-image apportant plus de contraste entre les objets au sol.

Une première méthodologie d'utilisation fut développée pour l'imagerie Landsat MSS (Beaubien, 1984a, 1986a). Les principales étapes consistent à fabriquer une image de base pour faciliter l'échantillonnage de l'image, à échantillonner les principaux types de couvert et à calculer les deux premières composantes principales sur la base des statistiques issues de l'échantillonnage. Ces composantes étaient visionnées par le biais de la structure de couleurs "Taylor" (Taylor, 1974), la première occupant les axes "brillance" et "bleu-jaune", la deuxième l'axe "rouge-vert". Un étalement sélectif des données réparties sur les trois axes permettait de modifier l'image pour l'adapter au type d'interprétation souhaitée. Pour obtenir une image aux couleurs mieux définies, donc plus facile à interpréter, les composantes-image étaient couramment affichées en 3, 2 et 2 bits seulement. Les 128 couleurs résultantes simulaient une classification pouvant être modifiée par étalement d'histogrammes.

Avec l'avènement de Landsat 4, TM, transmettant une imagerie d'une résolution spatiale et surtout spectrale accrue, cette méthodologie a dû être repensée (Beaubien, 1987). L'addition des bandes couvrant le MIR ajoute une troisième dimension significative aux données TM, comparativement à celles de MSS qui formaient essentiellement une structure à deux dimensions (Kauth et Thomas, 1976). La troisième composante principale devient ainsi plus informative même si sa variance totale demeure relativement faible par rapport aux deux premières.

Les deux principales modifications par rapport à la précédente méthodologie-MSS résident dans l'exploitation d'une troisième composante principale et l'élaboration d'un processus plus systématique d'échantillonnage de l'image pour la TCP. La composition colorée issue de la superposition des bandes spectrales 4 (PIR), 5 (MIR) et 3 (R) étalées sur les canaux rouge, vert et bleu sert généralement d'image de base pour

l'échantillonnage. Après l'essai de plusieurs types d'échantillonnage et l'analyse des matrices de vecteurs propres correspondantes, il est apparu que l'échantillonnage usuel incluant la majorité des couverts au sol avait avantage à être réduit à quelques couverts pour ainsi mieux contrôler la TCP suivant le poids accordé à chacun d'eux. En milieu forestier, par exemple, un échantillonnage comprenant du résineux et du feuillu dense, accompagné de quelques zones dénudées, s'est avéré suffisant pour obtenir des résultats proches de ceux issus d'une sélection plus variée. Ces trois types de couvert, se situant aux extrémités des histogrammes des bandes spectrales, ont un maximum d'influence sur la transformation des données (rotation et translation d'axes). La Figure 1 localise des types de couvert forestier sur les histogrammes des composantes principales étalées sur les axes de l'espace-couleurs Taylor, issues d'un échantillonnage simplifié se limitant aux résineux (40 %), feuillus (40 %) et dénudés (20 %). Le type et la proportion d'échantillons (pixels) contrôlent la transformation souhaitable, fonction des objectifs d'un projet. Pour l'imagerie TM, les composantes principales étaient aussi affichées avec une résolution (niveaux de gris) réduite dans le but de synthétiser l'information et de faciliter l'interprétation.

Tableau 2. Contribution des bandes spectrales TM aux combinaisons linéaires de bandes généralement suggérées pour des accentuations en milieu forestier.

Composante image	Axe "Taylor"	Contribution des bandes spectrales TM		
		3	4	5
1	Brillance	-	+ G	+ M
2	Rouge-vert	-	- M	+ G
3	Bleu-jaune	+ G	+ F	- M

G : grande

M : moyenne

F : faible

Les combinaisons linéaires de bandes spectrales

La TCP est basée sur les statistiques d'échantillons-image sélectionnés par l'opérateur en fonction des objectifs d'un projet. L'identification thématique de ces échantillons devient un élément déterminant pour la suite du processus. La réalisation de plusieurs projets par TCP a démontré que la subjectivité de l'échantillonnage constituait un des principaux problèmes d'exécution.

