

EXPLORATION DES POSSIBILITES D'UTILISATION
DES IMAGES-SATELLITES MULTISPECTRALES
POUR UNE CARTOGRAPHIE PHYTOSOCIOLOGIQUE¹.

Pierre Gignac, Lucie Bertrand, Miroslav M. Grandtner
Laboratoire d'écologie forestière
Faculté de foresterie et géodésie
Université Laval
Sainte-Foy (Québec), G1K 7P4

Jean Beaubien
Centre de recherches forestières des Laurentides
Service canadien des forêts
1080, route du Vallon
Sainte-Foy (Québec), G1V 4C7

Luc Sirois
Laboratoire d'écologie forestière
Faculté de foresterie et géodésie
Université Laval
Sainte-Foy (Québec), G1K 7P4

Aperçu biographique

Pierre Gignac, ingénieur forestier depuis 1978, est spécialisé en télédétection et plus particulièrement dans le traitement numérique d'images pour la cartographie forestière. Il complète actuellement une maîtrise en télédétection des ressources au Département des sciences géodésiques et de télédétection de l'Université Laval.

Lucie Bertrand, ingénieure forestière, est assistante de recherche au Laboratoire d'écologie forestière et étudiante à la maîtrise en écologie et pédologie forestières à l'Université Laval. Sa spécialisation porte sur les applications de la télédétection en écologie forestière.

Miroslav M. Grandtner, D.Sc., est professeur titulaire à la Faculté de foresterie et géodésie de l'Université Laval. Il dirige le Laboratoire d'écologie forestière.

Jean Beaubien, B.Sc.F. et ingénieur forestier, a gradué en 1965. Il possède une maîtrise en sciences et occupe, depuis 1969, un poste de chercheur scientifique au CRFL en télédétection appliquée à l'écologie forestière.

Luc Sirois, M.Sc., est actuellement étudiant au doctorat au Centre d'études nordiques et sa spécialisation est l'écologie végétale.

Résumé

L'exploration des possibilités d'utilisation des images-satellite multispectrales en vue d'une cartographie phytosociologique à petite échelle (1:250 000) a été entreprise dans le but d'évaluer leur potentiel pour la production d'une feuille-type. Le territoire d'étude se situe au nord de la ville de Québec, et comprend les grands domaines climatiques du

¹ Projet subventionné par le programme PRUF via Approvisionnements et Services Canada

P. Gignac, L. Bertrand, M.M. Grandtner, J. Beaudoin, L. Sirois

Québec méridional, soit ceux de l'érablière, de la sapinière et de la pessière. L'approche consiste en une première amélioration des images du balayeur multibande au moyen de l'analyse en composantes principales en vue d'orienter l'étude de la réalité-terrain. Cette dernière se présente sous deux formes: des relevés-transect et des diapositives obliques prises lors des survols du territoire. L'échantillonnage permet, par la suite, de calibrer thématiquement les composantes principales, puis de procéder à l'interprétation phytosociologique de l'image, à la définition des unités cartographiables et, finalement, à leur cartographie.

Le but de cette communication est d'exposer la démarche entreprise, d'examiner les problèmes rencontrés au cours des différentes étapes et de rendre compte des résultats préliminaires obtenus.

Abstract

Possible uses of Landsat multispectral scanner (MSS) images for producing small scale (1:250 000) phytosociological maps is investigated. The region studied, located north of Quebec city, is composed of the three principle climatic domains of southern Quebec; maple, fir and spruce.

MSS images are subjected to principal components analysis. A comparison with both field transect samples and oblique aerial photos of the study area permits thematic adjustment of the principal components. Thus enabling phytosociological interpretation of the images. The defined units are then mapped.

This paper presents processes, preliminary results obtained and discusses the problems encountered in such a study.

Introduction

La végétation du Québec méridional n'est connue que par une carte à très petite échelle (1:10 000 000) de Grandtner, datant de 1966, et par quelques cartes régionales à moyenne échelle (1:50 000). Or il s'agit de l'un des territoires forestiers les plus importants de l'Est du Canada en termes de production ligneuse et de possibilités de récréation.

