

Mémoire de recherche forestière n° 128

Méthode de mise à jour des cartes forestières en forêt privée à l'aide des images *LANDSAT TM*

par S. MATEJEK



Sébastien MATEJEK est ingénieur forestier depuis avril 1992. Il détient une maîtrise en génie forestier (1976) de l'Académie d'Agriculture de Cracovie (Pologne) et une maîtrise (M.Sc.) en télédétection (1989) de l'Université de Sherbrooke. Après avoir travaillé comme spécialiste en aménagement et protection de la forêt pour la Société nationale des produits forestiers de Pologne et comme chercheur-enseignant à l'Institut national de recherche forestière et à l'Université de Tizi-Ouzou (Algérie), il entre en 1989 au Service de la recherche appliquée du ministère des Ressources naturelles du Québec à titre de chargé de recherche en télédétection. Il travaille à la mise au point des méthodes de cartographie forestière basées sur l'utilisation des données provenant des capteurs satellites et aéroportés.



Depuis de nombreuses années, chacun des Mémoires et des autres rapports publiés par la Recherche forestière est révisé par un comité *ad hoc* d'au moins trois membres recrutés aussi bien à l'intérieur du Ministère que dans le milieu universitaire, la fonction publique du Canada ou les autres milieux de la recherche. Les responsables de la Recherche forestière remercient les scientifiques qui ont accepté bénévolement de revoir le texte présenté ici et de participer ainsi à la diffusion des résultats des recherches menées au Ministère des Ressources naturelles.

Les publications de la Recherche forestière sont produites et diffusées à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation de chaque projet ou expérience. En conséquence, ces documents sont, par définition, à *tirage limité* et à *diffusion restreinte*. Adresser toute demande à :

Publications
Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles du Québec
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec)
Canada G1P 3W8

**Méthode de mise à jour des cartes forestières en forêt privée
à l'aide des images *LANDSAT TM***

**Méthode de mise à jour des cartes forestières en forêt privée
à l'aide des images *LANDSAT TM***

par

Sébastien MATEJEK, ing.f., M.Sc.
Service de la recherche appliquée

Mémoire de recherche forestière n° 128

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles
Direction de la recherche forestière
1997

Ce texte est un rapport partiel du projet de recherche n° 0902 3080 : « Étude des possibilités des capteurs *TM*, *HRV* et *RSO* satellites pour la cartographie forestière ».

RN97-3057

ISBN 2-550-31688-6

ISSN 1183-3912

Dépôt légal 1997

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

© 1997 Gouvernement du Québec

Remerciements

Nous exprimons notre reconnaissance à toutes les personnes qui ont collaboré à ce projet, en particulier à nos dévoués collaborateurs de la Direction de la gestion des stocks forestiers MM. Jean-Pierre Létourneau, Pierre Laframboise et Roland Bilodeau qui ont apporté leur concours tout au long de ce projet, particulièrement pour le soutien et les idées concernant l'utilisation de la télédétection dans le processus de la cartographie forestière, pour les démarches nécessaires à l'acquisition des images numériques, des photographies aériennes et des données de terrain ainsi que pour leurs efforts dans l'évaluation et la validations des traitements numériques.

Nous sommes tout aussi reconnaissant aux membres du comité de lecture : Mme Marcelle Grenier, MM. Ferdinand Bonn, Marc DeBlois et Louis Blais, dont les commentaires et suggestions ont grandement contribué à améliorer la version préliminaire de ce document.

Nous remercions également M. Denis Grenier pour sa participation à la confection des figures, le personnel du secrétariat pour la dactylographie du texte, et M. Fabien Caron pour la révision et l'édition de ce mémoire.

Résumé

Depuis une vingtaine d'années, le Service de la comptabilité forestière (SCOF) du ministère des Ressources naturelles (MRN) du Québec effectue la mise à jour annuelle des cartes forestières en forêt publique. En forêt privée cependant, aucune mise à jour n'a été réalisée, à cause du manque de suivi des interventions par le personnel en région et du coût très élevé de la prise de photographies aériennes sur l'ensemble de ce territoire. Pour répondre aux besoins de mise à jour des cartes forestières en forêt privée, nous avons mis au point une méthode opérationnelle, c'est-à-dire souple, économique et bien adaptée au processus actuel de comptabilité forestière ainsi qu'au matériel disponible au SCOF. L'approche proposée, qui découle d'une série de développements réalisés depuis quelques années, est basée sur l'interprétation visuelle d'images *TM* accentuées par décorrélation des bandes. Pour faciliter et accélérer la localisation des interventions forestières récentes, un masque couvrant les superficies autres que la forêt aménagée est superposé à l'image accentuée. Le transfert des contours sur la carte forestière s'effectue simultanément à l'interprétation, au moyen d'un logiciel d'interprétation assistée par micro-ordinateur, avec une précision satisfaisante (90 %). Une mise à jour des coupes totales et de leurs variantes (coupes par bandes, par trouées, en damier), des brûlis, des chemins forestiers et des gravières peut être réalisée en utilisant la méthode proposée. Cette mise à jour permet non seulement d'actualiser les cartes forestières mais aussi la banque d'inventaire forestier associée. Un programme de mise à jour des cartes forestières du domaine privé basé sur la méthode préconisée et un cycle de trois ans est présentement à l'étude au MRN. Le coût d'une mise à jour aux trois ans est évalué à 6,52 \$ par km² en utilisant la méthode développée. Par comparaison, la mise à jour à l'aide de photographies aériennes coûterait 26,40 \$ par km².

Mots-clefs : capteur *TM*, sélection des bandes, accentuation, décorrélation, inventaire forestier.

Abstract

A method to update private forest maps using LANDSAT *TM* Imagery. For 20 years, MRN's (Ministère des ressources naturelles du Québec) forest accounting service has been updating public forest maps. For private forests however, no such thing was done mainly due to the lack of monitoring by regional personnel and also because of the very high costs of aerial photography. In order to respond to the need for updating private forest maps, we designed a new method that is less expensive, flexible and well adapted to actual accounting tools and strategy. The proposed strategy, which comes down from a series of improvements during the past years is based on visual interpretation of *TM* images enhanced by decorrelation of spectral bands. In order to facilitate the localisation process of recent interventions, a mask covering all but the concerned area is overlaid on the enhanced image. An interpretation software permits to simultaneously transfer edges of the map and interpret the image with a precision of 90 %. A complete update of the different forest management techniques is also possible with the proposed method. This process enables us to update forest maps as well as all the related data banks. An updating program following this method over a three year cycle is presently being studied at MRN. The cost of this strategy is evaluated at 6.52 \$/km², as compared to 26.40 \$ per km² using aerial photographs.

Key words : *TM* sensor, spectral band selection, decorrelation, enhancement, forest inventory.

Table des matières

Remerciements	v
Résumé	vii
<i>Abstract</i>	vii
Liste des tableaux	xi
Liste des figures	xiii
Introduction	1
Chapitre premier	
Cadre biophysique	3
1.1 Situation géographique et milieu physique	3
1.2 Végétation et influence humaine	3
Chapitre deux	
Matériel	5
2.1 Données de télédétection spatiale	5
2.2 Données de terrain	5
Chapitre trois	
Méthode	7
3.1 Développement de la méthode	7
3.1.1 Étude des bandes spectrales de <i>TM</i>	7
3.1.2 Accentuations spécifiques	7
3.1.3 Simplification et amélioration des traitements	9

3.2 Présentation de la méthode	9	Conclusion	23
3.2.1 Production de l'image utilisée pour la mise à jour	9	Références	25
3.2.2 Interprétation et transfert assistés par ordinateur	9	Annexe A	
		Sélection des bandes spectrales optimales	27
Chapitre quatre		Annexe B	
Résultats	11	Accentuation des images par décorrélation des bandes spectrales	31
4.1 Analyse des données brutes de <i>TM</i>	11	Annexe C	
4.1.1 Matrice de corrélation, variance-covariance et histogrammes bidimensionnels	11	Création d'un masque des zones dénudées et semi-dénudées	45
4.1.2 Analyse des vecteurs et valeurs propres	11		
4.1.3 Réponses spectrales des couverts forestiers	13		
4.1.3.1 Caractérisation des réponses spectrales	13		
4.1.3.2 Séparabilité des réponses spectrales	13		
4.1.4 Sélection des bandes spectrales optimales	15		
4.2 Transformation des données brutes de <i>TM</i>	16		
4.2.1 Accentuations spécifiques	16		
4.2.2 Accentuation par décorrélation	16		
4.3 Précision du masque produit	17		
4.4 Potentiel de l'image produite	17		
Chapitre cinq			
Discussion	21		
5.1 Choix de bandes spectrales	21		
5.2 Accentuation	21		
5.3 Confection et utilisation du masque	21		
5.4 Interprétation et transfert des polygones	21		
5.4.1 Mise en référence de la carte avec l'image	21		
5.4.2 Interprétation de l'image	22		

Liste des tableaux

Tableau 1	Caractéristiques du capteur <i>TM</i>	5
Tableau 2	Coefficients de corrélation entre bandes <i>TM</i>	11
Tableau 3	Matrice de variance-covariance des données <i>TM</i>	13
Tableau 4	Matrice de vecteur et valeurs propres des quatre composantes principales	13
Tableau 5	Séparabilité des réponses spectrales	15
Tableau 6	Classement de quatre triplets de bandes <i>TM</i>	15
Tableau 7	Coefficients de corrélation entre canaux <i>DECORR</i>	16
Tableau 8	Matrice de variance-covariance des données <i>TM</i> transformées par <i>DECORR</i>	16
Tableau 9	Coefficients de corrélation entre canaux <i>DECO</i>	16
Tableau 10.	Matrice de variance-covariance des données <i>TM</i> transformées par <i>DECO</i>	16
Tableau 11	Comparaison des superficies des coupes totales calculées sur l'image <i>TM</i> à celles obtenues à partir de photographies aériennes à 1:15 000. Précision de la grille de points cotés (pts) utilisée : 1 point = 0,25 ha	20

Liste des figures

Figure 1	Localisation de la zone d'étude	4
Figure 2	Localisation de l'unité d'aménagement 322 et centres des images <i>TM</i> utilisées	6
Figure 3	Intégration au processus de comptabilité forestière de la méthode de mise à jour des cartes forestières en forêt privée basée sur l'utilisation des images de satellite	8
Figure 4	Histogrammes bidimensionnels : a) entre bandes TM3, TM4 et TM5 ; b) entre composantes principales CP3, CP2 et CP1; c) entre canaux DECO3, DECO2 et DECO1; d) entre canaux DECORR3, DECORR2 et DECORR1. Image <i>TM</i> 1991	12
Figure 5	Réponses spectrales des sites-échantillons. Image <i>TM</i> 1991	14
Figure 6	Réponses spectrales des sites-échantillons : a) bandes spectrales TM5, TM4 et TM3 étalées dans RVB; b) canaux décorrélés DECO1, DECO2 et DECO3 étalés dans RVB. Image <i>TM</i> 1985.	18
Figure 7	Précision de recouvrement des zones dénudées et semi-dénudées par un masque produit à partir de l'image <i>TM</i> 1985 : a) sur le système <i>PCI</i> ; b) sur le système <i>OCTIMAGE</i>	19
Figure 8	Corrélation élevée entre les bandes 1 et 2	28
Figure 9	Corrélation faible entre les bandes 1 et 2	28

- Figure 10** Ellipsoïde de variance-covariance ;
axes principaux : $\sqrt{\lambda_1}$, $\sqrt{\lambda_2}$ et $\sqrt{\lambda_3}$ 29
- Figure 11** Organigramme d'accentuation
par décorrélation 32
- Figure 12** Organigramme de création
du masque sur le système *PCI* 46

Planches couleurs hors-texte (après la page 64)

- Figure 13** Composés colorés (RVB) de;
a) bandes spectrales TM5, TM4 et
TM3; b) canaux décorrélés
DECO1, DECO2 et DECO3.
Image *TM* 1985
- Figure 14** Composés colorés (RVB) de
canaux décorrélés DECORR1,
DECORR2 et DECORR3 : a) sans
masque, b) avec masque (image
TM 1985) et contours des coupes
totales 1985-1991 mises à jour.
Image *TM* 1991.

Introduction

La mise à jour annuelle des cartes forestières du domaine public par le ministère des Ressources naturelles (MRN) consiste à cartographier les différentes perturbations qui affectent le territoire forestier : coupes totales, coupes partielles, feux, chablis, épidémies, gravières, voies d'accès, lignes de transport d'énergie, etc. (BARD *et al.* 1984). Cette mise à jour est basée sur la connaissance de ces perturbations (données de terrain) et sur la prise de photographies aériennes.

En forêt privée, on n'a effectué aucune mise à jour du même genre. L'approche utilisée en forêt publique ne peut s'appliquer en forêt privée parce qu'il n'y a pas ou très peu de suivi des interventions réalisées dans cette forêt et parce que la prise de photographies aériennes sur l'ensemble de ce territoire occasionnerait des frais très importants. D'autre part, la localisation des interventions sur les photographies aériennes serait longue et difficile, compte tenu du nombre élevé et du morcellement des interventions.

Les images multispectrales du satellite *Landsat TM* couvrant de grands territoires et offrant une discrimination du couvert végétal peuvent être profitables pour combler l'absence de mise à jour des cartes forestières du domaine privé.

Dans un premier temps, afin d'explorer cette nouvelle technologie qu'est la télédétection spatiale, un projet-pilote a été réalisé par le ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) et une méthode a été mise au point pour les besoins particuliers de mise à jour en forêt privée et basée sur l'utilisation des images *TM* et du système *ARIES-III* de *DIPIX* (SEUTHÉ *et al.* 1990). Plus tard, le Service de la comptabilité forestière (SCOF) du MRN a entrepris un essai de mise à jour des cartes forestières de l'unité d'aménagement de la Beauce (322) et a demandé au Service de la recherche appliquée (SRA) de réviser la méthode mise au

point dans le projet pilote, de façon à la simplifier, à l'automatiser et surtout à en permettre une utilisation opérationnelle sur les systèmes de traitement d'images numériques *PCI* et *OCTIMAGE* disponibles au SCOF.

À la suite à cette demande, le Service de la recherche appliquée a entrepris une recherche, dont l'objectif était de mettre au point une méthode opérationnelle de mise à jour de la carte forestière en forêt privée, basée sur des images du satellite *Landsat TM* et supportée par les systèmes de traitement numérique *PCI* et *OCTIMAGE*.

Sous-objectifs :

- réviser les traitements numériques proposés dans le rapport du projet-pilote pour les simplifier, les automatiser et surtout les adapter aux systèmes de traitement numérique *PCI* et *OCTIMAGE* ;
- tester et mettre au point d'autres types de traitements possibles tenant compte de la problématique spécifique des interventions en forêt privée et du matériel disponible ;
- concevoir et mettre au point des procédures et un logiciel permettant une exécution rapide des traitements retenus ;
- tester la méthode et définir quelles sont les perturbations affectant la forêt privée qui peuvent être périodiquement mises à jour.

Par la suite, en utilisant cette méthode (sous forme de traitements automatisés et de procédures simplifiées), le SCOF a poursuivi l'essai dans l'unité d'aménagement (322) et réalisé toutes les étapes de mise à jour jusqu'à la production des cartes forestières et la recomposition de la banque d'inventaire.

C'est à partir de cet essai que le SCOF évalue le cadre technique et les coûts de mise à jour de la carte forestière en forêt privée (LAFRAMBOISE et LÉTOURNEAU 1992). Un programme de mise à jour s'étendant à toute la forêt privée du Québec est présentement à l'étude au MRN.

Le présent rapport vise trois objectifs : 1) décrire de façon détaillée la méthode mise au point, 2) présenter les résultats obtenus, c'est-à-dire définir les perturbations affectant la forêt privée qui peuvent être périodiquement mises à jour à l'aide de la méthode proposée et 3) formuler les recommandations pour les recherches futures conduisant à l'amélioration de la méthode.

Chapitre premier

Cadre biophysique

1.1 Situation géographique et milieu physique

La zone d'étude qui correspond à l'unité d'aménagement 322 est située dans les Appalaches dans le sud du Québec, entre $45^{\circ} 35'$ et $46^{\circ} 15'$ de latitude nord et $71^{\circ} 10'$ et $71^{\circ} 00'$ de longitude ouest (figure 1). Cette zone, dont l'altitude varie entre 152 et 305 m, englobe une portion importante du bassin de la rivière Chaudière et fait partie de l'unité de gestion de Beauce (34). L'ensemble du territoire se caractérise par un climat tempéré continental et les conditions climatiques des localités situées à proximité de la rivière Chaudière se rapprochent généralement de celles de la station de Québec. Les formations rocheuses, d'origines sédimentaire et métamorphique, sont souvent issues de matériaux argileux. L'ensemble du dépôt est formé surtout de matériaux glaciaires et fluvio-glaciaires. Les sols se partagent en podzols, brunisols et gleysols (OUELLET *et al.* 1991).