La TCP étant une projection dans l'espace des éléments d'une image sur des axes orthogonaux, produit des composantes-image découlant d'apports des bandes spectrales proportionnellement aux valeurs des vecteurs propres. Des recherches ont conduit à remplacer la TCP par de simples combinaisons ou addition pondérées des bandes spectrales jugées les plus informatives (Beaubien, 1990). L'expérimentation a démontré que ces combinaisons étaient une façon souple d'obtenir l'accentuation souhaitée sans l'intermédiaire d'un échantillonnage difficile à systématiser. Aussi les axes de l'image recherchés ne sont pas nécessairement orthogonaux tels que ceux issus d'une transformation en composantes principales (TCP).

Le but poursuivi est toujours le même que celui visé par les précédentes méthodologies basées sur une TCP : atteindre une certaine distribution des couverts au sol le long des trois axes de la structure de couleurs généralement utilisée : brillance, rouge-vert, bleu-jaune. Par exemple, pour l'imagerie TM en milieu forestier, la première composante-image (axe brillance) est habituellement dominée par la bande 4 (PIR) auquel est ajouté un pourcentage de la bande 5 (MIR) pour que les dénudés, occupant les hautes valeurs, contrastent avec les milieux arborescents (tableau 2). Les conifères défoliés apparaissent alors d'un ton plus clair que les conifères plus sains, facilitant ainsi leur localisation. La deuxième composante, opposant les peuplements sains à ceux qui sont défoliés ou aux zones dénudées, s'obtient par une dominance de la bande 5 (MIR) auquel est soustrait un pourcentage de la bande 4 (PIR). La troisième composante, particulièrement décorrelée des deux premières, oppose différents milieux dénudés ou dégarnis de feuillage. Elle est composée d'une dominance de la bande du visible 3 (R), suivi d'un apport négatif moyen de la bande 5 (MIR) et d'un léger apport positif de la bande 4 (PIR).

La segmentation des composantes-image

Pour synthétiser l'information et faciliter l'interprétation, les composantes-images sont généralement affichées avec une résolution numérique (niveaux de gris) réduite. La réduction du nombre de "bits" attribués à chacune des composantes constitue la méthode habituelle pour obtenir une telle segmentation et une image résultante aux couleurs simplifiées et mieux définies. Pour plus de souplesse, le C.Q.C.T. a développé une programmation (Grenon, 1987) permettant de fixer le nombre et les limites inférieures et supérieures des segments, ainsi que leur intensité individuelle (de 0 à 255). Le déplacement d'une limite d'un segment ou d'une tranche équivaut à l'étalement bien connu "piecewise stretch" (Figure 1).

Il peut être souhaitable de modifier une accentuation pour la rendre plus fidèle aux connaissances acquises du terrain ou pour favoriser la discrimination de certains couverts. La modification de la segmentation des composantes-image destinées à être visionnées suivant la structure de couleurs "brillance, rouge-vert, bleu-jaune", constitue une façon efficace d'y parvenir. Les patrons de l'image

sont fonction de la position des limites fixées entre segments, et les contrastes sont fonction de leur intensité. Ainsi, en forêt, il est possible d'augmenter les aires occupées par le résineux dense ou les peuplements défoliés.

Calibration des scènes multidates

Ces processus d'accentuation numérique de l'imagerie satellite s'inscrivent dans le cadre d'une recherche visant à mettre au point des méthodologies capables de produire des images aux relations couleurs-objets au sol relativement stables quelle que soit la scène traitée ou le territoire étudié. Cet objectif demeure difficile à atteindre. Du aux conditions phénologiques et atmosphériques prévalant au moment du captage des données, chaque scène revêt des caractères particuliers affectant, pour chacune des bandes spectrales, la valeur relative des réflectances des objets au sol. Conséquemment, les histogrammes des composantes-images issues d'une TCP ou de combinaisons linéaires de bandes ont une distribution de végétation variable. Ces variations étant ordinairement faibles, l'allure générale des patrons de couleurs d'images provenant de données de dates et de localisations différentes demeure sensiblement la même, leur signification pouvant cependant différer.

Les corrections radiométriques usuelles basées sur le calage des nappes d'eau ne semblant pas suffisantes, d'autres types de calibration ont été développés. Pour des scènes individuelles sans chevauchement, une calibration thématique contribue à systématiser les résultats. Pour chacune des bandes spectrales utilisées, certains types de couvert sont a priori fixés à des niveaux de réflectance déterminés par étalonnages linéaires ("piecewise stretch"). Les couverts sont choisis principalement de manière à fixer les extrémités des bandes spectrales. En territoire forestier, les nappes d'eau, le conifère mûr et dense, le feuillu dense et les aires dénudées semblent être un choix approprié. Dans le cas de scènes se chevauchant, il est plus simple de calibrer la moyenne et l'écart-type d'une surface commune. La surface choisie ne doit cependant pas avoir subi de changements entre les deux dates de captage des images. Dans certains cas, une calibration thématique subséquente contribue à compenser pour de légères variations phénologiques ou dues à la croissance annuelle de la végétation.