Par ailleurs, grâce à la télédétection par satellite, nous disposons, à intervalles réguliers, des images Landsat de ce territoire et d'une méthodologie d'amélioration de celles-ci par traitement numérique, mise au point par le Centre de recherches forestières des Laurentides (Beaubien, 1983).

Le but de ce projet est d'explorer les possibilités d'utilisation des images du balayeur multibande des satellites de la série Landsat pour la cartographie phytosociologique à petite échelle (1:250 000) dans le territoire situé au sud du 50^e parallèle. A cette fin, l'utilisation de la méthodologie mentionnée plus haut sert aux essais de production d'une carte-type comprenant les trois grands domaines de végétation du Québec méridional, soit ceux de l'érablière, de la sapinière et de la pessière. Cette carte permettrait d'envisager, par la suite, la cartographie des forêts du Québec méridional et ses mises à jour successives.

L'approche proposée est novatrice par son interprétation phytosociologique des images du balayeur multibande des satellites Landsat. Elle consiste en une amélioration a priori des images au moyen de l'analyse des

composantes principales en vue d'orienter l'échantillonnage sur le terrain. Celui-ci permet, à son tour, de calibrer thématiquement les composantes principales puis de procéder à leur interprétation phytosociologique, à la définition des unités cartographiables et, finalement, à leur cartographie (Grandtner, 1983; Grandtner et al., 1984 et 1985).

1. Description du territoire

Le choix du territoire dépendait de deux conditions, à savoir de contenir les trois grands domaines forestiers recherchés et d'être couvert par des images-satellite de qualité. La région qui s'est avérée le mieux correspondre à ces critères était celle située au nord-est de la ville de Québec. Elle est couverte par la feuille Baie-Saint-Paul (21M) de la carte topographique à l'échelle de 1:250 000, du Ministère de l'Énergie, des mines et des ressources du Canada.

La végétation couvrant ce territoire est très complexe; on y rencontre différents types d'associations forestières suivant la latitude, l'altitude et les conditions édaphiques. Le type forestier climacique varie de l'érablière à tilleul au sud, à la pessière à cladina dans la portion plus septentrionale en passant par le grand domaine de la sapinière. Diverses associations ont également été rencontrées, notamment celles dominées par le bouleau jaune (Betula alleghaniensis Britt.) et le bouleau blanc (Betula papyrifera Marsh.). Le sapin baumier (Abies balsamea (L.) Mill.) est certes l'espèce la plus abondante en tant qu'essence forestière. On le retrouve en peuplements purs ou mélangés avec le bouleau blanc, le bouleau jaune ou l'épinette noire (Picea mariana (Mill.) BSP.) sur les sols plus pauvres. L'érablière se situe principalement sur les stations à pente moyenne et à drainage moyen des basses terres ainsi que sur les flancs de montagne où elle cède peu à peu la place aux associations mélangées et résineuses. Les fonds de vallées, moins bien drainés, sont colonisés par les essences résineuses, accompagnées souvent de l'érable rouge (Acer rubrum L.) dans la partie sud.

La forêt de la région est également très perturbée et tous les stades de développement y sont présents. Les perturbations proviennent autant de causes naturelles comme le feu, le vent ou la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Choristoneura fumiferana (Clemens)), que d'interventions humaines telles les coupes forestières.

Les associations de transition issues de ces perturbations sont surtout composées de feuillus intolérants formant des tremblaies et des bétulaies. Dans la vallée du Saint-Laurent, où on dénote des zones agricoles, les terres anciennement en culture sont envahies par des friches composées d'espèces non commerciales et de feuillus intolérants.