1.2 Végétation et influence humaine

Selon la *Carte des régions écologiques du Québec méridional* de Thibault (1985), le territoire étudié fait partie de la région écologique de Beauce (3e), correspondant au domaine de l'érablière à bouleau jaune. Ce territoire facilement accessible est surtout dominé par les essences feuillues (érable,

peuplier et bouleau), avec une présence importante de conifères (sapin, épinette et thuya).

Dans son ensemble, le territoire est très marqué par l'activité agricole, reléguant la forêt au second plan. Les boisés privés représentent des stations marginales et difficilement utilisables à des fins agricoles. Les régions accidentées se caractérisent également par l'abandon de plus en plus marqué des terres agricoles (friches) qui retournent graduellement à une vocation plus forestière. Les peuplements feuillus font l'objet de coupes partielles et la récolte de l'eau d'érable provoque à divers degrés des perturbations à l'intérieur des peuplements touchés. En ce qui concerne les peuplements résineux, ces derniers présentent souvent des indices d'une importante pression causée par l'exploitation forestière. Cette situation est particulièrement marquée dans les endroits où les terres agricoles sont difficilement exploitables. On observe aussi des dégâts causés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem.). La forêt publique couvre moins de 5 % du territoire.

*

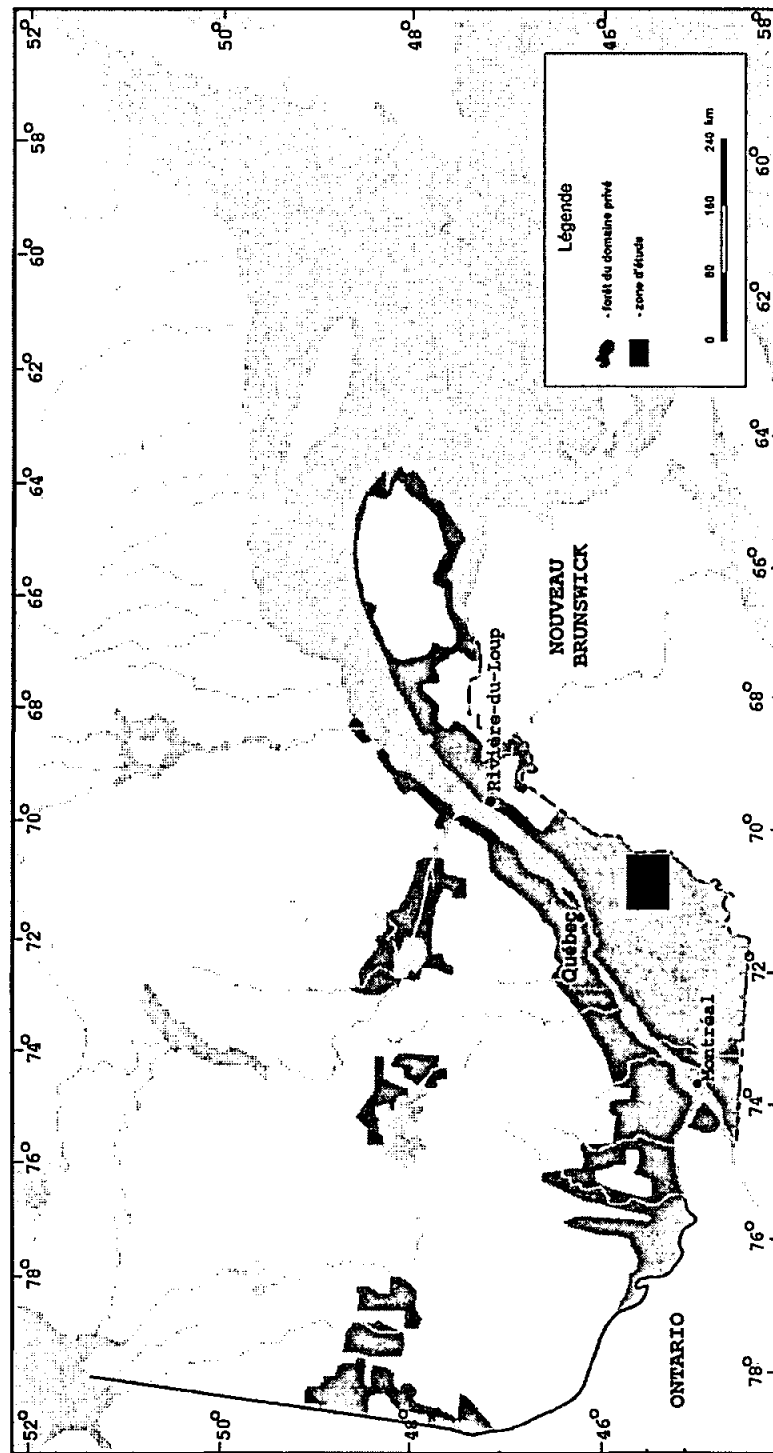


Figure 1. Localisation de la zone d'étude.

Chapitre deux

Matériel

2.1 Données de télédétection spatiale

Les données de quatre scènes enregistrées par le capteur *TM* à bord du satellite *Landsat 5* et couvrant la zone d'étude ont été utilisées afin de réaliser l'essai de mise à jour de la carte forestière en forêt privée. Les données d'une scène de 1985 ont été considérées comme image de référence et les données de trois autres scènes, utilisées pour identifier les changements intervenus successivement entre 85 et 87 (scène de 1987), entre 87-89 (scène de 1989) et entre 89-91 (scène de 1991). Quatre bandes disponibles, *TM3*, *TM4*, *TM5* et *TM7*, parmi les six bandes réflectives de *TM* (tableau 1), ont été considérées dans cette étude.

La présentation des résultats a été limitée à la partie des scènes de 1985 et de 1991 couvrant le feuillet 21L/2 S.E. (figure 2).

Les critères de sélection des images ont été la disponibilité, une couverture nuageuse minimale et la saison. En fonction des objectifs poursuivis, il est important de bien choisir la date de prise des images car les conditions de terrain varient beaucoup au cours d'une année. Ainsi, on a choisi des images d'été, puisqu'il est généralement reconnu qu'une bonne image captée à cette époque est la plus favorable à la discrimination de la végétation (BEAUBIEN 1984).

2.2 Données de terrain

Les documents utilisés pour valider les traitements numériques sont les cartes forestières au 1 : 20 000 établies à partir de photographies aériennes (1 : 15 000) prises entre 1985 et 1987 et d'autres, prises en 1991. Ces données ont été complétées par des observations de terrain réalisées entre 1987 et 1991.

Tableau 1. Caractéristiques du capteur *TM*

Bande spectrale	Longueur d'onde (μm)	Pixel (m x m)
TM1	0,45 - 0,52	30 X 30
TM2	0,52 - 0,60	30 X 30
TM3 (*)	0,63 - 0,69	30 X 30
TM4 (*)	0,76 - 0,90	30 X 30
TM5 (*)	1,55 - 1,75	30 X 30
TM6	10,40 - 12,50	120 X 120
TM7 (*)	2,08 - 2,35	30 X 30
Cycle orbital (jours) : 16		
Dimensions de l'image (km) : 185 x 161		
(*) - Bande utilisée dans cette étude		

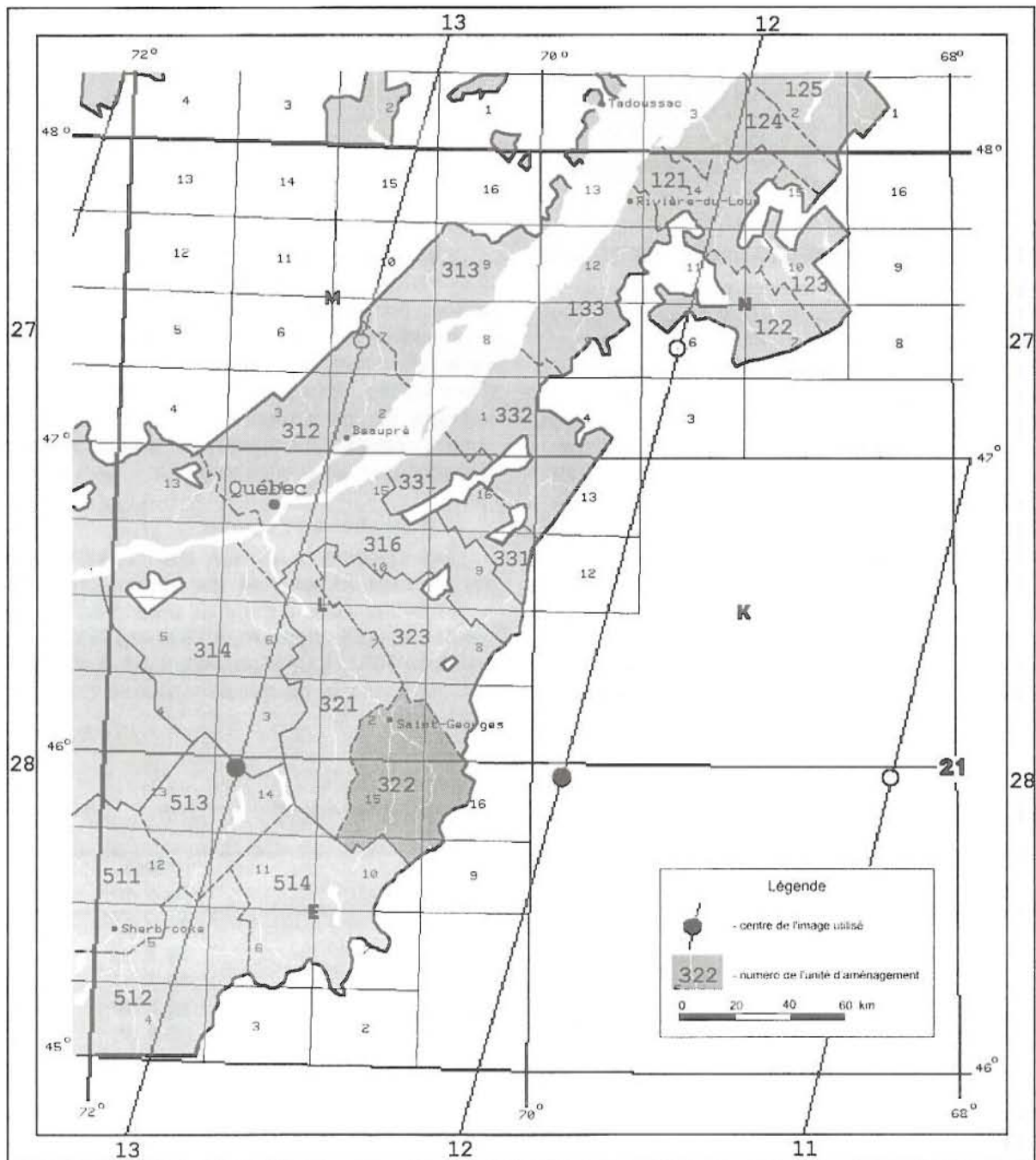


Figure 2. Localisation de l'unité d'aménagement 322 et centres des images *TM* utilisées.

Chapitre trois

Méthode

3.1 Développement de la méthode

La méthode de mise à jour des cartes forestières en forêt privée, présentée ici, est basée sur celle décrite par SEUTHÉ *et al.* (1990). Cependant, dans le cadre de ce projet, elle a été améliorée et simplifiée et des moyens pour ce faire ont été mis au point.

La méthode de mise à jour proposée par SEUTHÉ *et al.* (1990) préconise l'utilisation des bandes 3, 4 et 5 de *TM*, de la technique d'accentuation par décorrélation selon GRENON (1989) et du système DIPIX (DIPIX 1986).

Afin de réviser cette approche, nous avons réalisé des travaux comprenant l'étude des bandes spectrales de *TM* et l'analyse des différentes techniques d'accentuation des images. Ceci a permis de confirmer l'intérêt des bandes 3, 4 et 5 de *TM* et de la transformation par décorrélation pour la production d'une image riche en informations nécessaires à la mise à jour des cartes forestières de la forêt du domaine privé.

À partir des données de « vérité-terrain » disponibles, dix sites-échantillons ont été sélectionnés avec précision sur l'image pour orienter les traitements numériques et contrôler les résultats : résineux, résineux ravagés par la tordeuse, feuillus, coupes totales avec végétation, coupes totales récentes, champs labourés, champs de foin, zones urbaines, autres interventions (scarifiage, dégagement, nettoyage) et plantations.

3.1.1 Étude des bandes spectrales de *TM*

Cette étude comprend : 1) l'analyse de matrices de corrélation et de variance-covariance, 2) l'analyse de vecteurs et de valeurs propres, 3) l'étude des réponses spectrales et enfin 4) la sélection de trois bandes spectrales optimales par le calcul du volume de l'ellipsoïde de distribution (Annexe A) des données associé à chaque combinaison possible de trois bandes.

3.1.2 Accentuations spécifiques

On a testé différentes techniques d'accentuation de l'image pour fin d'interprétation visuelle : étalement de contraste, transformation en composantes principales, transformation par décorrélation des bandes et combinaisons linéaires des bandes, afin de sélectionner celle d'entre elles qui permettrait d'optimiser le contraste entre la forêt et les milieux dénudés et semi-dénudés.

Les images accentuées les plus prometteuses ont été soumises à des tests d'interprétation visuelle et les résultats ont été comparés aux données recueillies sur le terrain, aux photographies aériennes et aux cartes forestières existantes.

À l'issue de cette comparaison, la transformation par décorrélation de bandes 3, 4 et 5 de *TM* a été conservée.

*

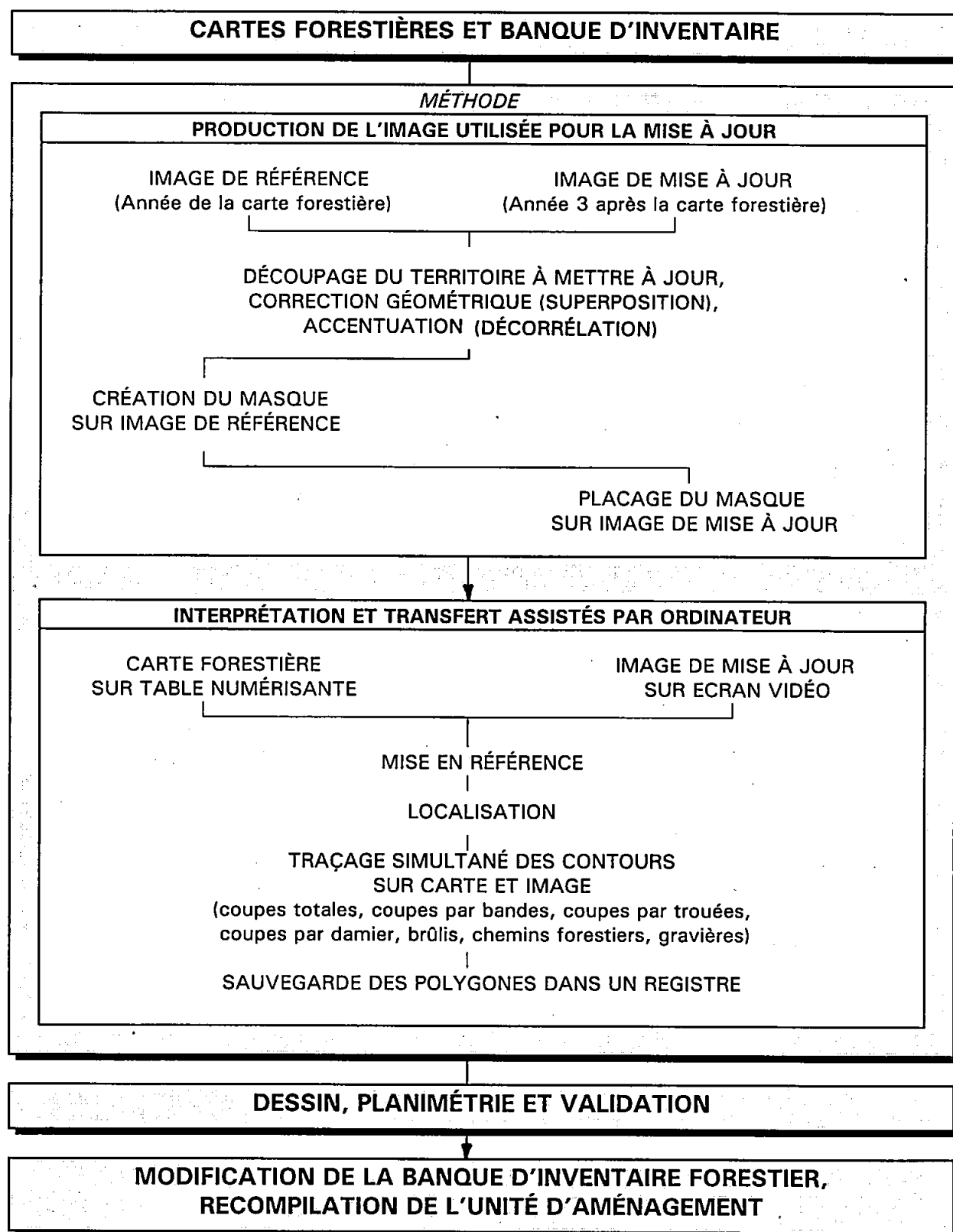


Figure 3. Intégration au processus de comptabilité forestière de la méthode de mise à jour des cartes forestières en forêt privée, basée sur l'utilisation des images de satellite.