Classification de l'image accentuée

Les méthodes d'accentuation décrites plus haut produisent des images aux patrons définis, orientées pour une meilleure représentation possible du territoire à l'étude. Comme leurs composantes sont exprimées en niveaux de gris volontairement réduits, elles peuvent être qualifiées de "pseudo-classification". Par exemple, une image dont les trois composantes sont respectivement segmentées en 8, 5 et 4 tranches ne renferme qu'un maximum de 160 couleurs dont une trentaine dominent dans les principaux couverts, les autres étant des tons intermédiaires représentés par des pixels plus ou moins isolés. Les couleurs significatives dont la représentativité est connue peuvent être regroupées pour disséquer l'image en classes

statistiques ou pour la classification de thèmes à superposer à l'accentuation. Certains thèmes sont déjà bien identifiés par une seule couleur. Pour ce faire, l'accentuation choisie est montée sur le visuel et la valeur numérique de la ou des couleurs, représentant chacun des thèmes à classer, est notée pour chacune des trois composantes-image segmentées. Par la suite, un simple algorithme de classification par parallélépipèdes permet de classer les thèmes (couleurs) sélectionnés suivant leurs trois valeurs minimums et maximums.

INTERPRÉTATION ET CARTOGRAPHIE

La majorité des projets réalisés jusqu'à maintenant à partir de ces accentuations l'ont été suivant quatre étapes principales : accentuation préliminaire, vérification-terrain, accentuation finale et interprétation-cartographie. L'accentuation préliminaire imprimée sur papier photographique servait de document de base pour inventorier la région étudiée par survols en hélicoptère, transects au sol ou photographies aériennes. L'accentuation finale, produite à l'aide des informations-terrain, était imprimée sur diapositives. L'interprétation et la cartographie étaient réalisées simultanément à l'aide d'une table à surface transparente, les diapositives étant projetées de l'arrière sur une carte planimétrique translucide.

Présentement, pour répondre au besoin exprimé d'un produit final sous forme numérique intégrable aux banques de données, on a de plus en plus recours à une "station d'interprétation numérique interactive" permettant de tracer les polygones directement sur le visuel et de les emmagasiner sous forme numérique. Une recherche est présentement en cours pour automatiser davantage ce processus d'interprétation.

LES APPLICATIONS

Depuis une dizaine d'années, ce mode d'interprétation d'images satellites accentuées par traitement numérique (Figure 2) a été utilisé au Québec pour la réalisation de plusieurs projets d'envergure. L'imagerie Landsat MSS a servi à réaliser les premiers projets couvrant de vastes territoires nordiques (Beaubien, 1984b). A la fin des années 70, le Centre de foresterie des Laurentides (C.F.L.) assisté d'Hydro-Québec (HQ) dressait une carte de végétation synthèse, à l'échelle de 1:250 000, pour un territoire de 80 000 km² à la Baie d'Hudson. Cette cartographie fut fort utile aux biologistes d'Hydro-Québec pour évaluer le potentiel faunique de la région, particulièrement des zones appelées à être envoyées suite aux futurs aménagements hydro-électriques (Scmar, 1981).

L'aspect opérationnel de la méthodologie fut reconnu et l'assistance du CFL fut demandée pour mettre sur pied un autre projet semblable couvrant le bassin de la rivière Caniapiscou à la Baie de James. Ce projet réalisé par le secteur privé pour le compte de la Société d'énergie de la Baie James, avait pour objectif de produire une cartographie (1:125 000) végétale sur un territoire de 82 000 km² pour qualifier les habitats fauniques, particulièrement ceux du caribou (Scmar 1983). Le coût total des travaux

a été estimé à 0,60\$/km². Ce coût a été jugé relativement faible, compte tenu de la qualité et de la rapidité d'obtention des résultats.