2. Matériel et méthodes

2.1 Images utilisées

Diverses images du balayeur multibande ont été utilisées pour ce projet. La première image a été captée le 21 août 1978, au dessus de la scène entière numéro 27 de l'orbite 14, par le satellite Landsat-3. Celle-ci, acquise sous forme de sous-scènes DICS, porte le numéro 30169-14543. La seconde image a été captée par le satellite Landsat-2, le 24 septembre 1980, au-dessus de la même scène et a été acquise sous forme de scène entière; son numéro est 22072-14532.

P. Gignac, L. Bertrand, M.M. Grandtner, J. Bertrand, L. Sirois

Comme les deux premières images dataient déjà de quelques années, en plus de présenter certains problèmes mentionnés plus loin, deux nouvelles images ont été acquises. La première de celles-ci provient du satellite Landsat-4 et couvre la majeure partie du territoire du projet. Elle a été acquise sous forme de scène entière le 21 août 1984, au-dessus de la scène 27 de l'orbite 13, et porte le numéro 40767-14563. La seconde image récente a servi à compléter la couverture du territoire en raison de diverses zones de nuages qui le masquaient sur la précédente. Elle a été captée par le satellite Landsat-5, le 4 août 1984 au-dessus de la scène 27 de l'orbite 14 et porte le numéro 50156-15071. Ces deux dernières images serviront pour réaliser la cartographie finale. Toutes ces images ont été traitées sur le système SCANIQ appartenant conjointement au Service canadien des forêts et au Ministère de l'énergie et des ressources du Québec.

2.2 Méthodologie

Les principales étapes nécessaires à la réalisation de l'exploration impliquent d'abord un traitement préliminaire des données de télédétection afin de produire les documents de base pour une interprétation préliminaire. Cette dernière sert à guider l'échantillonnage du terrain ainsi que les survols. Ensuite, les données recueillies permettent le traitement final des données de télédétection. Les documents thématiquement ajustés servent alors de base à partir de laquelle les essais d'interprétation et de cartographie finale sont réalisés.

Les diverses données recueillies au cours de la campagne de terrain et extraites des images servent d'intrants à une analyse statistique qui établira les relations permettant de déterminer les liens entre les variables-terrain étudiées et les couleurs de l'image.

Les différentes images mentionnées plus haut ont d'abord permis d'établir certains critères quant à la sélection et au choix des scènes utilisées. Tout d'abord, la scène acquise le 24 septembre 1980 et qui devait servir à l'origine pour réaliser les phases de l'exploration s'est avérée trop tardive pour des fins de cartographie végétale dans le territoire concerné. En effet, le stade phénologique de la végétation diffère en fonction de la latitude et de l'altitude, ce qui affecte énormément l'identification des couvertures végétales à dominance de feuillus qui se confondent avec des terres dénudées. Les documents photographiques obtenus du traitement préliminaire de cette image n'ont servi que de support pour la localisation des points de contrôle lors des survols du territoire.

Le second critère implique que l'âge des documents de télédétection ne doit pas excéder de plus de quelques années le moment de leur utilisation à cause des changements causés par l'activité anthropique ou naturelle et qui affectent les relations qu'on cherche à établir entre l'image et la vérité-terrain. C'est pour cette raison que la scène du 21 août 1978 n'est utilisée que pour l'interprétation préliminaire des couverts de végétation après un ajustement thématique basé sur la connaissance du territoire fournie par les documents obtenus des survols.

Finalement, l'ajustement thématique sert de référence aux améliorations pour les deux images de 1984 et acquises après le début des travaux. Les données recueillies durant la campagne de terrain permettent enfin un dernier ajustement des images et la production de documents photographiques nécessaires à l'étape finale. Les différentes phases du projet sont donc les suivantes en raison des problèmes et délais rencontrés.