3.1.3 Simplification et amélioration des traitements

Étant donné la complexité des traitements développés initialement sur le système *DIPIX* (*DIPIX* 1986) ainsi que l'accès limité à ce système, plusieurs améliorations y ont été apportées pour les simplifier, les automatiser et les adapter aux systèmes de traitement d'images disponibles au SCOF : *PCI* et *OCTIMAGE*, et rendre en même temps tous ces traitements opérationnels.

Tout d'abord, on a confirmé le potentiel de l'algorithme *DECORR* (*GILLESPIE et al.* 1986), disponible sur le système *PCI*, pour la décorrélation des bandes brutes. Puis, on a mis au point les moyens permettant l'intégration de l'algorithme *DECO* de calcul de la matrice de décorrélation (*SOHA et al.* 1978, *GRENON* 1989) dans le processus automatique de transformation par décorrélation des données numériques (*Annexe B*, *MATEJEK* 1992). Les possibilités d'effectuer certains calculs sur *OCTIMAGE* ont aussi été vérifiées. Tout cela a permis d'élaborer trois procédures permettant de transformer les données brutes de *TM* et de produire un composé coloré fortement contrasté des trois axes décorrélés. L'organigramme (figure 11, *Annexe B*) schématise le fonctionnement de ces trois procédures, tandis que la suite de l'annexe B contient les détails du traitement. Dans cet organigramme, les lignes pointillées horizontales séparent les trois grandes étapes du traitement alors que les boîtes représentent des programmes à exécuter, avec leur nom. Les flèches expliquent la séquence des programmes formant une procédure. Celle-ci, basée sur l'utilisation de deux systèmes, *PCI* et *OCTIMAGE*, demande plusieurs interventions de l'opérateur ; elle est donc peu opérationnelle. Par contre, deux autres procédures sont quasi automatiques et on y intervient simplement pour sélectionner le secteur d'échantillonnage.

Nous avons aussi élaboré sur *PCI* une procédure permettant la confection du masque. Les principales étapes de ce traitement sont présentées à la figure 12 (*Annexe C*). On retrouve également dans cette annexe C les détails du traitement. Parallèlement, des essais sur *OCTIMAGE* ont permis de mettre au point une méthode simple et rapide de confection du masque à partir d'un composé coloré formé de trois axes décorrélés (v. annexe C). Tous ces développements ont permis de simplifier et d'accélérer considérablement la préparation des images en vue de leur interprétation.

3.2 Présentation de la méthode

À présent, la méthode de mise à jour des cartes forestières en forêt privée est intégrée au processus courant de comptabilité forestière, dont les principales étapes apparaissent à la figure 3. Elle comprend les traitements numériques réalisés en deux grandes étapes : 1) la production de l'image permettant la mise à jour et 2) l'interprétation et le transfert assistés par ordinateur.

3.2.1 Production de l'image utilisée pour la mise à jour

Les traitements numériques servant à la fabrication de l'image utilisée pour la mise à jour des cartes forestières peuvent se résumer comme suit. Tout d'abord, l'image de référence, c'est-à-dire celle dont la date d'acquisition se rapproche de celle des photographies aériennes utilisées pour la confection des cartes d'inventaire – dans notre cas, l'image *TM* 1985 – ainsi que l'image de mise à jour sont découpées en fonction du territoire représenté par les cartes à mettre à jour. Ces images sont ensuite corrigées géométriquement pour assurer leur superposition avec des cartes. On utilise la transformation polynomiale basée sur les points de contrôle en coordonnées MTM saisies sur la carte topographique à 1 : 20 000. La précision de la correction est de plus ou moins un pixel, soit 25 m.

Puis, on procède à l'accentuation du contraste des images par décorrélation des bandes brutes 3, 4 et 5 de *TM* dans le but de faire ressortir plus clairement les interventions forestières à mettre à jour. Ensuite, on produit un masque couvrant tout ce qui est, sur l'image de référence, à l'extérieur de la forêt aménagée (terrains agricoles, zones urbaines, etc.) et on superpose celui-ci à l'image de mise à jour. L'image ainsi créée sert ensuite pour mettre les cartes forestières à jour.

3.2.2 Interprétation et transfert assistés par ordinateur

L'interprétation et le transfert des polygones sur la carte forestière s'effectuent à l'aide d'un système de traitement et d'interprétation *OCTIMAGE*. La carte à mettre à jour est d'abord installée sur la table numérisante et mise en référence, à partir de points d'appui (calage), avec l'image accentuée affichée sur l'écran vidéo couleurs. Par la technique du masque, il est alors facile de repérer les interventions forestières à mettre à jour. Toutes les nouvelles interventions apparaissent à l'extérieur du masque, ce qui permet ainsi une

détection rapide des changements survenus durant une période donnée. On trace alors simultanément le contour de chaque intervention sur l'image affichée et sur la carte forestière. Ensuite, on sauvegarde tous ces polygones, avec les noms correspondants, dans un registre, pour utilisation ultérieure, c'est-à-dire la mise à jour rapide et automatique du masque de référence pour la prochaine mise à jour des cartes et la modification de la banque d'inventaire forestier.

Chapitre quatre

Résultats

4.1 Analyse des données brutes de TM

L'analyse statistique des bandes spectrales de l'image TM 1991, dont les résultats sont présentés ci-après, a été effectuée afin de déterminer les trois bandes qui permettent une discrimination optimale des couverts étudiés.

4.1.1 Matrice de corrélation, variance-covariance et histogrammes bidimensionnels

La corrélation entre les quatre bandes de TM 1991 disponibles pour l'étude, calculée sur l'ensemble de l'image choisie, est présentée au tableau 2. Les bandes TM3, TM5 et TM7 sont fortement corrélées, tandis que la bande TM4 (proche infrarouge) s'individualise très nettement en présentant une corrélation très faible avec les autres bandes, surtout la bande TM7.

Quant à la quantité d'informations portée par chacune des quatre bandes, elle est exprimée par les valeurs sur la diagonale de la matrice variance-covariance (tableau 3). La valeur maximale est associée à la bande TM4, la seconde correspond à la bande TM5, la troisième et la quatrième valeur étant associées aux bandes TM7 et TM3 respectivement. L'analyse de ces matrices montre l'intérêt des bandes TM4 et TM5 et, dans une moindre mesure, des bandes TM3 et TM7.

Les histogrammes bidimensionnels établis sur l'ensemble de l'image et pour les canaux TM3, TM4 et TM5 sont représentés à la figure 4a. Ils permettent de confirmer la relativement faible décorrélation de ces canaux ; la forte amplitude des valeurs observées, en particulier dans les canaux TM4 et TM5 traduit la diversité des types de couvert de la zone d'étude. L'allure générale de l'histogramme croisé entre TM3 et TM4 (figure 4a) est classique : cette forme triangulaire allant des sols nus (à droite) vers une végétation verte et dense (concentration à gauche) a été maintes fois observée à partir de données de télédétection ou de mesures radiométriques au sol (STAENZ *et al.* 1980, BENSON et DEGLORIA 1985, HORLER et AHERN 1986).

4.1.2 Analyse des vecteurs et valeurs propres

Les vecteurs et valeurs propres de quatre composantes principales sont rassemblés au tableau 4. Les trois premières composantes absorbent la quasi-totalité de la variance. La première composante est une somme des quatre bandes avec prédominance des bandes TM5 et TM4. La deuxième est donnée principalement par la bande TM4 (proche infrarouge) et la troisième oppose la bande TM3 à la bande TM5. La bande TM7 est moins significative puisqu'elle n'apparaît fortement que dans la quatrième composante dont la valeur propre est très faible.

Tableau 2. Coefficients de corrélation entre bandes TM

Bande	TM3	TM4	TM5	TM7
TM3	1,000			
TM4	-0,180	1,000		
TM5	0,646	0,385	1,000	
TM7	0,877	0,029	0,886	1,000

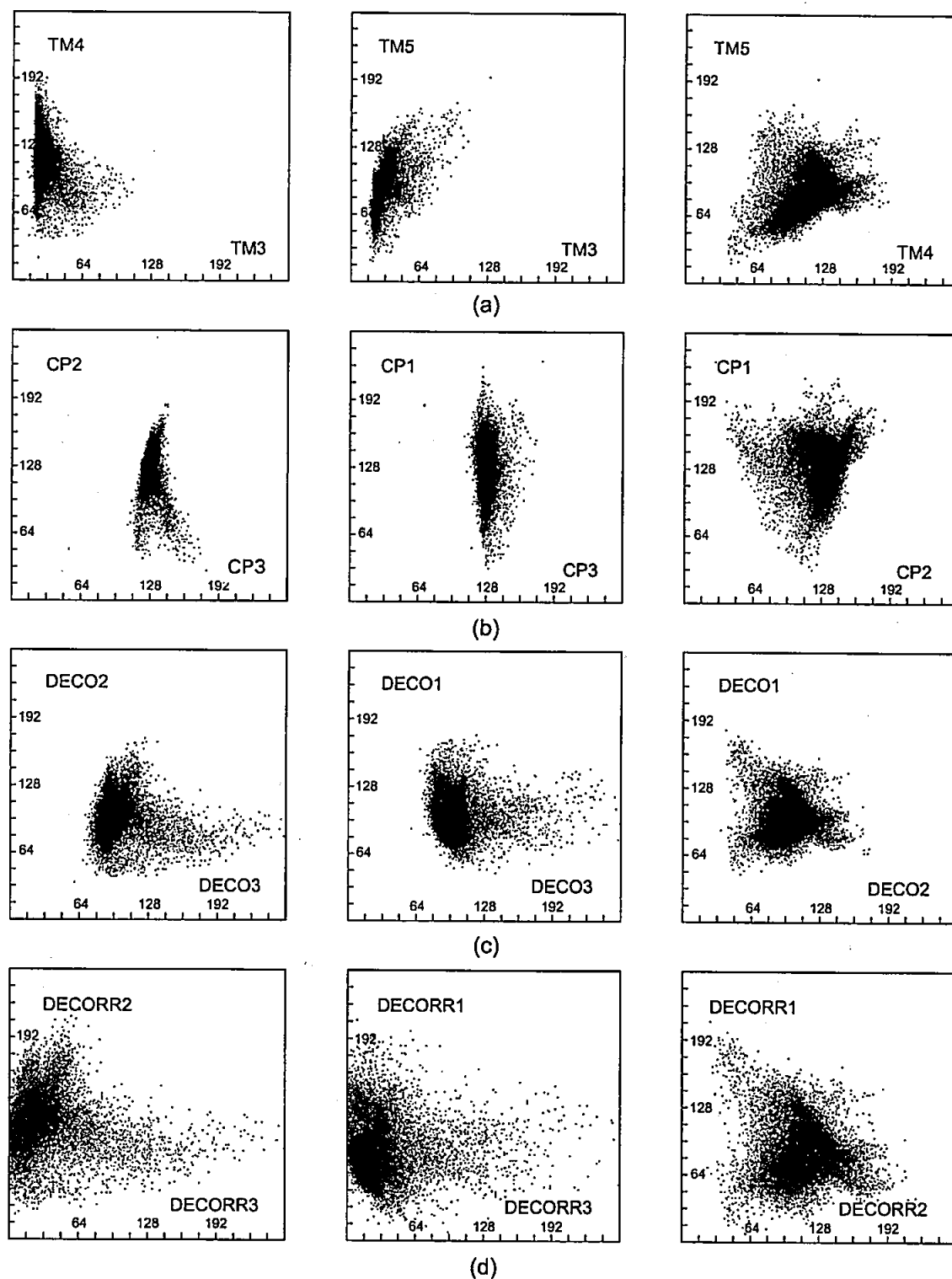


Figure 4. Histogrammes bidimensionnels : a) entre bandes TM3, TM4 et TM5, b) entre composantes principales CP3, CP2 et CP1, c) entre canaux DECO3, DECO2 et DECO1, d) entre canaux DECORR3, DECORR2 et DECORR1. Image TM 1991.

Tableau 3. Matrice de variance-covariance des données TM

Bande	TM3	TM4	TM5	TM7
TM3	80,555			
TM4	- 31,625	380,825		
TM5	112,494	145,804	376,030	
TM7	73,078	5,277	159,518	86,234

Tableau 4. Matrice de vecteurs et valeurs propres des quatre composantes principales

Vecteur propre	Valeur propre	Coefficients des bandes TM				Écart type	Variance %
		TM3	TM4	TM5	TM7		
1	570,28	0,181	0,561	0,757	0,283	23,880	61,74
2	325,49	- 0,370	0,784	- 0,365	- 0,339	18,041	35,24
3	25,07	- 0,824	- 0,261	0,462	- 0,198	5,007	2,71
4	2,78	0,388	- 0,064	0,282	- 0,875	1,669	0,30

4.1.3 Réponses spectrales des couverts forestiers

Pour dix types de couvert sélectionnés sur l'image TM 1991, les réponses spectrales ont été calculées.

4.1.3.1 Caractérisation des réponses spectrales

Les réponses spectrales des sites-échantillons par bande spectrale apparaissent à la figure 5. D'une manière générale, les réponses spectrales des sols nus, des sols avec végétation arbustive ou herbacée et celles des boisés présentent des différences significatives (KARASKA *et al.* 1986). En effet, les coupes totales récentes (Ctr), coupes totales avec végétation (Ctv), champs labourés (Chl), autres interventions (Aut, comprenant les zones de scarifiage, dégagement, nettoyage) et plantations (Pl) se différencient nettement des zones boisées (Fm et Rm) par des valeurs plus fortes sur la totalité des bandes, sauf la bande TM4. Cette dernière, avec sa dynamique très forte (niveaux de gris de 0 à 192), permet cependant une meilleure séparation au sein des boisés, c'est-à-dire entre feuillus mûrs (Fm) et résineux mûrs (Rm). Elle assure aussi la meilleure séparation entre coupes totales avec présence de végétation (Ctv) et coupes totales récentes (Ctr), tandis que la meilleure discrimination entre ces dernières et les zones urbaines (U) est obtenue au moyen de la bande TM5. Cette dernière permet également d'atténuer les confusions spectrales qui existent entre champs de foin (Chf) et feuillus mûrs (Fm).

Quant aux champs labourés (Chl), leurs réponses spectrales se confondent avec celles des coupes récentes (Ctr), surtout dans le cas des bandes TM7 et TM5 et, dans une moindre mesure, dans le cas de la bande TM3, qui fournit généralement plus de nuances au niveau des zones dénudées, ce qui rend très difficile, voire impossible, leur discrimination adéquate.

Aussi, un très fort chevauchement (observé dans le cas de toutes les bandes spectrales sans exception) entre les réponses spectrales des coupes totales (Ctr + Ctv), des autres interventions (Aut) et celles des plantations (Pl) empêche la discrimination de ces couverts. Les résultats, présentés ci-dessous, d'un test de séparabilité de ces trois types de couvert confirment leur très forte ressemblance au point de vue spectral.

4.1.3.2 Séparabilité des réponses spectrales

Pour tester la séparabilité des réponses de très forte ressemblance, soit des réponses des coupes totales (Ctr + Ctv), d'autres interventions (Aut, comprenant des zones de scarifiage, dégagement, nettoyage) et des plantations (Pl), on a utilisé une mesure *Bhattacharya Distance (BD)* de PCI. Cette mesure de séparabilité s'exprime par une valeur réelle de « x » dans l'intervalle 0 à 2. Les valeurs calculées pour chaque paire de réponses spectrales sont présentées au tableau 5. Ces valeurs « x » ne dépassent pas l'intervalle : 0,0 à 1,0, ce qui signifie une très faible séparabilité des réponses spectrales soumises à ce test.