L'imagerie Landsat MSS a été mise à profit pour un autre projet particulièrement vaste. Dans le cadre d'un programme canadien sur l'énergie et la forêt (ENFOR), la biomasse forestière fut inventoriée et cartographiée (1:125 000 et 1:250 000) sur un territoire de 400 000 km² situé entre le 52°N et la limite des arbres, de la Baie d'Hudson au Labrador. Ce travail nécessitant 25 scènes MSS fut fait à contrat en un an par une firme privée sous la supervision générale de C.F.L. et la collaboration du Centre québécois de coordination de la télédétection (C.Q.C.T.) et du Service de l'inventaire forestier du Québec (SIFQ). Son coût a été évalué à 0,62\$/km².

Le C.F.L. participait aussi à une autre vaste étude de végétation initiée par Hydro-Québec en territoire plus forestier, soit 200 000 km² sur la basse Côte-Nord, dans le cadre d'un inventaire biophysique préalable à de potentielles installations hydro-électriques. L'imagerie MSS servit à la cartographie (1:125 000) du couvert végétal actuel, les unités écologiques étant délimitées sur des photographies aériennes datant par endroit de plusieurs années. Cette étude fut terminée par l'entreprise privée.

L'imagerie MSS fut aussi utilisée pour des projets touchant plus strictement l'inventaire forestier. Elle fut appréciée par sa couverture synoptique permettant une intégration incomparable pour des cartographies de synthèse à des coûts minimes. Cependant, sa faible résolution spatiale (80 m) et spectrale (ne couvrant que 3 bandes spectrales) limitait son application pour répondre à certains besoins d'information plus détaillée. L'avènement de Landsat TM ouvrit de nouveaux horizons. Convaincu que l'imagerie TM pouvait devenir un outil supplémentaire valable dans le processus conventionnel d'inventaire forestier, le C.F.L. entreprenait des projets conjoints avec des compagnies forestières dont principalement CIP inc. Après la cartographie de deux de leurs concessions forestières, l'imagerie satellite a été considérée comme un outil valable, complémentaire aux outils traditionnels (Beaubien et al., 1986b). La vision synoptique permettait d'acquérir une information nouvelle difficilement perceptible autrement. Grâce à ses bandes spectrales plus diversifiées, le capteur TM a été particulièrement apprécié pour ses possibilités à mieux discriminer la régénération forestière et les niveaux de dommages laissés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE).

Le C.Q.C.T. et S.I.F. faisaient servir l'imagerie Landsat TM et SPOT XS pour le développement d'un prototype original de cartes forestières de synthèse (Pilon, 1988; Carignan, 1989). Ces cartes dressées en utilisant une station d'interprétation numérique interactive montrent les images accentuées auxquelles sont intégrés des polygones et des symboles localisant et identifiant les types de couverts inventoriés. Également habillées de façon numérique, elles contiennent aussi une légende, des indications géographiques, des limites administratives numérisées, de même que des petites fenêtres servant de clé d'interprétation des images accentuées. Ces spatio-cartes, en particulier celles originant d'images TM, furent très appréciées des forestiers pour la qualité des informations fournies, leur souplesse d'exécution

et les perspectives offertes pour les mises à jour forestières (Carignan et al, 1989).

Le C.Q.C.T. participait également à une vaste étude d'évaluation du territoire en arrérage d'aménagement forestier pour la région administrative Abitibi-Témiscamingue. L'image TM fut utilisée pour réaliser un inventaire couvrant 125 000 km², nécessitant l'utilisation de 33 quadrants provenant de 12 scènes acquises à six dates différentes. Le projet fut réalisé en moins de un an au coût de 2,20 \$ du km² (Pilon et al. 1989). Cet inventaire servit au personnel régional pour une cartographie en 16 thèmes des secteurs régénérés, à une évaluation des surfaces en arrérage et au ciblage des secteurs à reboiser. Il a été estimé que le coût de revient était bien minime compte tenu de la richesse des informations obtenues (Anctil, 1989). En 1986, la Direction de la sylviculture estimait à plus de 1,5 million \$ l'économie qui pourrait résulter de l'application de ce procédé à l'ensemble du Québec (Seuthé et al. 1987).