2.3 Traitement préliminaire des images

Le traitement préliminaire est basé sur la méthodologie de Beaubien (1983) qui utilise les transformations en composantes principales décrites par Taylor (1974). Elle consiste à préparer une image de base qui permet à l'analyste de diriger l'échantillonnage au-dessus de tous les types de couvert d'intérêt acquis en proportions relativement égales et à créer le fichier de localisation de toutes les zones d'entraînement. Ce premier fichier servira également à étalonner les quatre bandes spectrales brutes et à créer un fichier de paramètres statistiques des données acquises au-dessus de ces nouvelles bandes. Le second fichier créé servira à orienter les transformations des images en composantes principales au moyen du programme approprié. La suite des opérations consiste à déterminer a priori les seuils de coupure et de saturation des composantes à utiliser lors de leur présentation sur l'écran vidéo-couleurs. Un nouveau fichier contenant les thèmes eau et nuages permet la localisation des thèmes concernés; il s'obtient au moyen de la classification des couleurs de ces objets.

Une fois les images obtenues à l'écran, il s'agit de les photographier pour disposer des documents nécessaires aux autres étapes.

2.4 Survol du territoire

La planification des trajectoires des survols s'est effectuée à l'aide de l'observation des diapositives prises de l'écran couleurs pour repérer les secteurs soit d'intérêt, soit inaccessibles, ainsi que des milieux susceptibles de fournir de bonnes indications sur la végétation. Une fois la planification réalisée, les tirages "cibachrome" nécessaires pour le repérage et la localisation des points de contrôle durant le survol sont produits.

Les points de contrôle consistent en des diapositives obliques bien localisées décrivant les types de couverts et accompagnées de commentaires mentionnant les essences forestières identifiées ainsi que les groupements reconnus. L'étude ultérieure des diapositives obliques ainsi obtenues permet de reconnaître la signification des couleurs issues du traitement numérique préliminaire et d'isoler les problèmes d'interprétation.

2.5 Traitement a posteriori des images

Après le survol, un nouveau traitement de l'image du 21 août 1978 s'imposait afin de résoudre les problèmes d'interprétation. Les données recueillies ainsi que l'expérience acquise par la thématicienne ont alors permis d'obtenir une bonne synthèse des couleurs représentant les types de couverts végétaux et de rendre leur interprétation et leur cartographie plus aisées. Suite à cette dernière opération d'ajustement thématique, les fichiers ont été transformés de façon à fournir des documents photographiques de bonne qualité.

2.6 Cartographie préliminaire

La comparaison des images nouvellement accentuées avec une série de points de contrôle aériens sélectionnés a conduit à la confection d'une clef d'interprétation des images utilisées, basée sur les différences de couleurs. Cela rendra possible la reconnaissance de catégories de végéta-

tion purement physiologiques, et la réalisation de la pré-carte à partir de laquelle l'échantillonnage au sol sera déterminé.

2.7 Échantillonnage au sol

Chaque unité de la carte préliminaire de la végétation a été planimétrée et la compilation des superficies pour chaque strate cartographique a permis d'établir une table de contenance. Selon la superficie de chaque unité cartographique, une évaluation du nombre de transects a été effectuée. Les transects ont donc été distribués en fonction des zones où des couleurs caractéristiques ont été déterminées sur les images. Leur localisation exacte a ensuite été reportée sur les cartes topographiques à l'aide des photographies aériennes en noir et blanc panchromatique, donnant la couverture complète du territoire à l'échelle du 40 000e et datant de 1981 et 1983. Les photographies aériennes ont permis de juger de l'accessibilité par véhicule et des endroits les plus représentatifs pour l'échantillonnage.

Au total, 105 transects ont été réalisés au cours d'une première campagne de terrain effectuée durant l'été 1984, dans la moitié sud du territoire. Chaque transect a été mesuré de 50 m en 50 m et chaque segment ainsi délimité a été décrit en considérant les paramètres suivants: groupement végétal, altitude, degré et exposition de la pente, densité, hauteur et âge du peuplement et pourcentage des espèces dominantes.

2.8 Traitement final des nouvelles images

Le traitement final a également été effectué selon la méthodologie décrite précédemment pour le traitement préliminaire, mais auquel le traitement *a posteriori* a été immédiatement combiné en raison des connaissances acquises pour réaliser l'ajustement thématique. Il a d'abord été fait sur l'image du 21 août 1984 avec l'aide des points de contrôle au sol, puis la seconde image a été ajustée à partir de la comparaison avec la première.