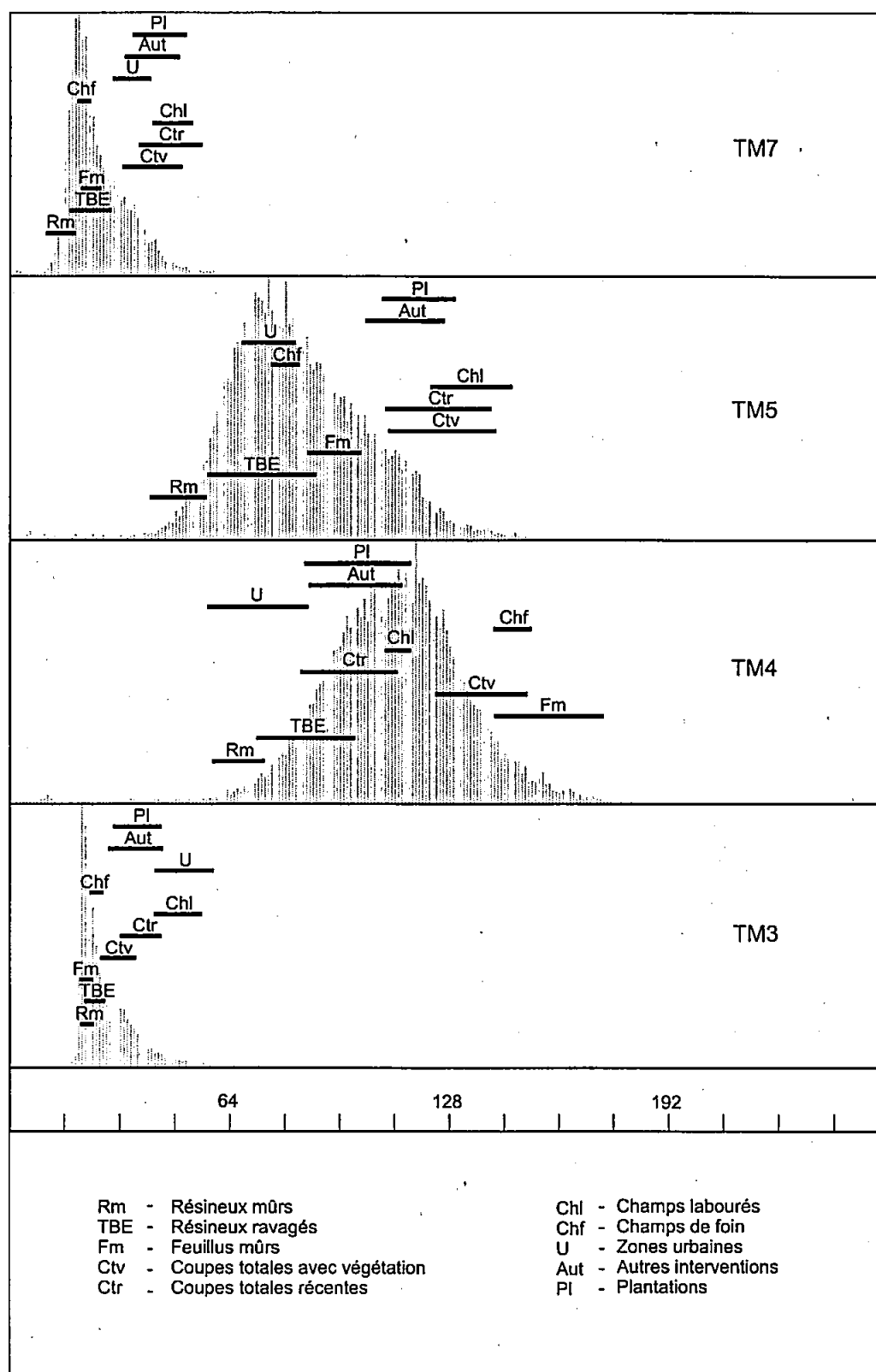


Figure 5. Réponses spectrales des sites-échantillons. Image TM 1991.

Tableau 5. Séparabilité des réponses spectrales

Mesure de séparabilité	$BD^{(1)}$	$BD^{(1)}$	$BD^{(1)}$
Paire de réponses spectrales	(Ctr + Ctv) PI	(Ctr + Ctv) Aut	PI Aut
Bandes spectrales	TM3, TM4 TM5, TM7	TM3, TM4 TM5, TM7	TM3, TM4 TM5, TM7
Séparabilité « x »	0,53244	0,58516	0,35564

⁽¹⁾ *Bhattacharrya Distance*

Cette confusion spectrale, qui existe aussi sur l'image accentuée par la décorrélation, ne permet pas de discriminer adéquatement ces trois types de couvert étudiés, puisqu'ils apparaissent sur cette image sous la même couleur : rouge ou rouge orangé. En termes forestiers, les plantations (PI) sont des zones de régénération d'une espèce donnée. Cependant, la surface occupée par les individus est trop faible pour que leur réponse spectrale soit détectable (HORLER et AHERN 1986, MATEJEK et DUBOIS 1988). En effet, les valeurs radiométriques de ces zones sont plutôt significatives des éléments minéraux (sols nus) et de la végétation qui se développe entre les arbres. Ces valeurs tiennent compte des espèces arbustives et herbacées et de leur développement (pourcentage de couverture du sol). La radiométrie de types de couvert : autres interventions (Aut) et coupes totales (Ctr + Ctv) ne diffère pas de celle des plantations (PI), puisqu'on retrouve dans ces deux premières, à des proportions très semblables, les mêmes éléments végétaux (arbustes, herbes) ou minéraux (sols nus) qui déterminent la réponse spectrale de ces types de couvert.

4.1.4 Sélection des bandes spectrales optimales

Étant donné que le coût d'acquisition, de traitement et de stockage des données numériques augmente considérablement avec le nombre de canaux à utiliser, une optimisation apparaît nécessaire. Ainsi, quatre bandes spectrales de TM 1991 : TM3, TM4, TM5 et TM7 disponibles pour cette étude ont été soumises au processus d'identification de triplet opti-

mal selon la méthode décrite à l'Annexe A. Le nombre de combinaisons possibles (nCr) de trois bandes parmi les quatre est de 4 (équation 1). Elles sont présentées au tableau 6.

$$nCr = \frac{4!}{3!(4-3)!} = 4 \quad [1]$$

Les triplets associés aux déterminants sont rangés par ordre décroissant d'informations totales qu'ils contiennent. Ainsi, le triplet des bandes spectrales TM3, TM4 et TM5 qui occupe la première position de ce classement permet de créer l'image la plus riche du point de vue du contenu thématique.

L'analyse des matrices de corrélation, de variance-covariance, de vecteurs propres ainsi que les réponses spectrales des différents couverts (sites-échantillons) suggèrent le choix des bandes spectrales TM3, TM4 et TM5 pour une discrimination optimale des types de couvert forestier étudiés. Ceci est confirmé par la plus grande valeur de déterminant calculé pour ce triplet (tableau 6).

La conclusion de cette étude est la confirmation de l'intérêt de choisir la combinaison TM3, TM4 et TM5 parmi les canaux TM : ceci rejoint les résultats d'autres auteurs (BEAUBIEN 1984, BENSON et DEGLORIA 1985, FRANKLIN 1986). Cette combinaison des bandes TM a donc été retenue pour les transformations ultérieures.

Tableau 6. Classement de quatre triplets de bandes TM

Rang	Déterminant	Composants de triplet
1	3590257	TM3 TM4 TM5
2	1060111	TM4 TM5 TM7
3	498795	TM3 TM4 TM7
4	85630	TM3 TM5 TM7

Tableau 7. Coefficients de corrélation entre canaux *DECORR*

Canal	DECORR3	DECORR2	DECORR1
DECORR3	1,000		
DECORR2	- 0,003	1,000	
DECORR1	- 0,004	- 0,055	1,000

Tableau 8. Matrice de variance-covariance des données *TM* transformées par *DECORR*

Canal	DECORR3	DECORR2	DECORR1
DECORR3	587,651		
DECORR2	- 1,973	542,519	
DECORR1	- 2,356	- 31,221	583,106

Tableau 9. Coefficients de corrélation entre canaux *DECO*

Canal	DECO3	DECO2	DECO1
DECO3	1,000		
DECO2	- 0,001	1,000	
DECO1	0,001	- 0,001	1,000

Tableau 10. Matrice de variance-covariance des données *TM* transformées par *DECO*

Canal	DECO3	DECO2	DECO1
DECO3	277,316		
DECO2	- 0,199	279,364	
DECO1	0,029	- 0,050	279,334

4.2 Transformation des données brutes de *TM*

Les données des bandes spectrales 3, 4 et 5 de *TM* 1991 sélectionnées précédemment ont été soumises à des tests d'accentuation afin de trouver une technique permettant d'optimiser le contraste entre la forêt et les milieux dénudés et semi-dénudés.

4.2.1 Accentuations spécifiques

Parmi les différentes techniques d'accentuation des images analysées, la transformation par décorrélation des bandes a été conservée, surtout à cause de sa simplicité et de son grand pouvoir discriminatoire au sein des zones dénudées et semi-dénudées.

4.2.2 Accentuation par décorrélation

Mis à part une légère saturation des données dans le cas du troisième canal (*DECORR3*) créé par *DECORR* (figure 4d), ce qui peut être d'ailleurs éliminé facilement en effectuant une translation des données brutes (bande *TM3*), avant leur traitement par cet algorithme, vers les plus grandes valeurs de niveau de

gris, les deux algorithmes étudiés : *DECORR* et *DECO* permettent la transformation par décorrélation des données brutes de *TM* avec une efficacité égale.

La transformation par décorrélation (figure 11) de trois bandes spectrales (3, 4 et 5 de *TM*) qui conduit à la création des canaux décorrélés (voir les coefficients de corrélation calculés pour ces canaux, tableaux 7 et 9) permet de répartir également la variance totale des bandes spectrales entre les trois axes décorrélés (tableaux 8 et 10). Cela revient à équilibrer les variances des composantes principales (figures 4b, 4c et 4d).

Ainsi, l'information qui ressort du composé coloré formé des canaux décorrélés (figures 13b et 14a) reflète cette répartition uniforme de variance totale entre les axes de l'espace chromatique RVB.

Compte tenu de l'absence de différences significatives entre les résultats obtenus avec ces deux algorithmes d'accentuation par décorrélation (*DECO*

et *DECORR*), on limite notre discussion à l'évaluation de l'image formée des canaux DECO1, DECO2 et DECO3. Cette évaluation repose sur la comparaison du composé coloré formé des bandes spectrales 5, 4 et 3 de *TM* étalées linéairement et affichées en RVB respectivement (Figure 13a), avec celui formé des canaux DECO1, DECO2 et DECO3 ayant subi le même genre d'étalement et d'affichage (figure 13b). Les graphiques en trois dimensions présentés à la figure 6 facilitent la comparaison de ces deux images. Ils visualisent la répartition des sites-échantillons (représentés ici par des cubes) dans l'espace chromatique RVB avant (figure 6a) et après (figure 6b) le traitement des données brutes.

À l'examen de ces deux graphiques, on constate les déplacements des cubes dans l'espace chromatique RVB à la suite du traitement effectué. Chaque changement de position d'un groupe (site-échantillon) dans cet espace se traduit par son apparition sur l'image de sortie (figure 13b) sous une autre couleur que sa couleur initiale, c'est-à-dire avant le traitement (figure 13a). Ainsi, les coupes totales récentes (cube « Ctr ») passent d'une teinte mauve à un rouge éclatant et les champs de foin (cube « Chf »), d'une teinte verte à un bleu turquoise vif. L'image formée des axes décorrelés apparaît plus contrastée que celle formée des bandes brutes. Les groupes sont répartis de façon optimale dans l'espace RVB; ils apparaissent donc sous des couleurs très vives et nettement différentes, ce qui facilite leur discrimination.

4.3 Précision du masque produit

La méthode de fabrication du masque sur le système *OCTIMAGE* apparaît plus simple et plus rapide, comparativement à celle développée sur le système *PCI*, qui comprend de nombreuses étapes de classification, filtrage et édition. Quant à l'efficacité de ces deux méthodes, elle a été analysée par le biais d'une comparaison entre ces masques produits et une carte de référence (carte forestière numérisée). La confrontation de ces deux masques avec la même carte de référence garantit une évaluation autant spatiale que quantitative, puisque ces masques ont été fabriqués à partir de la même image de référence (image *TM* 1985) préalablement corrigée géométriquement pour être superposable à la carte de référence. Ainsi, on peut constater en analysant les figures 7a et 7b que les divergences entre ces deux masques sont peu significatives. La première évidence qui ressort de l'examen de ces figures est que la précision de recouvrement des zones dénudées et semi-dénudées par chacun des masques, exprimée ici par la surface de recouvrement exact, est similaire et s'élève à 85 %

pour le masque de *PCI* et 86 % pour le masque d'*OCTIMAGE*. Quant aux erreurs d'omission (manque de recouvrement) et de commission (débordement du masque), elles sont aussi comparables et ne dépassent pas 15 % et 10 % respectivement.

4.4 Potentiel de l'image produite

L'analyse du composé coloré formé des canaux décorrelés : *DECORR1*, *DECORR2* et *DECORR3* et codés en rouge, vert et bleu respectivement (figure 14) permet d'évaluer les possibilités de l'image *TM* transformée par décorrélation pour la mise à jour des cartes forestières de la forêt privée. Le masque produit à partir de l'image *TM* 1985 (image de référence) et superposé à l'image *TM* 1991 accentuée (figure 14b) facilite l'interprétation de l'image. La forêt résineuse apparaît en bleu-brun foncé, la forêt feuillue, en vert et la forêt résineuse ravagée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, en rouge-brun. Les zones affectées de façon significative par une perturbation (coupes totales) apparaissent principalement dans les teintes rouges et orangées; les teintes rouges sont significatives des éléments minéraux (sol nu) tandis que les teintes orangée et orangé-jaune indiquent une certaine présence de la végétation arbustive et herbacée sur les aires de coupe. La couleur violette est significative des chemins d'exploitation forestière ainsi que des zones urbaines.

L'interprétation des coupes totales est facile à réaliser car leurs teintes caractéristiques sont assez homogènes et contrastent fortement avec le reste de l'image. Elle se fait aussi avec une précision satisfaisante. Nous avons tiré cette conclusion à la lumière d'un test sur le niveau de confiance (tableau 11). Des photographies aériennes à 1:15 000 prises à l'automne 1991 sur une portion très restreinte de l'unité 322 (environ 6%), seules disponibles pour notre étude, n'ont pas permis d'effectuer un test plus approfondi. Ainsi, la différence entre la superficie (ha) calculée sur l'image *TM* et celle obtenue à partir de photographies aériennes (tableau 11) se situe dans un intervalle de 0,38 à 5,49 % si on considère les grandes coupes (de l'ordre de dizaines d'hectares) et elle ne dépasse pas 12 % même si les coupes mises à jour sont très petites (de l'ordre de quelques hectares).

L'image ne permet pas cependant de discriminer plusieurs interventions réalisées en forêt privée. C'est le cas de la plupart des coupes partielles (éclaircies précommerciales et commerciales, coupe à diamètre limité et coupe de jardinage). C'est également le cas des travaux sylvicoles réalisés après une coupe (plantation, scarifiage, dégagement, nettoyage, etc.).