Présentement, l'imagerie satellitaire (TM) et les méthodologies résumées plus haut sont appliquées au Québec pour la surveillance de la défoliation causée à nos sapinières par le TBE. En effet, le Service de la protection contre les insectes et les maladies du Québec (SPIM) utilise couramment l'imagerie TM pour apprécier les niveaux de défoliation (5 niveaux) et ainsi planifier les arrosages aériens ou la récupération des peuplements forestiers plus sévèrement endommagés. On estime éliminer ainsi 90% des fastidieux et coûteux survols en hélicoptère pratiqués annuellement au Québec depuis plusieurs années et réduire les coûts d'inventaire d'environ 200 000 \$ par année. Des recherches sont en cours pour aussi appliquer ces méthodologies à l'évaluation du dépérissement des érablières.

À la suite de toutes ces applications en territoire forestier, présentement faites surtout à partir des images TM, nous croyons que l'interprétation d'images accentuées pour la forêt permet la discrimination des types de couverts suivants:

- RÉSINEUX
 - 3 classes de densité (60 % et +, 40-60 %, 40 % et -)
 - peuplements mûrs ou plus jeunes
- FEUILLUS
 - peuplements mûrs ou plus jeunes
- MÉLANGÉS
 - à tendance résineuse
 - à tendance feuillue
- RÉGÉNÉRATION
 - résineuse, feuillue ou mélangée
 - 3 classes de densité dans la régénération résineuse (25 % et -, 25-60 %, 60 % et +)

- DÉFOLIATION DU RÉSINEUX (% de têtes mortes)
 - dans résineux (forte, moyenne, faible)
 - dans mélangés
 - résineux morts dans mélangés-résineux
 - résineux morts dans mélangés-feuillus
- DÉFOLIATION DU FEUILLU (déparisement)
 - forte, moyenne, faible
- DÉNUDÉS
 - coupes
 - feux
 - chemins forestiers
 - tourbières

Le niveau de détails atteint à l'interprétation varie suivant la complexité du territoire étudié, la qualité des images, les connaissances, et l'expérience de l'interprète.

Divers autres domaines d'application ont parallèlement bénéficié de l'approche et de l'expertise développée dans le cadre de projets reliés à la foresterie et ont même contribué à les conforter et à les enrichir. C'est particulièrement le cas pour l'inventaire des tourbières du Québec septentrional. De fait, cette application est passée à un stade opérationnel au Service géologique de Québec du M.E.R.Q. Ce programme de 10 ans initié en 1988 à l'aide d'images MSS utilise aujourd'hui l'imagerie TM pour couvrir annuellement des territoires équivalents à quatre cartes au 1:50 000 à un coût évalué à 1 \$ CAN. du km², les objectifs étant d'inférer le potentiel économique des dépôts de tourbe (Seuthé, 1989).

Au cours des dernières années, plusieurs autres domaines potentiels d'application d'une méthodologie "accentuation-interprétation" ont fait l'objet d'expérimentations ponctuelles dans le cadre de projets-pilotes par le C.Q.C.T. en collaboration avec des services gouvernementaux. Mentionnons entre autres la cartographie régionale de l'occupation actuelle du territoire en soutien aux cartes écologiques (Dion et al. 1989), la cartographie des dépôts meubles pour la planification des infrastructures routières (Seuthé et al. 1989), la cartographie des terres en friches et la mise à jour des perturbations sur les cartes forestières au 1:20 000 du Québec méridional (Carignan et al. 1990). Soulignons que la plupart de ces projets sont l'occasion de nouveaux développements ou d'adaptation de méthodes éprouvées pour des applications forestières. Parmi ces développements, mentionnons ceux qui ont déjà fait certaines preuves comme d'autres types de décorrélation (Grenon, 1989) et l'utilisation de masques pour des études multidates (Carignan et al. 1990).

CONCLUSION

Cette méthodologie "accentuation-interprétation" a permis d'apprécier au Québec le potentiel de l'imagerie satellitaire comme outil d'aménagement. Pour l'accentuation de l'image, nous avons d'abord exploité la transformation en composantes principales (TCP). D'autres méthodes de décorrélation des données ont été développées, par exemple les combinaisons linéaires de bandes

spectrales. Pour faciliter l'interprétation en synthétisant les patrons de couleurs, les composantes-images résultantes sont habituellement segmentées et visionnées suivant la structure de couleur "brillance, rouge-vert et bleu-jaune".