L'opération suivante consiste alors à produire les documents photographiques de la meilleure qualité possible pour l'interprétation et la cartographie finale. De plus, les valeurs numériques des pixels des composants et des fichiers de sortie en couleurs pour les transects ont été acquises en vue d'une analyse statistique.

2.9 Traitements statistiques

Les objectifs de cette étape sont multiples mais, néanmoins, essentiels dans le cadre de cette exploration. Le premier objectif consiste à obtenir un répertoire des couleurs cartographiables sur la base des données de terrain analysées statistiquement en relation avec les estimateurs de couleurs retenus. Le second objectif vise à quantifier les unités cartographiques en terme de composition végétale (ensemble d'associations végétales contenues) et représentées par les couleurs. Le troisième consiste en une recherche de l'importance des contributions des variables dans la signature spectrale et leurs liens entre elles.

Ces divers objectifs ne peuvent évidemment être réalisés qu'après une analyse des données recueillies à l'aide des logiciels d'analyse statistique connus dans la littérature.

2.10 Interprétation finale et cartographie

Les résultats espérés de l'analyse statistique constitueront une base à partir de laquelle la signification des couleurs de l'image permettra d'améliorer l'interprétation phytosociologique et écologique. Elle s'effectuera à l'aide des documents des images produits sous forme de diapositives projetées sous une table transparente sur laquelle la carte à produire est disposée.

3. Résultats et discussion

L'analyse statistique n'ayant pas encore été complétée, seule une portion du territoire a été cartographiée à l'aide de l'image ajustée thématiquement. L'interprétation, basée sur la connaissance du territoire acquise lors de la campagne de terrain, a permis de déterminer huit strates cartographiques présentées au tableau 1.

Tableau 1. Liste des strates cartographiques retenues pour l'interprétation

Symbole cartographique	Strate
A	Agriculture
C	Coupe récente
C _r	Coupe régénérée en feuillus intolérants
F	Feuillus
F _j	Feuillus jeunes
MF	Mélangés feuillus
MR	Mélangés résineux
R	Résineux

Grâce à la relocalisation des transects sur l'image projetée, un ensemble de couleurs représentatives pour chaque strate a pu être reconnu. C'est ainsi que de petites zones agricoles sont ressorties en vert dans la portion sud du territoire, alors que les couleurs vertes plus au nord ont été associées à des coupes plus ou moins récentes selon leur degré d'intensité et le contexte particulier dans lequel elles ont été observées.

Par exemple, la couleur verte foncée entourée de brun foncé ou incluant cette teinte représente des coupes à blanc récentes (C) où ont été laissés des bosquets d'arbres résineux en l'occurrence du sapin baumier. Les verts plus clairs associés aux jaunes, aux beiges et, parfois, aux roses, montrent également des parterres de coupe mais envahis par des espèces de transition (C_r): bouleau blanc, peuplier faux-tremble (Populus tremuloides Michx.), cerisier de Pennsylvanie (Prunus pensylvanica L. f.), sorbier (Sorbus decora Marsh.), framboisier (Rubus sp.), etc.

Les secteurs de couleur jaune plus ou moins foncé sur l'image ont été associés à des groupements d'essences feuillues (F et F_j) en grande majorité. La vérification-terrain a permis d'établir qu'il s'agit, en fait, principalement d'érablières et de bétulaies. La classe F_j se diffé-

rence par une teinte plutôt beige que jaune. La vérification-terrain montre qu'il s'agit de feuillus intolérants (bouleau, peuplier, cerisier) venus après une ancienne coupe forestière.