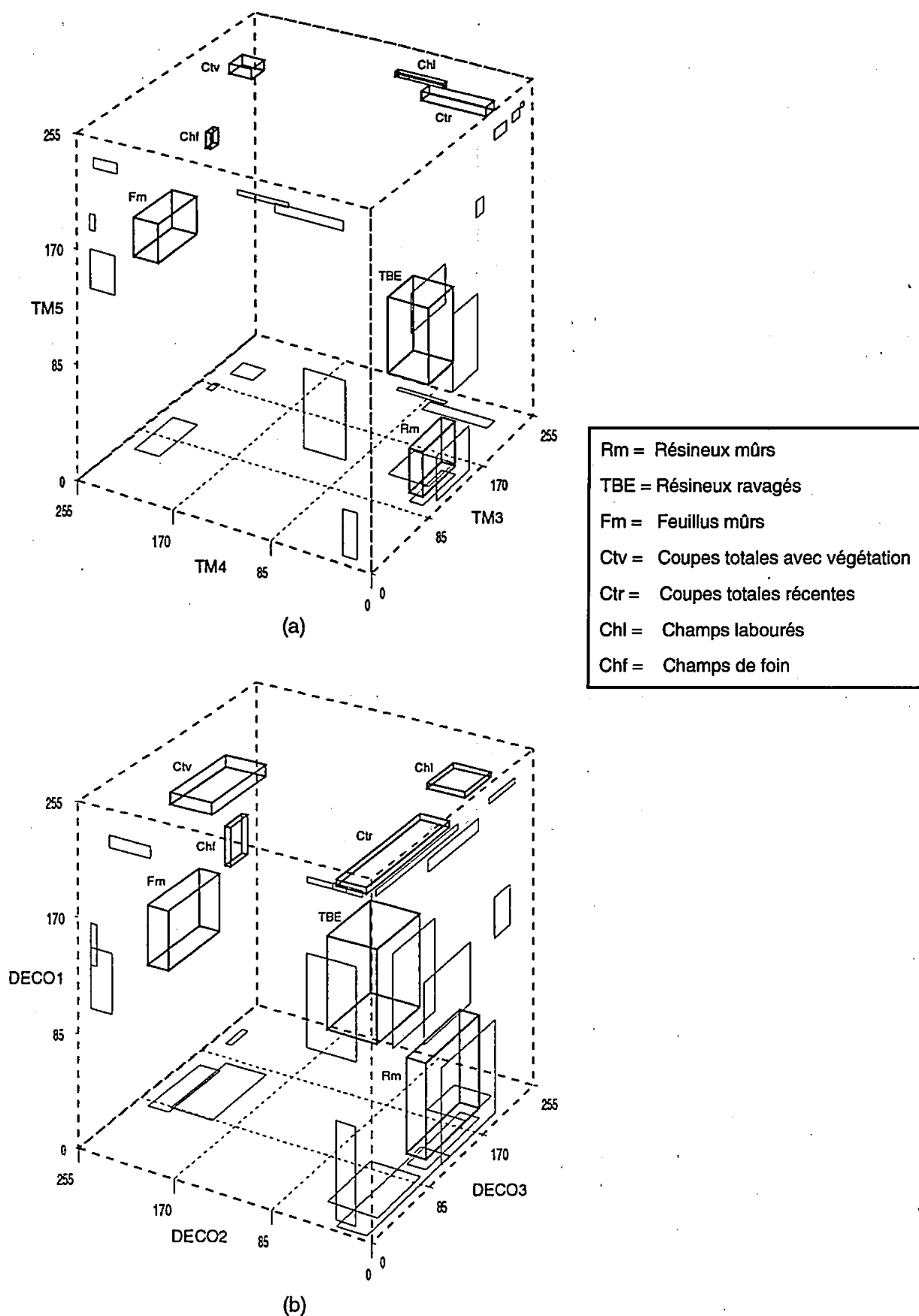
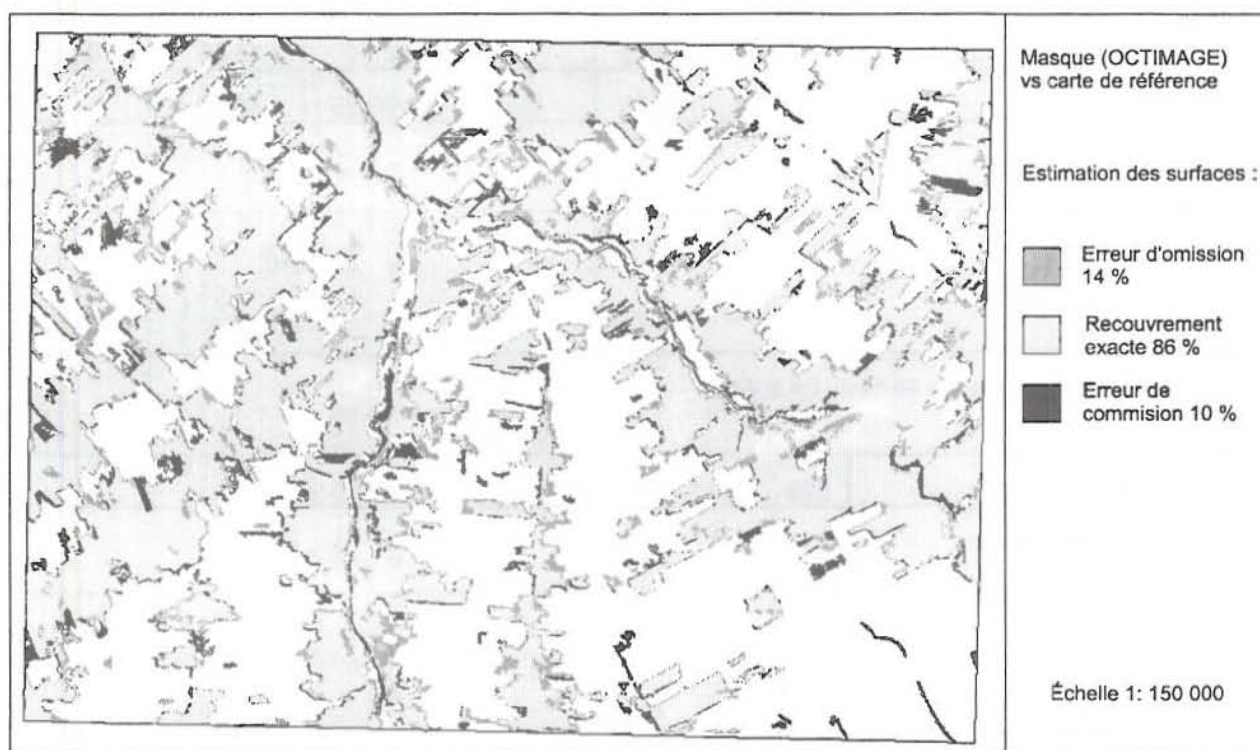


Figure 6. Réponses spectrales des sites-échantillons : a) bandes spectrales TM5, TM4 et TM3 étalées dans RVB, b) canaux décorrélés DECO1, DECO2 et DECO3 étalés dans RVB. Image TM 1985.



(a)



(b)

Figure 7. Précision de recouvrement des zones dénudées et semi-dénudées par un masque produit à partir de l'image TM 1985 : a) sur le système PCI, b) sur le système OCTIMAGE.

Tableau 11. Comparaison entre les superficies des coupes totales : calculées sur l'image TM ; obtenues à partir de photographies aériennes (à 1 : 15 000). Précision de la grille de points cotés (pts) utilisée : 1 point = 0,25 ha

n	Coupes totales						Erreur de calcul (%)	Δ ha Photo-image
	année	Numéro du peuplement	Surface photos		Surface image TM			
			(pts)	(ha)	(pts)	(ha)		
1	89 91	9507	294	73,50	287	71,75	2,38	1,75
2	87 89	8904 4521	109	27,25	112	28,00	2,75	- ,75
3	89	9515	90	22,50	85	21,25	5,56	1,25
4	91	5529	25	6,25	24	6,00	4,00	1,25
5	89	9517	13	3,25	13	3,25	0,00	0,00
6	91	5527	12	3,00	13	3,25	8,33	- 0,25
7	91	5514	11	2,75	12	3,00	9,09	- 0,25
8	89	9514	8	2,00	7	1,75	12,50	0,25
9	91	5525	7	1,75	8	2,00	14,29	- 0,25
10	91	5531	7	1,75	8	2,00	14,29	- 0,25
Total (1 à 5)			531	132,75	521	130,25	14,69	
Erreur moyenne					$\bar{x}$ = 2,94			
Écart-type					s = 2,06 $s_{\bar{x}}$ = 0,92			
Niveau de confiance 95 % -- t = 2,776					limite sup. = 5,49 limite inf. = 0,38			
Total (1 à 10)			576	144,00	569	142,25	73,18	
Erreur moyenne					$\bar{x}$ = 7,32			
Écart-type					s = 5,17 $s_{\bar{x}}$ = 1,64			
Niveau de confiance 95 % - t = 2,262					limite sup. = 11,02 limite inf. = 3,62			

Chapitre cinq

Discussion

5.1 Choix de bandes spectrales

Même si le rehaussement par décorrélation des bandes TM3, TM4 et TM5 (triplet classé au premier rang par calcul du volume de l'ellipsoïde) a donné de meilleurs résultats, il est intéressant de noter que le triplet des bandes TM4, TM5 et TM7 (occupant la deuxième position du même classement), traité de la même façon, permet de créer une image de bonne qualité, quoique inférieure à la première.

Cette possibilité de remplacer la bande TM3 par la bande TM7 donne plus de flexibilité à la méthode proposée et permet en même temps une exploitation plus efficace des données de TM. Ainsi, les problèmes liés au voile atmosphérique peuvent être contournés par un simple remplacement de la bande TM3 par la bande TM7, celle-ci étant habituellement moins affectée par ce phénomène.

5.2 Accentuation

Plusieurs techniques d'accentuation ont été testées. On a retenu celle de la décorrélation car elle est simple et met bien en évidence les coupes totales. Cependant, l'utilisation des techniques d'accentuation qui permettent d'orienter les transformations vers des thèmes particuliers pourrait augmenter le potentiel des images TM pour la mise à jour des cartes forestières. Les essais réalisés et ceux en cours d'expérimentation avec une de ces techniques d'accentuation, l'analyse discriminante (MATEJEK 1993), donnent des résultats prometteurs.

5.3 Confection et utilisation du masque

L'intérêt du masque découle de la ressemblance sur l'image TM accentuée entre les interventions forestières récentes et certains champs agricoles, par exemple les champs labourés. Si on ajoute à cela qu'en forêt privée, la géométrie des champs et des

coupes est souvent semblable, la confusion augmente d'autant. Les images accentuées présentées aux figures 13b et 14a montrent clairement cette confusion : on y trouve une multitude de zones de teintes rouges et orangées qui pourraient être facilement associées à des coupes forestières. On peut évidemment distinguer les deux par une interprétation appuyée sur les données auxiliaires (cartes d'inventaire forestier, photographies aériennes et données du terrain). Cependant, ceci allonge et alourdit considérablement le travail de localisation de coupes totales sur l'image TM. Ceci est d'autant plus important qu'en forêt privée, le couvert forestier, l'utilisation du sol et les interventions sont morcelés et hétérogènes. Il est donc avantageux d'enlever ou de masquer tout ce qui n'appartient pas à la forêt aménagée. Il devient alors possible de distinguer beaucoup plus facilement et rapidement les interventions affectant le couvert forestier. Si la carte forestière était numérisée et disponible dans un système d'information à référence spatiale (ARONOFF 1989), le masque serait disponible sur demande. Entre-temps, on produit le masque en utilisant une image captée durant la même année que les photographies aériennes ayant servi à la confection de la carte forestière.

5.4 Interprétation et transfert des polygones

5.4.1 Mise en référence de la carte avec l'image

La mise en référence (calage) de la carte à mettre à jour avec l'image accentuée est une opération facile à réaliser. Cependant, pour obtenir le maximum de précision, qui est d'environ 25 mètres, après la correction géométrique des images, on suggère d'effectuer cette opération par portions d'autant plus réduites qu'il y a des différences de relief. Une fois cette opération réalisée, le transfert des polygones sur la carte se fait simultanément à l'interprétation.

5.4.2 Interprétation de l'image

La comparaison des résultats obtenus à partir de l'image *TM* avec ceux issus de l'interprétation des photographies aériennes montre que les coupes totales et leurs variantes (coupes par bandes, par trouées et en damier), les brûlis, les chemins forestiers et les gravières peuvent être systématiquement mises à jour lorsqu'on utilise simultanément l'image accentuée et

la carte (à l'aide d'un système d'interprétation d'images) et lorsque la période entre l'image de référence (utilisée pour la confection du masque) et celle utilisée pour la mise à jour des cartes forestières est relativement restreinte (maximum 3 ans). Lorsque cette période est plus longue, la régénération après coupe, y compris les espèces concurrentes, empêche de plus en plus d'identifier adéquatement ces perturbations du couvert forestier.

Conclusion

La méthode proposée est basée sur l'interprétation visuelle d'images *TM* accentuées. Souple et économique, elle est bien adaptée au processus actuel de comptabilité forestière en forêt privée ainsi qu'à l'équipement disponible au SCOF. Elle est donc opérationnelle.

L'utilisation des bandes 3, 4 et 5 de *TM* transformées par décorrélation permet une bonne localisation (confirmée par les photographies aériennes et des données de terrain) et une cartographie périodique des coupes totales et de leurs variantes (coupe par bandes, par trouées et en damier), des brûlis, des chemins forestiers et des gravières. La distinction certaine et rapide de ces perturbations, sur l'image accentuée couverte d'un masque, facilite la mise à jour des cartes forestières.

Cependant, cette approche ne permet pas de discriminer plusieurs interventions réalisées en forêt privée. C'est le cas de la plupart des coupes partielles et des travaux sylvicoles réalisés après la coupe. Pour réaliser une mise à jour des cartes forestières comme elle se fait actuellement en forêt publique, d'autres sources d'informations, comme les fiches de reboisement et d'intervention (éclaircie, dégagement, etc.), devront donc être mises à contribution.

La méthode a permis au SCOF de réaliser avec succès un essai de mise à jour des 12 cartes forestières de l'U.A. 322 (Beauce) ainsi que de la banque d'inventaire associée. Les résultats satisfaisants obtenus au moyen de la méthode ont servi de base à l'étude technique d'un programme éventuel appliqué à la forêt privée et basé sur un cycle de trois ans (LAFRAMBOISE et LÉTOURNEAU 1992, LAFRAMBOISE et MATEJEK 1993). Ce programme permettrait de suivre les changements importants qui surviennent en forêt privée et de surveiller certaines pratiques forestières

qui y ont cours. Le coût d'une mise à jour aux trois ans de la carte forestière en forêt privée, en utilisant la méthode mise au point, est évalué à 6,52 \$ par km². Par comparaison, la mise à jour de la carte forestière à l'aide de la photo aérienne serait de 26,40 \$ par km², sans compter les frais indirects occasionnés par la manipulation et le suivi d'un grand nombre de photographies aériennes. Les coûts de mise à jour par télédétection sont dérivés de travaux réalisés. Les coûts de mise à jour par photographie aérienne sont évalués à partir du programme de mise à jour déjà en marche pour la forêt publique, en tenant compte qu'il n'y a pas d'information systématique disponible sur la localisation des interventions en forêt privée et qu'il faut donc procéder à une couverture photographique complète du territoire.

Le coût annuel par télédétection équivaut à 25 % du coût par photographie aérienne. Ces coûts correspondent à un programme adapté au système actuel de comptabilité forestière. Toutefois, la mise en place d'un système d'information à référence spatiale diminuerait les coûts de façon importante. La réalisation d'un programme comme celui-ci est importante et utile non seulement pour les intervenants en foresterie, mais aussi pour ceux qu'intéresse le domaine environnemental, agricole, municipal, etc.

Les développements en cours et à venir pourront être intégrés à la méthode actuelle. Il serait sûrement utile de pouvoir mettre à jour les interventions sylvicoles qui affectent partiellement le couvert forestier (coupes partielles). D'autre part, la mise à jour pourra être harmonisée avec le système d'information écoforestière (SIEF) qui sera prochainement mis en place au MRN. Il sera alors possible de faire la mise à jour entièrement en mode numérique sur les cartes du troisième programme d'inventaire forestier.

Références

- ARONOFF, S., 1989. *Geographic Information Systems : a management perspective*. WDL Publications, Ottawa, Canada. 294 p.
- ASSAF, K. et S.A. ASSAF, 1974. *Handbook of mathematical calculations for students and researchers*. Ames, The Iowa State University Press. 310 p.
- BARD, A., D. DEMERS, J. FORTIN, R. LETARTE, J.-P. LÉTOURNEAU, R. LORD, J.-I. PERRON, R. ROULEAU, M. TANGUAY et R. TREMBLAY, 1984. *Normes d'inventaire forestier*. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Service de l'inventaire forestier.
- BEAUBIEN, J., 1984. *Une méthode de rehaussement d'images Landsat pour la classification du couvert végétal*. Compte rendu du 8^e Symposium canadien sur la télédétection : 559-566.
- BENSON, A.S. et S.D. DEGLORIA, 1985. *Interpretation of Landsat-4 thematic mapper and multispectral scanner data for forest surveys*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 51(9) : 1281-1289.
- DIPIX SYSTEMS LTD., 1986. *Aries system user's manual*.
- FRANKLIN, J., 1986. *Thematic mapper analysis of coniferous forest structure and composition*. International Journal of Remote Sensing 7 : 1287-1301.
- GILLESPIE, A.R., A.B. KAHLE et R.E. WALKER, 1986. *Color enhancement of highly correlated images. Images decorrelation and HIS contrast stretches*. Remote Sensing of Environment 20 : 209-235.