Malgré tous les efforts investis depuis plus de quinze ans pour développer et promouvoir la télédétection par satellite, elle est peu utilisée de façon opérationnelle. Plusieurs raisons pourraient être données, mais les deux principales nous semblent être la rareté des images de qualité et le manque de méthodologies de traitement numérique procurant des résultats fiables et stables, répondant aux besoins des usagers. Les présentes méthodologies utilisées au Québec sont l'aboutissement de recherches visant ce type de résultats. Quoi qu'il en soit, l'imagerie-satellite s'est avérée un excellent outil de synthèse pour la réalisation au Québec de plusieurs projets de cartographie et de surveillance de nos ressources naturelles. Elle a permis le développement d'une expertise unique en matière de gestion de grands projets d'aménagement du territoire, qui permet déjà au Québec de bien se positionner en vue de l'utilisation d'une technologie de plus en plus perfectionnée.

BIBLIOGRAPHIE

- Anctil, Y., 1989. Inventaire des superficies en arrérages (Back log) en Abitibi-Témiscamingue à partir des images satellites; Rapport, Région administrative Abitibi-Témiscamingue, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Rouyn, 53 p.
- Audet, H., Beaubien, J., et Delisle, C., 1985. L'interprétation numérique interactive, une nouvelle approche, Actes du 9ième Symposium canadien de télédétection, Saint-Jean, Terre-Neuve, pp. 555-562.
- Beaubien, J., 1984a. Une méthode de rehaussement d'images Landsat pour la classification du couvert végétal, Actes du 8ième Symposium canadien de télédétection, Montréal, Québec, pp. 559-566.
- Beaubien, J., 1984b. Subarctic vegetation mapping in Quebec through Landsat digitally enhanced images, Proceedings of an International Symposium on Inventorying forest and other vegetation of the high altitude regions, Society of American Foresters, pp. 190-195.
- Beaubien, J., 1986a. Visual interpretation of vegetation through digitally enhanced Landsat-MSS images, Remote Sensing Reviews, Volume 2, pp. 111-143.
- Beaubien, J., 1986b. C.I.P. utilise la télédétection par satellites. Opérations forestières et de scierie. Volume 2, 21 : 28-32.
- Beaubien, J., 1987. Méthodologie d'accentuation des images TM pour une meilleure discrimination des couverts forestiers, Actes du 11ième Symposium canadien de télédétection, Waterloo, Ontario, pp. 227-237.
- Beaubien, J., 1990. Landsat-TM satellite images of forests : from enhancement to classification, Canadian Journal of Remote Sensing, sous presse.