La strate de forêt mélangée feuillue (MF) correspond aux teintes plus rosées sur l'image, souvent associées à des jaunes et/ou beiges. Ces deux dernières teintes n'étant pas, dans la plupart des cas, assez importantes pour être cartographiées séparément. Une relation avec une composition arborescente dominée par des essences feuillues (bouleau blanc et bouleau jaune principalement) et accompagnées de sapin baumier peut toutefois être présumée. Pour la strate mélangée résineuse (MR), la vérité-terrain montre le cas inverse. Le sapin baumier est alors l'espèce dominante associée au bouleau jaune ou au bouleau blanc. Le complexe de couleurs caractéristique est composé des teintes rouge, violet et brun pâle principalement.

Enfin, la strate résineuse (R) ayant la réflectance spectrale la plus faible, est perçue sur l'image comme représentant la couleur la plus sombre, en l'occurrence le brun foncé. Nous retrouvons également des zones de teintes plus claires à l'intérieur du brun foncé, mais trop petites pour être représentées sur la carte. La végétation est principalement composée de sapin baumier pour cette portion du territoire avec de petits groupements de feuillus (surtout du bouleau blanc) sur les versants plus exposés à l'ensoleillement (au sud et à l'est). Ces derniers correspondent d'ailleurs bien aux taches plus claires de l'image, après vérification sur les photographies obliques prises lors des survols du secteur.

Cette correspondance des couleurs n'est valable que pour le secteur cartographié et reste évidemment susceptible d'être ajustée à la suite du traitement statistique de l'ensemble des données de terrain.

4. Conclusion

Les difficultés rencontrées lors de la phase d'ajustement thématique des images causées par la grande variabilité des types de couverts présents, laissent présumer que l'ajustement devrait être réalisé pour des portions d'images. En effet, il peut être nécessaire de vérifier qu'un ajustement à une portion d'image puisse donner de meilleurs résultats qu'un ajustement général qui tient compte de la variabilité des couverts, dans l'ensemble des trois domaines. Bien que des ajustements particuliers à des portions d'images puissent impliquer des clefs d'interprétation différentes, il peut y avoir avantage à mieux nuancer les divers couverts par la couleur.

Un soin particulier doit être apporté à la production des documents photographiques destinés à l'interprétation. En effet, l'obtention de documents photographiques de bonne qualité, reproduisant fidèlement les nuances obtenues sur le moniteur couleur du système de traitement d'images, reste une tâche délicate. Ceci s'explique par un mauvais calibrage des équipements de production d'images photographiques actuellement utilisés. Le problème ne se résout, encore que partiellement, par la prise de photographies des images présentées sur le moniteur.

Cet essai de cartographie phytosociologique à petite échelle de la végétation forestière actuelle d'un secteur représentatif du Québec méridional semble être en bonne voie de réalisation et présenter des résultats suffisants pour espérer satisfaire l'objectif visé.

Références

- BEAUBIEN, J., 1983. Une méthode de rehaussement d'images Landsat pour la classification du couvert végétal. Compte-rendu du 8^e Symposium Canadien de Télédétection et 4^e Congrès de L'Association Québécoise de Télédétection, Montréal, 3-6 mai, p. 559-566
- GRANDTNER, M.M., 1983. Cartographie des forêts du Québec méridional au moyen de la télédétection par satellite. Proposition spontanée présentée dans le cadre du Programme de recherche universitaire en foresterie 1983-84, Département des sciences forestières, Faculté de foresterie et géodésie, Université Laval, Québec, 16 p.
- GRANDTNER, M.M., L. SIROIS, P. GIGNAC et L. BERTRAND, 1984. Cartographie des forêts du Québec méridional au moyen de la télédétection par satellite. Rapport intermédiaire n^o1, Laboratoire d'écologie forestière, Université Laval, Québec, 16 p.
- GRANDTNER, M.M., L. BERTRAND, P. GIGNAC et M. CARIGNAN, 1985. Cartographie des forêts du Québec méridional au moyen de la télédétection par satellite. Rapport intermédiaire n^o2, Laboratoire d'écologie forestière, Université Laval, Québec, 24 p.
- TAYLOR, M.M., 1974. Principal Components Colour Display of ERTS Imagery. Proceedings of the Second Canadian Symposium on Remote Sensing, p. 296-313.