- GRENON, A., 1989. *La décorrélation : maximiser les composés colorés*. Compte rendu du 12^e Symposium canadien sur la télédétection, Vancouver, C.-B. 3 : 1617-1620.
- HORLER, D.N.H. et F.J. AHERN, 1986. *Forestry information content of Thematic Mapper data*. International Journal of Remote Sensing 7 : 405-428.
- KARASKA, M.A., S.J. WALSH et D.R. BUTLER, 1986. *Impact of environmental variables on spectral signatures acquired by the LANDSAT thematic mapper*. International Journal of Remote Sensing 7 : 1653-1667.
- LAFRAMBOISE, P. et J.-P. LÉTOURNEAU, 1992. *Essai de mise à jour de la carte forestière en forêt privée dans l'U.A. 322 et étude technique d'un programme éventuel*. Ministère des Forêts, Service de la comptabilité forestière. Rapport. 46 p.
- LAFRAMBOISE, P. et S. MATEJEK, 1993. *Un nouvel apport de l'imagerie satellitaire : la mise à jour de la carte forestière en forêt privée au Québec*. Compte rendu du 16^e Symposium canadien sur la télédétection et 8^e Congrès de l'Association québécoise de télédétection, Sherbrooke, Québec : 487-493.
- MATEJEK, S. et J.M.M. DUBOIS, 1988. *Détermination de l'âge des coupes forestières avec TM de Landsat-5 (Québec, Canada)*. Photo-interprétation images aériennes et spatiales, n^o 3, fascicule 2.
- MATEJEK, S., 1992. *Logiciel de traitements numériques des images : CROCUS*. Communication personnelle. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière.
- MATEJEK, S., 1993. *L'analyse discriminante : générer des images contrastées et orientées pour faciliter l'interprétation forestière*. Compte rendu du 16^e Symposium canadien sur la télédétection et 8^e Congrès de l'Association québécoise de télédétection, Sherbrooke, Québec : 729-734.
- OUELLET, L., D. CARRIER, M. ROMPRÉ, G. LAFLAMME et M. GAGNON, 1991. *Les sols dérivés de tills du comté de Beauce*. Agrosol 4(1) : 11-19.
- PCI INC., 1991. *EASI/PACE Training data set Version 5.2*.
- SEUTHÉ, CH., M. CARIGNAN et J.-P. LÉTOURNEAU, 1990. *Mise à jour des cartes forestières en forêt privée à partir des images Landsat-TM*. Ministère de l'Énergie et des Ressources. Projet-pilote réalisé en Beauce, U.G. 34. Rapport. 23 p.
- SHEFFIELD, CH., 1985. *Selecting band combinations from multispectral data*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 51(6) : 681-687.
- SOHA, J.M. et A.A. SCHWARTZ, 1978. *Multispectral histogram normalisation contrast enhancement*. Proceeding of 5th Canadian Symposium on Remote Sensing, Victoria, B.C. : 86-93.
- STAENZ, K., J.F. AHERN et R.J. BROWN, 1980. *Evaluation of Thematic Mapper bands : a first step in feature selection*. Proceedings of the 6th Canadian Symposium on Remote Sensing. Halifax, Nova Scotia : 625-633.
- THIBAUT, M., 1985. *Les régions écologiques du Québec méridional (deuxième approximation)*. Service de la recherche forestière et Service de la cartographie, Min. Éner. et Ress. Carte au 1 : 1 250 000.

Annexe A

Sélection des bandes spectrales optimales

Établissement des statistiques

Le programme *PCA* (*Principal component analysis*) de *PCI* permet entre autres de calculer la matrice, appelée « M », de variance-covariance, de dimension « n », où « n » est le nombre de bandes spectrales utilisées pour l'analyse.

Sélection des bandes optimales

Chacun des triplets des bandes spectrales pouvant être formés est défini par une sous-matrice 3 par 3 à l'intérieur de la matrice « M » de dimension « n ». Cette matrice « M » est utilisée pour mesurer l'information contenue dans chaque triplet de bandes et exprimée par le volume d'ellipsoïde de distribution des données. Plus ce volume est grand, plus l'image formée par le triplet correspondant est informative. Pour trouver le triplet des bandes spectrales optimales, il faut donc sélectionner l'ellipsoïde de volume maximal. Cette méthode décourage la sélection d'une paire de bandes ayant une corrélation élevée car, dans un tel cas, l'une des deux valeurs propres est proche de zéro et l'ellipsoïde correspondant a un faible volume (figures 8 et 9).

$$nCr = \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad [1]$$

où : nCr = nombre de triplets pouvant être formés

n = ensemble des bandes soumises au processus de sélection

r = nombre de bandes formant un triplet (3).

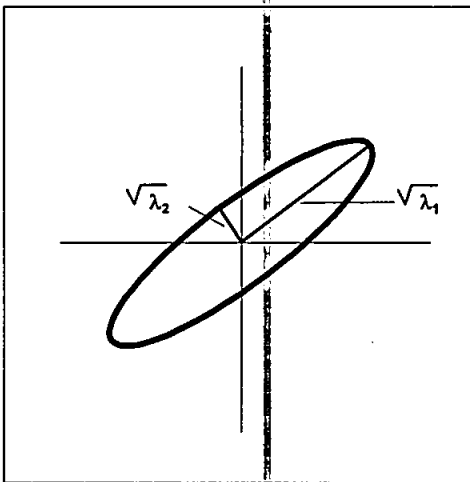


Figure 8. Corrélation élevée entre les bandes 1 et 2.

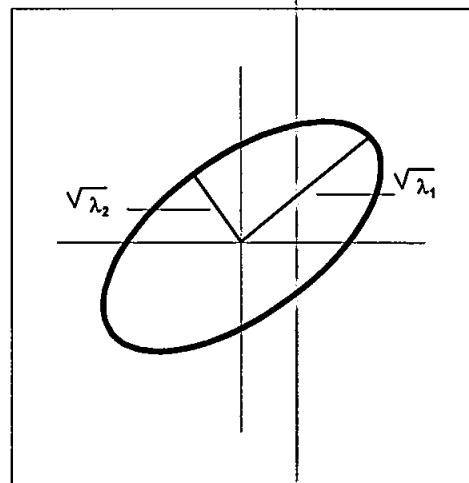


Figure 9. Corrélation faible entre les bandes 1 et 2.

Pour calculer le volume (V) de l'ellipsoïde de variance-covariance, on utilise la formule suivante :

$$V = \frac{4}{3} \pi * \sqrt{\lambda_1} * \sqrt{\lambda_2} * \sqrt{\lambda_3} \quad [2]$$

où : $\sqrt{\lambda_1}$, $\sqrt{\lambda_2}$ et $\sqrt{\lambda_3}$ sont les axes principaux de cette ellipsoïde (Figure 10).

Ainsi, le volume (V) de l'ellipsoïde associée à un triplet particulier est égal à une constante multipliée par la racine carrée du produit des valeurs propres calculées pour une sous-matrice 3 par 3. De plus, on peut montrer (SHEFFIELD 1985) que le produit des valeurs propres est égal au déterminant de la sous-matrice 3 par 3. Pour sélectionner le triplet des bandes spectrales qui donne l'ellipsoïde de volume maximal, il suffit donc de calculer et de ranger par ordre décroissant les déterminants de toutes les sous-matrices 3 par 3 de la matrice originale « M ». Les triplets associés aux déterminants seront rangés par ordre décroissant de l'information totale qu'ils contiennent. Le programme permettant la réalisation de ces opérations fait partie du logiciel *CROCUS* (MATEJEK 1992).

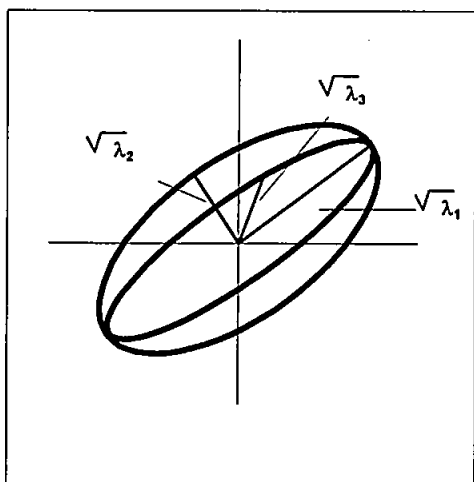


Figure 10. Ellipsoïde de variance-covariance;
axes principaux : $\sqrt{\lambda_1}$, $\sqrt{\lambda_2}$ et $\sqrt{\lambda_3}$.

Annexe B

Accentuation des images par décorrélation des bandes spectrales

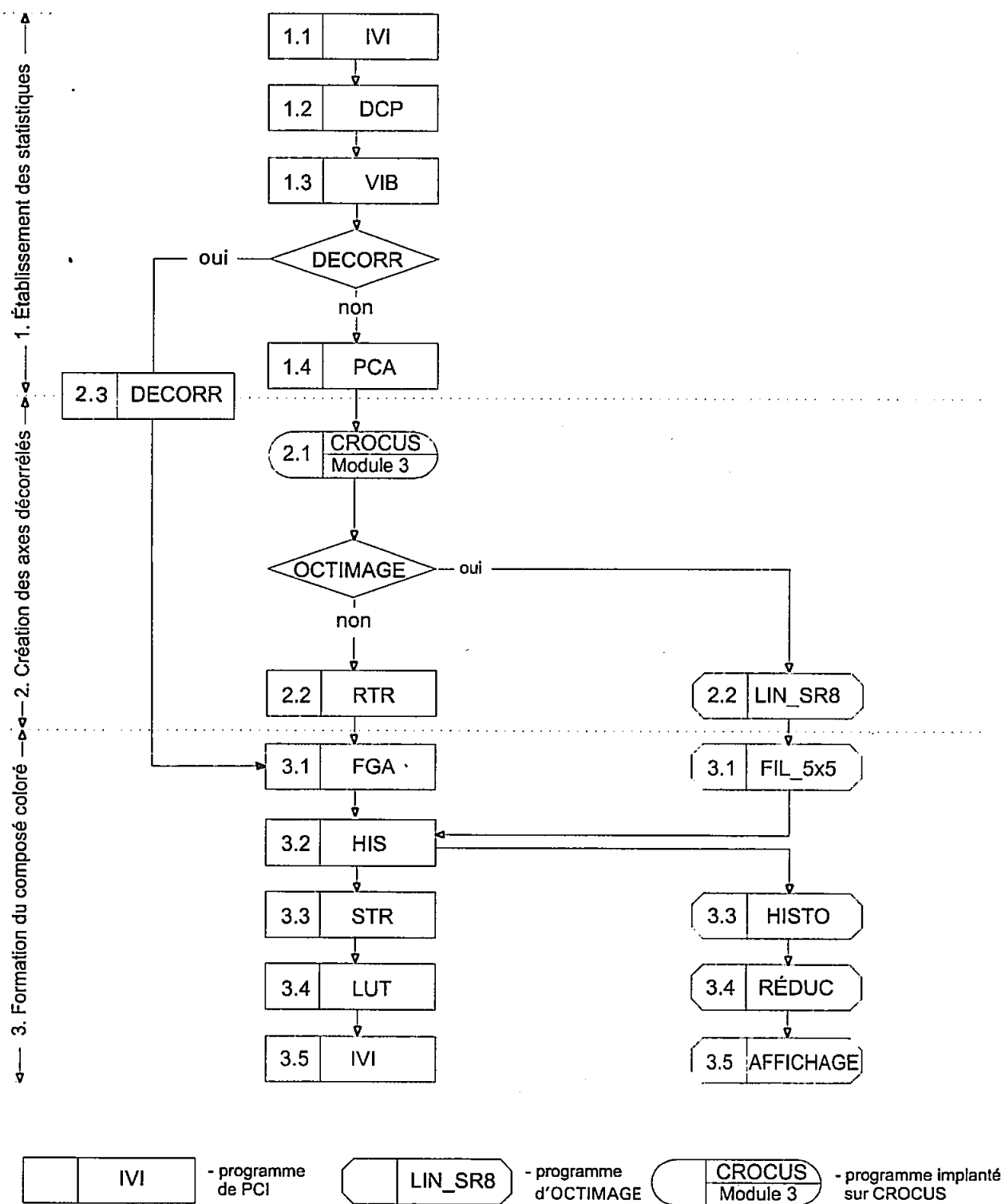


Figure 11. Organigramme d'accentuation par décorrélation.

On décrit ci-après la méthode d'accentuation permettant de transformer les données brutes de *TM* et de produire un composé coloré fortement contrasté, particulièrement en regard des milieux dénudés et semi-dénudés.

La méthode s'articule autour de trois grandes opérations, qui peuvent être réalisées soit avec:

- le logiciel *PCI* seulement (procédure *DECORR*),
- les logiciels : *PCI* et *CROCUS* (procédure *DECO*),
- les logiciels : *PCI*, *CROCUS* et *OCTIMAGE*.

Description des traitements

1. Établissement des statistiques

1.1	<i>IVI (PCI)</i>
Visualisation des données originales étalées (ex. : bandes 5, 4, 3 de <i>Landsat TM</i>) en RVB.	
1.2	<i>DCP (PCI)</i>
Définition du secteur d'échantillonnage (500 l x 500 p). Le plus représentatif possible de l'ensemble des éléments à discriminer, excluant l'eau et les nuages.	
1.3	<i>VIB (PCI)</i>
Sauvegarde du secteur d'échantillonnage (créé par <i>DCP</i>) sur le disque pour utilisation ultérieure.	

N.B. : Les traitements qui suivent (étapes 1.4 à 2.2) peuvent être réalisés d'un seul tenant par le programme *DECORR*. Si cette option est choisie, on passe à l'étape 2.3.

1.4	<i>PCA (PCI)</i>
Production d'un fichier de statistiques renfermant les moyennes, les écarts-types et la matrice des valeurs et vecteurs propres des trois bandes spectrales pour les pixels compris dans le secteur d'échantillonnage.	

2. Création des axes décorrelés

2.1	MODULE 3 DE <i>CROCUS</i>
Création du vecteur et de la matrice de décorrélation par des opérations vectorielles.	
2.2	<i>RTR (PCI)</i> ou <i>LIN_SR8 (OCTIMAGE)</i>
Calcul des axes décorrelés (trois nouveaux canaux) par les combinaisons linéaires des bandes. Les poids de bandes sont déterminés par la matrice de décorrélation.	
Traitement terminé - passer à l'étape 3.	
2.3	<i>DECORR (PCI)</i>

3. Formation du composé coloré

3.1 *FGA (PCI) ou FIL_5 x 5 (OCTIMAGE)*

Filtrage du bruit présent sur le troisième axe décorrélé, par un filtre adoucissant de dimension 3 x 3.

Cette étape peut être omise durant le traitement.

3.2 *HIS (PCI)*

Production des histogrammes des secteurs d'échantillonnage pour les trois axes décorrélés.

Détermination des limites (inférieures et supérieures) localisées à 4 et 96 % de l'histogramme.

3.3 *STR (PCI) ou HISTO et REDUC (OCTIMAGE)*

Production des fonctions d'étalement linéaire en tenant compte des limites inférieures et supérieures (étape 3.2).

3.4 *LUT (PCI) ou REDUC (OCTIMAGE)*

Rehaussement linéaire des trois axes décorrélés, création des trois canaux dans le cas du programme *LUT* ou d'un seul « super » canal dans le cas du programme *REDUC*.

3.5 *IVI (PCI) ou AFFICHAGE (OCTIMAGE)*

Visualisation des axes décorrélés dans l'ordre suivant :

axe décorrélé 1 - rouge (R)
axe décorrélé 2 - vert (V)
axe décorrélé 3 - bleu (B)

N.B. : dans le cas d'*OCTIMAGE*, il s'agit de l'affichage d'un seul canal (256 couleurs) créé par le programme *REDUC*.