- Benson, A.S., Degloria, S.D., 1985. Interpretation of Landsat-4 thematic mapper and multi-spectral scanner data for forest surveys. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Volume 51, 9 : 1281-1289.
- Dion, L., Seuthé, C., 1989. L'occupation du territoire vue par Landsat-TM : une nouvelle perspective pour le Québec méridional; 12^e Symposium canadien sur la télédétection, Vancouver, C.-B., Vol. 3, pp. 1663-1668.
- Carignan, M., 1989. Cartographie forestière synthèse au Québec à l'aide de l'imagerie Landsat TM; 12^e Symposium canadien sur la télédétection, Vancouver, C.-B., Vol. 3, pp. 1570-1573.
- Carignan, M., Létourneau, J.P., 1989. La télédétection spatiale, nouvel outil de cartographie synthèse, Rapport, Service de l'inventaire forestier, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. 14 p.
- Carignan, M., Seuthé, C., 1990. Mise à jour des cartes forestières du domaine privé au Québec à l'aide de l'imagerie TM; 13^e Symposium canadien sur la télédétection, Frédéricton, N.-B., sous presse.
- Grenon, A., 1987. Rehaussement des images numériques par l'analyse en composantes principales (méthode révisée), Centre québécois de coordination de la télédétection, Projet : CQCT-INF-8701, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, 6 p.
- Grenon, A., 1989. La décorrélation : Maximiser les composés colorés; 12^e Symposium canadien sur la télédétection, Vancouver, C.-B., Vol. 3, pp. 1617-1620.
- Horler, D.N.H., and Ahern, F.J., 1986. Forestry information content of Thematic Mapper data, *International Journal Remote Sensing*, Volume 7, 3 : 405-428.
- Kauth, R.J., and Thomas, G.S., 1976. The tasseled cap-a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat, *Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, West Lafayette, Indiana, pp. 4B.41-4B.51.
- Pilon, D., 1988. Cartographie forestière de synthèse basée sur la télédétection : le projet spatio-carte de Chibougamau; Rapport, Centre québécois de coordination de la télédétection, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, 20 p., 1 c. h-t.
- Pilon, D., Seuthé, C., Bouvier, P., 1989. Inventaire de la régénération forestière à l'aide des images Landsat-TM accentuées : une expérience d'application opérationnelle de la télédétection; Actes du 6^e Colloque de l'Association québécoise de télédétection, Sherbrooke, pp. 211-220.
- Seuthé, C., Doré, A., 1987. Projet-pilote sur l'utilisation de l'image Landsat-TM pour l'interprétation de la végétation en milieu forestier perturbé; Régions de Charlevoix et l'Outaouais; Rapport, Centre québécois de coordination de la télédétection, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, 37 p., 2 c. h-t.
- Seuthé, C., 1989. Projet PEPS no 231, SPOT HRV : cartographie forestière et inventaire des tourbières au Québec, 6^e Colloque de l'Association québécoise de télédétection, Sherbrooke, pp. 313-317.
- Seuthé, C., Bélanger, S., 1989. Télédétection et cartographie des dépôts meubles en Abitibi : un nouvel outil de planification des infrastructures routières; 12^e Symposium canadien sur la télédétection, Vancouver, C.-B., Vol. 3, pp. 1684-1688.
- Shen, S.S., Badhwar, G.D., et Carnes, J.G., 1985. Separability of boreal forest species in the Lake Jennette Area, Minnesota, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Volume 51, 11 : 1775-1783.
- SOMER (Société multidisciplinaire d'études et de recherches de Montréal Inc.) 1981. Intégration des études sectorielles et préparation du rapport d'impact sur l'environnement, complexe Grande-Baleine. Hydro-Québec, Dir. Environ. Rap. 908-004-S10, 90 p.
- SOMER (Société multidisciplinaire d'études et de recherches de Montréal Inc.) 1983. Cartographie de la végétation des régions de La Grande 4-Laforge - Caniapiscau. Soc. Énergie Baie James, Dir. Environ. Mandat IXC-808-84-004, 83 p.
- Taylor, M.M., 1974. Principal component colour display of ERIS imagery, *Proceedings of 2nd Canadian Symposium on Remote Sensing*, Guelph, Ontario, April, pp. 295-314.