Procédures

1. DECORR

C:\NOM (répertoire)
 PRM.PRM (fichier du démarrage du PCI)
 TM_1991.PIX (image à traiter)
 DECORR_Z.EAS (procédure de décorrélation)

C:\NOMEASI
 EASLOAD DECORR_Z
 EASILIST

```

1 PRINT"
2 PRINT"
3 PRINT"
4 PRINT"
5 PRINT"
6 PRINT"
7 PRINT"
8 ASK FILE
10 R DCP"iz1\iz2\iz3\id123
15 R DCP"gz1\gz2\gz3
20 R DCP"go1\go2\go3
25 PRINT" 1. Établissement des statistiques
30 PRINT"
35 PRINT"
40 PRINT"
45 DBIC=1,2,3
50 VDOC=3,2,1
55 ASK DBIW
60 ASK VDOW
65 PRINT".
70 R IVI.
75 PRINT"
80 PRINT"
85 PRINT"
90 PRINT" Echantillonnage :
95 PRINT".
100 PRINT" > Définir un secteur d'échantillonnage (500 l x 500 p)
105 PRINT" le plus représentatif possible de l'ensemble des
110 PRINT" éléments à discriminer, excluant l'eau et les nuages,
115 PRINT" en utilisant le plan graphique : 2.
120 PRINT".
125 PRINT" > échantillonnage terminé ; tapez X,
130 PRINT" ensuite Enter <-- pour continuer ;
135 PRINT".
140 R DCP
145 PRINT"
150 PRINT"
155 PRINT"

```

Accentuation par décorrélation
étapes : 1.1 à 3.5

DECORR_Z.EAS

étape : 1.1 IVI

étape : 1.2 DCP

étape : 1.3 VIB

```
160 VDIB=2
165 DBOB=
170 VDIW=VDOW
175 DBOW=DBIW
180 DBSN="échanti
185 DBSD="échantillonnage 500 l x 500 p
190 PRINT".
195 R VIB
250 PRINT" 2. Établissement des statistiques
252 PRINT"   et création des axes décorrés
255 PRINT"   -----
260 PRINT"   étape : 2.3 DECORR
265 PRINT"   -----
270 PRINT"
275 DBIC=1,2,3
280 DBOC=4,5,6
285 MASK=2
290 EIGENSUP=
295 REPORT="DECORR.LST
296 PRINT".
300 R DECORR
400 REPORT=
500 PRINT" 3. Formation du composé coloré
505 PRINT"   -----
510 PRINT"   étape : 3.1 FGA
515 PRINT"   -----
520 PRINT"
525 DBOC=7
530 VALU=255
535 PRINT".
540 R CLR
545 DBIC=4
550 DBOC=7
555 SIGMSQ=1
560 MASK=
565 PRINT".
600 R FGA
605 PRINT"   -----
610 PRINT"   étape : 3.2 HIS
615 PRINT"   -----
620 PRINT"
621 PRINT" > déterminer des limites (inférieures et supérieures)
622 PRINT"   d'étalement des trois axes décorrés
625 DBIC=7,5,6
630 GMOD="ON
635 CMOD="OFF
640 PCMO="OFF
645 NSAM=10000
650 TRIM=4,4
655 HISW=
660 MASK=2
665 REPORT="TERM
```

670 PRINT".
675 R HIS
700 PRINT"
705 PRINT" -----
 étape : 3.3 STR
710 PRINT" -----
715 DBIC=
720 DBLUT=
725 DBSN="DECORR3
730 DBSD="étalement de contraste (4%,4%)
735 EXPO=1
750 PRINT"
755 PRINT" > donner des limites : inférieure et supérieure
760 PRINT" d'étalement (DECORR3) établies à l'étape précédente
765 PRINT".
770 PRINT".
775 ASK ISTR
780 OSTR=
785 LCTR="MIN
790 HCTR="MAX
795 TRIM=
800 MASK=
805 PRINT".
810 R STR
815 DBSN="DECORR2
820 PRINT"
825 PRINT" > donner des limites : inférieure et supérieure
830 PRINT" d'étalement (DECORR2) établies à l'étape précédente
835 PRINT".
840 PRINT".
845 DBLUT=
850 ASK ISTR
855 PRINT".
860 R STR
865 DBSN="DECORR1
870 PRINT"
875 PRINT" > donner des limites : inférieure et supérieure
880 PRINT" d'étalement (DECORR1) établies à l'étape précédente
885 PRINT".
890 PRINT".
895 DBLUT=
900 ASK ISTR
905 PRINT".
910 R STR
1000 PRINT"
1005 PRINT" -----
 étape : 3.4 LUT
1010 PRINT" -----
1015 DBIC=7,5,6
1020 DBLUT=3,4,5
1025 DBOC=8,9,10
1030 MASK=
1035 PRINT".
1040 R LUT

```
1045 PRINT"          -----
1050 PRINT"          étape : 3.5 IVI
1055 PRINT"          -----
1060 PRINT"
1065 R DCP"iz1\iz2\iz3\iz1\iz2\iz3\id123
1070 DBIC=8,9,10
1075 VDOC=3,2,1
1076 ASK DBIW
1077 ASK VDOW
1080 PRINT".
1085 R IVI
1090 PRINT"          =====
1095 PRINT"  fin de  DECORR_Z.EAS
1100 PRINT"          =====
```

EASIRUN

Fin de procédure DECORR

2. DECO

C:\NOM (répertoire)

PRM.PRM (fichier du démarrage du PCI)

TM_1991.PIX (image à traiter)

DECO_A.EAS (procédure de décorrélation)

CROCUS.EXE (logiciel CROCUS)

CORUB.FON (fichier de police de caractère)

DECO.BAT (fichier exécutable)

C:\NOM\EASI

EASILOAD DECO_A

EASILIST

1 PRINT"

2 PRINT"

3 PRINT"

4 PRINT"

5 PRINT"

6 PRINT"

7 PRINT"

8 ASK FILE

10 R DCP"iz1\iz2\iz3\id123

15 R DCP"gz1\gz2\gz3

20 R DCP"go1\go2\go3

25 PRINT" 1. Établissement des statistiques

30 PRINT"

35 PRINT"

40 PRINT"

45 DBIC=1,2,3

50 VDOC=3,2,1

55 ASK DBIW

60 ASK VDOW

65 PRINT".

70 R IVI

75 PRINT"

80 PRINT"

85 PRINT"

90 PRINT" Echantillonnage :

95 PRINT".

100 PRINT" > Définir un secteur d'échantillonnage (500 l x 500 p)

105 PRINT" le plus représentatif possible de l'ensemble des

110 PRINT" éléments à discriminer, excluant l'eau et les nuages,

115 PRINT" en utilisant le plan graphique : 2

120 PRINT".

125 PRINT" > échantillonnage terminé ; tapez X,

130 PRINT" ensuite Enter <-- pour continuer ;

135 PRINT".

140 R DCP

Accentuation par décorrélation

étapes : 1.1 à 1.4

=====

DECO_A.EAS

=====

étape : 1.1 IVI

étape : 1.2 DCP

```

145 PRINT" -----
150 PRINT"      étape : 1.3 VIB
155 PRINT" -----
160 VDIB=2
165 DBOB=
170 VDIW=VDOW
175 DBOW=DBIW
180 DBSN="échanti
185 DBSD="échantillonnage 500 l x 500 p
190 PRINT".
195 R VIB
200 PRINT" -----
205 PRINT"      étape : 1.4 PCA
210 PRINT" -----
215 DBIC=1,2,3
220 EIGN=
225 DBOC=
230 MIDPOINT=
235 DEVRANGE=
240 MASK=2
245 ASK REPORT
250 R PCA
255 REPORT=
260 PRINT"      =====
265 PRINT"  fin de  DECO_A.EAS
270 PRINT"      =====
275 BYE

```

EASIRUN

Accentuation par décorrélation étape 2.1

C:\NOM\CROCUS.EXE

Bienvenue au logiciel CROCUS

Quel module voulez-vous utiliser ?

- Sélection des bandes (1)
- Analyse discriminante (2)
- Décorrélation des bandes (3)
- Combinaison des bandes (4)
- Calibration des bandes (5)
- Lissage des vecteurs (6)
- Of3 (7)
- Fichier PCI----- SAS (8)
- Exit (9)

Entrer le numéro correspondant : 3

Taper enter !

ACCENTUATION DES IMAGES PAR DÉCORRÉLATION

Entrer le nombre de bandes prises pour l'analyse = 3

Donner le nom de la bande 1 (max. 6 caractères) : TM3

Donner le nom de la bande 2 (max. 6 caractères) : TM4

Donner le nom de la bande 3 (max. 6 caractères) : TM5

Déterminer la moyenne de 1 axe DECO : 98

Déterminer la moyenne de 2 axe DECO : 98

Déterminer la moyenne de 3 axe DECO : 98

Quel est le nom du fichier des données ? : STATI.LST

MOY.TM3 : 27,9	MOY.FIX.DECO3 : 98,0	MOY.CAL.DECO3 : 63,9
MOY.TM4 : 112,0	MOY.FIX.DECO2 : 98,0	MOY.CAL.DECO2 : 96,8
MOY.TM5 : 84,1	MOY.FIX.DECO1 : 98,0	MOY.CAL.DECO1 : 38,4

MATRICE DE DÉCORRÉLATION

VECTEUR

	TM3	TM4	TM5	
DECO3 =	2,919	0,484	-0,853	34,051
DECO2 =	0,484	1,007	-0,351	1,221
DECO1 =	-0,853	-0,351	1,207	59,600

Quel est le nom du fichier des résultats ? : DECO_B.EAS

Voulez-vous utiliser un autre module ? (Tapez O/N) : N

Stop ! - Programme terminé

C:\NOMEASI
EASIOLOAD DECO_B
EASILIST

280 PRINT"

285 PRINT"

290 PRINT"

295 PRINT"

300 PRINT"

305 PRINT"

310 PRINT"

315 ASK FILE

320 PRINT"

Accentuation par décorrélation
étapes : 2.2 à 3.5

=====

DECO_B.EAS

=====

```
325 PRINT" 2.Création des axes décorréés
330 PRINT" -----
335 PRINT"      étape : 2.2 RTR
340 PRINT" -----
345 CNUM=1,2,3
350 WNUM= 2.919, .484, -.853
355 NCON= 34.051
360 CDEN=
365 WDEN=
370 DCON=
375 DBOC=4
380 SMOD="NONE
385 MASK=
390 ZERODIV=
395 PRINT".
400 R RTR
405 WNUM= .484, 1.007, -.351
410 NCON= 1.221
415 DBOC=5
420 R RTR
425 WNUM= -.853, -.351, 1.207
430 NCON= 59.600
435 DBOC=6
440 R RTR
445 PRINT"
450 PRINT" 3.Formation du composé coloré
455 PRINT" -----
460 PRINT"      étape : 3.1 FGA
465 PRINT" -----
470 DBOC=7
475 VALU=255
480 PRINT".
485 R CLR
490 DBIC=4
495 DBOC=7
500 SIGMSQ=1
505 MASK=
510 PRINT".
515 R FGA
520 PRINT" -----
525 PRINT"      étape : 3.3 STR
530 PRINT" -----
535 DBIC=7
540 DBLUT=
545 DBSN="DECO3
550 DBSD="étalement du contraste (4 %, 4 %)
555 EXPO=1
560 ISTR=
565 OSTR=
570 LCTR=
575 HCTR=
580 TRIM=4,4
```

```
585 MASK=2
590 PRINT".
595 R STR
600 DBIC=5
605 DBLUT=
610 DBSN="DECO2
615 PRINT".
620 R STR
625 DBIC=6
630 DBLUT=
635 DBSN="DECO1
640 PRINT".
645 R STR
650 PRINT"
655 PRINT"          étape : 3.4 LUT
660 PRINT"
665 DBIC=7,5,6
670 DBLUT=3,4,5
675 DBOC=8,9,10
680 MASK=
685 PRINT".
690 R LUT
695 PRINT"
700 PRINT"          étape : 3.5 IVI
705 PRINT"
710 R DCP"iz1\iz2\iz3\iz1\iz2\iz3\id123
715 DBIC=8,9,10
720 VDOC=3,2,1
725 ASK DBIW
730 ASK VDOW
735 PRINT".
740 R IVI
745 PRINT"
750 PRINT" fin de DECO_B.EAS
755 PRINT"
```

EASIRUN

Fin de procédure DECO

Fichier de sortie de la procédure DECO_A.EAS : STATI.LST

1

PCA Principal Component Analysis
21-APR-94

V5.1 EASI/PACE 11:20

C:\NOM\TM_1991.PIX

Input Channels : 1 2 3
Sampling Bitmap : 2
Sample size : 250000

Channel	Mean	Déviation
1	27,9164	8,9752
2	112,0187	19,5147
3	84,1215	19,3915

Covariance matrix for input channels :

	1	2	3
1	80,555		
2	-31,625	380,825	
3	112,494	145,804	376,029

Eigenchannel	Eigenvalue	Deviation	% Variance
1	531,8766	23,0625	63,51 %
2	281,5590	16,7797	33,62 %
3	23,9741	4,8963	2,86 %

Eigenvectors of covariance matrix (arranged by rows) :

- 0,13397880	- 0,67357570	- 0,72687570
- 0,42926100	0,70055000	- 0,57005660
- 0,89318780	- 0,23564380	0,38299770

Fichier exécutable DECO.BAT

```
del DECO_B.EAS
EASI load DECO_A
EASI run DECO_A
CROCUS.EXE
EASI load DECO_B
EASI run DECO_B
EASI
```

Annexe C

Création d'un masque des zones dénudées et semi-dénudées

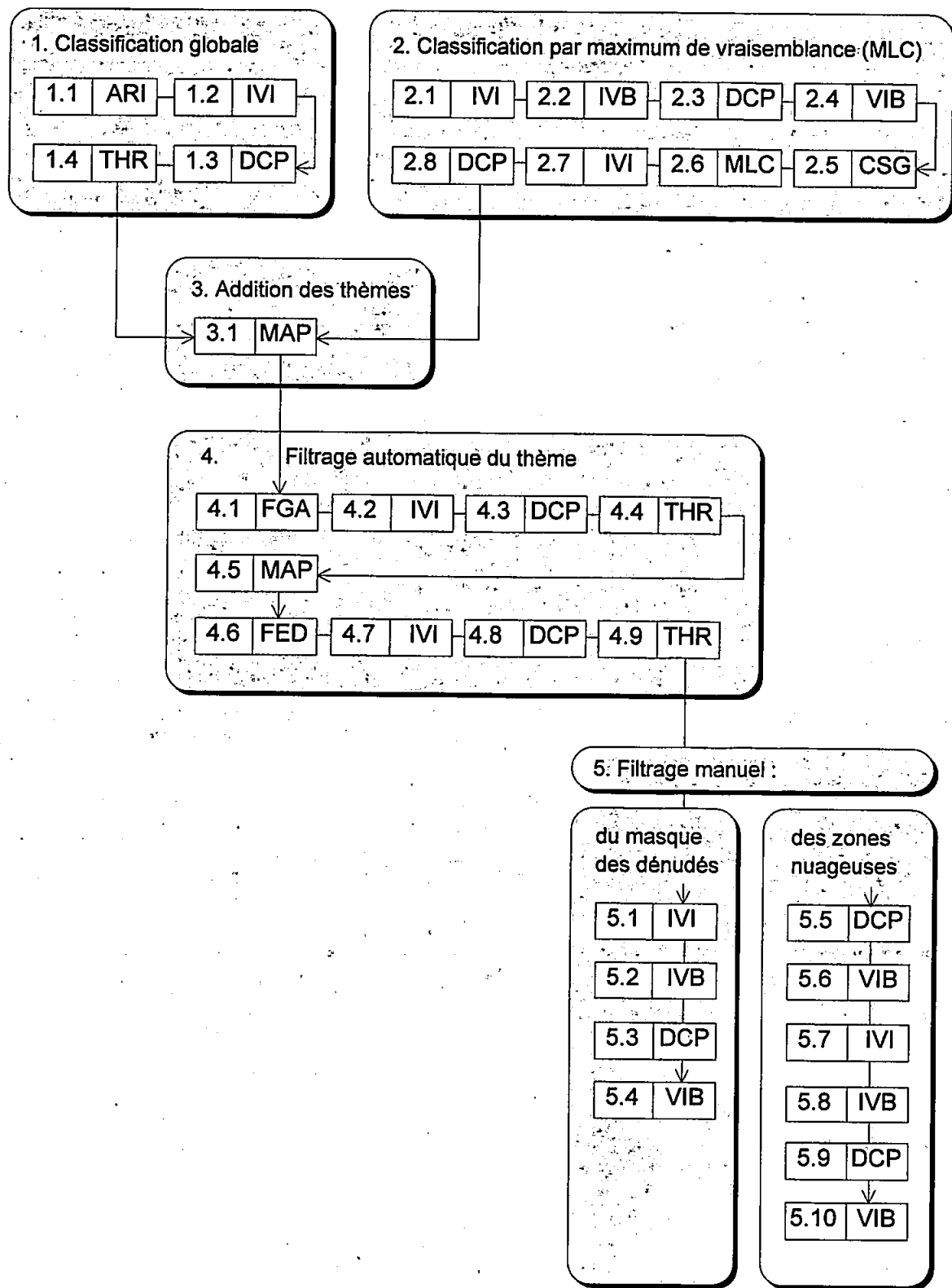


Figure 12. Organigramme de création du masque sur le système PCI.

Définition d'un masque des zones dénudées et semi-dénudées

Le masque des zones dénudées et semi-dénudées doit comprendre :

- champs agricoles ;
- friches (sauf friche arbustive) ;
- zones urbaines ;
- coupes totales et partielles ;
- tourbières.

Les zones non masquées sur l'image regroupent :

- forêt jeune ;
- forêt mûre saine ;
- forêt mûre ravagée (TBE, dépérissement).

On décrit ci-après deux méthodes permettant la fabrication du masque mentionné plus haut :

- création du masque à l'aide du système *PCI*
- création du masque à l'aide du système *OCTIMAGE*

*

Création d'un masque à l'aide du système *PCI*

Les traitements, selon la première méthode, sont réalisés en cinq grandes opérations et peuvent se résumer comme suit.