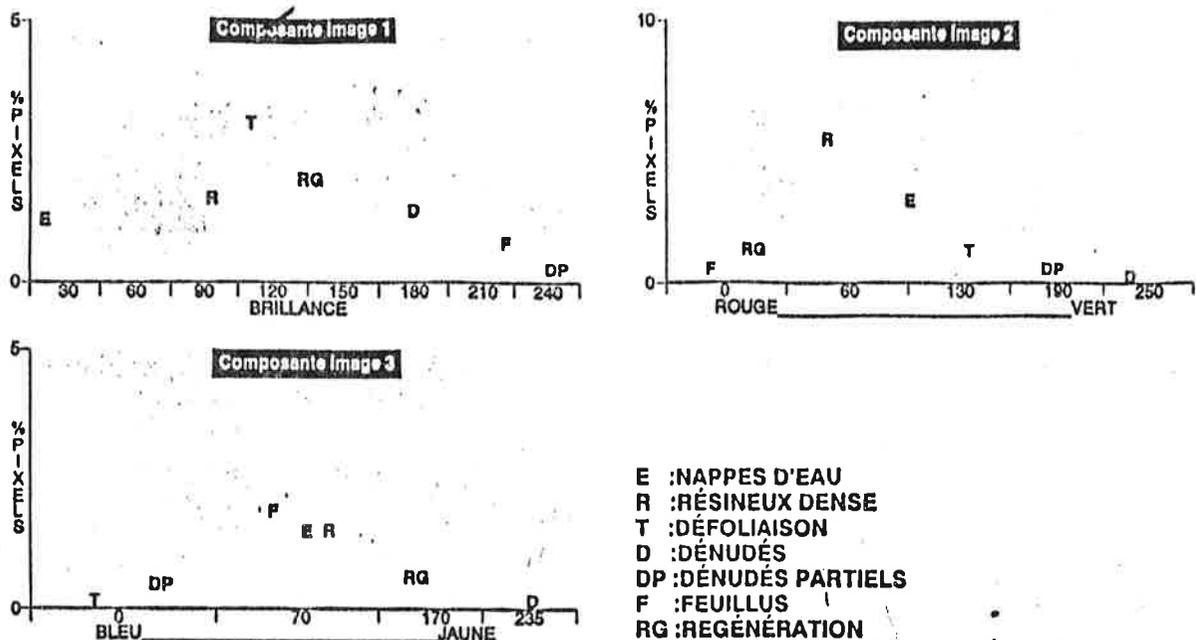


Figure 1: Localisation approximative des principaux types de végétation forestière sur les histogrammes des composantes principales étalées sur les axes de la structure de couleurs "TAYLOR", issues d'un échantillonnage (scène TM) simplifié se limitant aux résineux, feuillus et dénudés. Les valeurs numériques le long de l'histogramme sont ici segmentées respectivement en 8, 5 et 4 tranches.

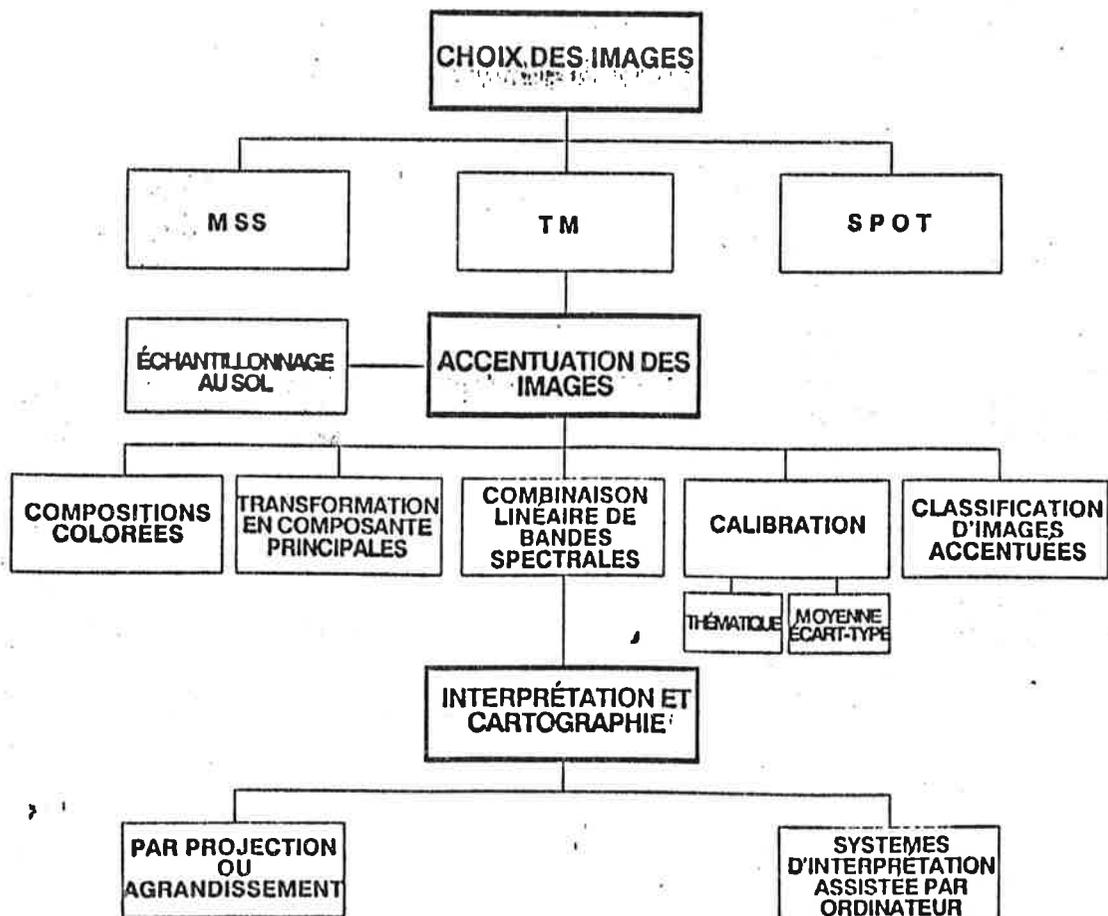


Figure 2: Étapes et options de base de l'approche méthodologique développée.