1. Classification globale

La classification globale permet de masquer 90 % des zones dénudées. Elle est faite à partir d'un nouveau canal issu du produit des bandes TM3 et TM5, en quatre étapes :

1.1	AR	
Création d'un nouveau canal par la multiplication des bandes TM3 et TM5.		
1.2	IVI	
Affichage en pleine résolution d'un secteur le plus représentatif d'une image créée à l'étape 1.1.		
1.3	DCP	
Visualisation de zones à masquer en utilisant la table de pseudo-couleurs et détermination des limites inférieure et supérieure du thème dénudé. Les cartes forestières sont utilisées pour contrôler l'étendue du masque (ajustement du thème).		
1.4	THR	
Création du thème des dénudés en utilisant les seuils établis à l'étape précédente. Classification par maximum de vraisemblance		

2. Classification par maximum de vraisemblance

La classification globale exclut certaines zones agricoles à masquer, qui ont la même réponse spectrale que la forêt feuillue. Pour compléter la classification des zones dénudées, on emploie donc cette fois-ci la classification par maximum de vraisemblance, dont les étapes sont les suivantes :

2.1	IVI
Visualisation des trois bandes décorréées (image 1985) étalées en RVB.	
2.2	IVB
Affichage du masque de dénudés (thème créé à l'étape 1.4). Localisation des zones non masquées ; sur l'image accentuée par décorrélation, ces zones ressortent dans des teintes bleues et turquoise.	
2.3	DCP
Échantillonnage (environ 1000 pixels) des zones non masquées.	
2.4	VIB
Sauvegarde du secteur d'échantillonnage (créé par <i>DCP</i>) sur le disque pour utilisation ultérieure : production d'une signature.	
2.5	CSG
Production d'une réponse spectrale des zones à masquer, à partir de bandes TM3, TM4 et TM5.	
2.6	MLC
Classification par maximum de vraisemblance et renvoi des résultats de la classification sur un canal préalablement « nettoyé » par le programme CLR.	
2.7	IVI
Affichage des résultats de la classification.	
2.8	DCP
Visualisation de l'image en utilisant la table de pseudo-couleurs.	

3. Addition des deux thèmes

3.1	MAP
Codage du thème « global » sur le canal portant les résultats de MLC.	

4. Filtrage automatique

Ce traitement produit un lissage automatique du thème. Pour ce faire, on procède comme suit :

4.1	FGA
Filtrage de l'image créée à l'étape 3.1 par le filtre <i>FGA</i> (fenêtre 3 x 3).	

4.2	IVI
Affichage des résultats du filtrage.	

4.3	DCP
Visualisation de l'image en utilisant la table de pseudo-couleurs et détermination des limites inférieure et supérieure du thème. Les cartes forestières sont utilisées pour contrôler l'étendue du masque (ajustement du thème).	

4.4	THR
Création du thème des dénudés en utilisant les seuils établis à l'étape précédente.	

4.5	MAP
Codage du thème ainsi créé sur le canal préalablement « nettoyé » par <i>CLR</i> (valeur de fond = 215, valeur du thème = 10).	

4.6	FED
Filtrage de l'image créée à l'étape 4.5 par le filtre <i>FED</i> (fenêtre 3 x 3).	

4.7	IVI
Affichage des résultats du filtrage.	

4.8	DCP
Visualisation de l'image en utilisant la table de pseudo-couleurs et détermination des limites inférieure et supérieure du thème. Les cartes forestières sont utilisées pour contrôler l'étendue du masque (ajustement du thème).	

4.9

THR

Création du thème des dénudés en utilisant les seuils établis à l'étape précédente.

5. Filtrage manuel du thème

Le filtrage manuel du thème a pour but de corriger les erreurs évidentes de la classification. Les cartes forestières sont utilisées pour le contrôle, qui se fait à deux niveaux :

- au niveau du masque des dénudés, comme tel ;
- au niveau des zones nuageuses (s'il y a lieu).

Les étapes qui permettent d'effectuer ce type de filtrage peuvent se résumer comme suit :

5.1

IVI

Visualisation en pleine résolution des trois bandes décorréées (image 1985) étalées en RVB.

5.2

IVB

Affichage du masque des dénudés (thème créé à l'étape 4.9).

5.3

DCP

Correction des erreurs de la classification (ajout, soustraction). Les cartes forestières et photographies aériennes servent au contrôle.

5.4

VIB

Sauvegarde du masque corrigé des dénudés.

5.5

DCP

Création d'un thème sous forme d'une surface et sous forme d'un contour des zones nuageuses (nuages + ombres).

Élimination du masque des dénudés sous les zones nuageuses : masque des dénudés (créé à l'étape 5.4) moins (-) masque des zones nuageuses.

5.6

VIB

Sauvegarde du masque corrigé des dénudées et du contour des zones nuageuses.

5.7

IVI

Visualisation en pleine résolution des trois bandes décorréées (cette fois-ci, image 1987) étalées en RVB.

5.8

IVB

Affichage du masque des dénudés et du contour des zones nuageuses (créé à l'étape 5.6).

5.9

DCP

Correction du masque des dénudés (ajouts) à l'intérieur du contour de nuages ; création du masque final des zones dénudées et semi-dénudées.

5.10

VIB

Sauvegarde du masque.

Le produit ainsi créé constitue le masque de base qui est reporté d'année en année sur les images à mettre à jour et auquel on additionne simplement les nouvelles coupes.

PROCÉDURE MSKPCI

C:\NOM (répertoire)

PRM.PRM (fichier du démarrage du PCI)

TM_BEAUCE.PIX (base des données)

MASKPCI_A.EAS (procédure de la création du masque)

MASKPCI_B.EAS (procédure de la création du masque)

C:\NOMEASI

EASILOAD MSKPCI_A

EASILIST

```

1 PRINT" -----
2 PRINT"      Création du masque avec PCI
3 PRINT"      étapes : 1.1 à 4.9
4 PRINT" -----
5 PRINT"      =====
6 PRINT"      MSKPCI_A.EAS
7 PRINT"      =====
8 PRINT"
9 ASK FILE
10 R DCP"iz1\iz2\iz3\id2
11 R DCP"gz1\gz2\gz3
12 R DCP"go1\go2\go3
13 PRINT"
14 PRINT" 1. Classification globale :
15 PRINT" -----
16 PRINT"      étape : 1.1 ARI
17 PRINT" -----
20 OPER="MUL
25 CNST=
30 MASK=
35 DBIC=1,3
40 DBOC=4
45 ZERODIV=
50 AUTO="ON
54 RVAL=
55 PRINT"
56 R ARI
60 PRINT" -----
65 PRINT"      étape : 1.2 IVI
70 PRINT" -----
75 DBIC=4
80 VDOC=2
85 ASK DBIW
90 ASK VDOW
91 PRINT"
92 R IVI

```

```
95 PRINT"  
100 PRINT"      étape : 1.3 DCP  
105 PRINT"  
106 PRINT".  
110 R DCP"ih2,1\pz2\pd2  
111 PRINT".  
112 PRINT" > visualiser des zones à masquer en utilisant  
113 PRINT" la table de pseudo-couleurs et déterminer  
114 PRINT" des limites inférieure et supérieure du thème ;  
116 PRINT".  
117 PRINT" > utiliser les cartes forestières  
118 PRINT" pour contrôler de l'étendu du masque ;  
119 PRINT".  
120 PRINT" > travail terminé, tapez X,  
121 PRINT" ensuite Enter <-- pour continuer ;  
122 PRINT".  
123 R DCP  
124 PRINT"  
125 PRINT"      étape : 1.4 THR  
126 PRINT"  
130 DBIC=4  
135 DBOB=  
136 PRINT" > donner les seuils établis à l'étape précédente :  
137 PRINT".  
140 ASK TVAL  
141 PRINT".  
145 COMP="OFF  
150 DBSN="global  
151 PRINT" > donner un nom au segment :  
152 PRINT".  
155 ASK DBSD  
156 PRINT".  
160 R THR  
161 PRINT".  
175 R DCP"id123  
180 PRINT" 2.Classification par maximum de vraisemblance :  
185 PRINT"  
190 PRINT"      étape : 2.1 IVI  
195 PRINT"  
200 DBIC=5,6,7  
205 VDOC=3,2,1  
206 PRINT".  
207 R IVI  
210 PRINT"  
215 PRINT"      étape : 2.2 IVB  
220 PRINT"  
225 DBIB=2  
230 VDOB=2  
231 PRINT".  
235 R IVB
```

```

240 PRINT" -----
245 PRINT"      étape : 2.3 DCP
250 PRINT" -----
252 PRINT" > Echantillonnage :
253 PRINT".
254 PRINT" > échantillonner (environ 1000 pixels)
255 PRINT"      des zones non masquées, on utilisant
256 PRINT"      le plan graphique : 3 ;
257 PRINT".
258 PRINT" > travail terminé ; tapez X,
259 PRINT"      ensuite Enter <-- pour continuer ;
260 PRINT".
261 R DCP"le\go2\gz3\go3
262 PRINT".
263 R DCP
265 PRINT" -----
270 PRINT"      étape : 2.4 VIB
275 PRINT" -----
280 VDIB=3
285 DBOB=
286 VDIW=VDOW
287 DBOW=DBIW
290 DBSN="10
300 DBSD=" échantillonnage des dénudées non masquées
302 PRINT".
310 R VIB
315 PRINT" -----
320 PRINT"      étape : 2.5 CSG
325 PRINT" -----
330 DBIC=1,2,3
335 MASK=3
340 VALU=10
345 THRS=2
350 BIAS=
355 REPORT="MSKPCI.LST
358 PRINT".
360 R CSG
362 REPORT=
365 PRINT" -----
370 PRINT"      étape : 2.6 MLC
375 PRINT" -----
380 DBOC=11
385 VALU=0
386 DBOW=
387 PRINT".
390 R CLR
395 MAXL="FULL
400 DBS1=4
405 PROBCHAN=
410 MASK=
415 NULLCLAS=
418 PRINT".

```

```
420 R MLC
425 R DCP"lz2\ld2
430 PRINT"
435 PRINT"      étape : 2.7 IVI
440 PRINT"
445 DBIC=11
450 VDOC=2
452 PRINT".
455 R IVI
460 PRINT"
465 PRINT"      étape : 2.8 DCP
470 PRINT"
475 R DCP"pz2\pd2
480 PRINT"  Visualisation des résultats de la classification MLC(10) :
481 PRINT".
482 PRINT" > Taper : pm10,10,255,0,0
483 PRINT"  les zones classifiées apparaissent en rouge
484 PRINT".
485 PRINT" > travail terminé, tapez X,
486 PRINT"  ensuite Enter <-- pour continuer ;
487 PRINT".
490 R DCP
495 PRINT"  3. Addition des thèmes :
500 PRINT"
505 PRINT"      étape : 3.1 MAP
510 PRINT"
515 DBIB=2
520 VALU=10
525 DBOC=11
526 PRINT".
530 R MAP
531 PRINT"  4. Filtrage automatique du thème :
535 PRINT"
540 PRINT"      étape : 4.1 FGA
545 PRINT"
550 DBOC=12
555 VALU=255
556 PRINT".
557 DBOW=
560 R CLR
565 DBIC=11
570 DBOC=11
575 SIGMSQ=1
580 MASK=
585 R FGA
590 DBIC=11
595 DBOC=11
596 PRINT".
600 R FGA
605 PRINT"
610 PRINT"      étape : 4.2 IVI
615 PRINT"
```

```
620 DBIC=11
625 VDOC=2
626 PRINT"
630 R IVI
635 PRINT"
640 PRINT"      -----
        étape : 4.3 DCP
645 PRINT"      -----
```

```
650 PRINT" > visualiser l'image en utilisant la table
651 PRINT"   de pseudo-couleurs et déterminer des limites
652 PRINT"   inférieure et supérieure du thème ;
653 PRINT".
654 PRINT" > utiliser les cartes forestières pour contrôler
655 PRINT"   l'étendue du masque (ajustement du thème).
656 PRINT".
657 PRINT" > travail terminé, tapez X,
658 PRINT"   ensuite Enter <-- pour continuer ;
659 PRINT".
```

```
660 R DCP"pz2\pd2
661 R DCP
665 PRINT"      -----
670 PRINT"      étape : 4.4 THR
675 PRINT"      -----
```

```
680 DBIC=11
685 DBOB=
686 PRINT" > donner les seuils établis à l'étape précédente :
687 PRINT".
688 ASK TVAL
689 PRINT".
691 PRINT" > donner un nom au segment :
692 PRINT".
```

```
695 ASK DBSD
696 PRINT".
697 R THR
700 PRINT      -----
705 PRINT"      étape : 4.5 MAP
710 PRINT"      -----
```

```
715 DBIB=5
720 VALU=10
725 DBOC=12
726 PRINT".
727 R MAP
730 PRINT"      -----
735 PRINT"      étape : 4.6 FED
740 PRINT"      -----
```

```
745 DBIC=12
750 DBOC=12
755 FLSZ=3,3
760 MASK=5
765 FACTOR=
766 PRINT".
770 R FED
```



```
775 PRINT"  
780 PRINT"      étape : 4.7 IVI  
785 PRINT"  
790 DBIC=12  
800 VDOC=2  
801 PRINT".  
805 R IVI  
810 PRINT"  
815 PRINT"      étape : 4.8 DCP  
820 PRINT"  
825 PRINT" > déterminer des limites du thème ;  
830 R DCP"gz1\gz2\pz2\pd2  
831 PRINT".  
832 PRINT" > travail terminé, tapez X,  
833 PRINT"  ensuite Enter <-- pour continuer ;  
834 PRINT".  
835 R DCP  
840 PRINT"  
845 PRINT"      étape : 4.9 THR  
850 PRINT"  
855 DBIC=12  
860 DBOB=  
865 PRINT" > donner les seuils établis à l'étape précédente  
866 PRINT"  pour le thème-surface (0,123) :  
867 PRINT".  
870 ASK TVAL  
871 PRINT".  
872 PRINT" > donner un nom au segment :  
875 ASK DBSD  
876 PRINT".  
880 R THR  
885 DBIC=12  
890 DBOB=  
895 PRINT" > donner les seuils établis à l'étape précédente  
896 PRINT"  pour le thème-contour (61,123) :  
897 PRINT".  
898 ASK TVAL  
899 PRINT".  
900 PRINT" > donner un nom au segment  
901 ASK DBSD  
902 PRINT".  
903 R THR  
904 FILI=FILE  
905 FILO=FILE  
906 DBIB=6  
907 DBOB=  
908 DBIW=  
909 DBOW=  
910 R IIB  
911 VDIB=1,2  
912 DBOB=  
913 DBSN="nuage
```

```

914 DBSD="
915 VDIW=
916 DBOW=
917 PRINT".
918 R VIB
923 PRINT"
924 PRINT"   fin de   MSKPCI_A.EAS
925 PRINT"

```

EASIRUN

Remarques !

Seul un masque affiché en plein résolution sur le visuel couleur peut être filtré manuellement avec beaucoup de précision.

Une simple application de la procédure MSKPCI_B.EAS présentée ci-dessus permet de filtrer un masque de petites dimensions.

Cependant, un masque de grandes dimensions ne peut être filtré que par l'utilisation répétée de cette procédure.

```

C:\NOMEASI
EASILOAD MSKPCI_B
EASILIST

```

```

930 PRINT" -----
931 PRINT"      Création du masque avec PCI
932 PRINT"      étapes : 5.1 à 5.11
933 PRINT" -----
934 PRINT"      =====
935 PRINT"      MSKPCI_B.EAS
936 PRINT"      =====
937 PRINT"
940 PRINT" 5. Filtrage manuel du masque
945 ASK FILE
950 PRINT" -----
955 PRINT"      étape : 5.1 IVI
960 PRINT" -----
965 PRINT".
970 R DCP"iz1\iz2\iz3\id123\gz1\gz2\gz3\gz4\gz5\gz7
975 DBIC=5,6,7
980 VDOC=3,2,1
985 ASK DBIW
990 ASK VDOW
995 PRINT".
1000 R IVI
1005 R DCP"le\go7\go2\go1\go4

```

```
1010 PRINT"
1015 PRINT"      étape : 5.2 IVB
1020 PRINT"
1025 DBIB=7,8,9,10
1030 VDOB=7,2,1,4
1035 PRINT".
1040 R IVB
1045 PRINT"
1050 PRINT"      étape : 5.3 DCP
1055 PRINT"
1060 PRINT" > Corriger les erreurs de la classification
1065 PRINT"   en utilisant le plan graphique 2
1070 PRINT"
1075 PRINT" > utiliser les cartes forestières pour le contrôle
1080 PRINT"
1085 PRINT" > travail terminé, tapez X
1090 PRINT"   ensuite Enter <--- pour continuer ;
1095 PRINT"
1100 PRINT".
1105 R DCP
1110 PRINT"
1115 PRINT"      étape : 5.4 VIB
1120 PRINT"
1125 VDIB=2
1130 DBOB=8
1135 VDIW=VDOW
1140 DBOW=DBIW
1145 DBSN="m
1150 DBSD="masque corrigé
1155 PRINT".
1160 R VIB
1165 PRINT"   5. Filtrage manuel des zones nuageuses (ombres + nuages)
1170 PRINT"
1175 PRINT"      étape : 5.5 DCP
1180 PRINT"
1185 R DCP"go1\go2\go3\go4
1190 PRINT" > créer un thème des zones nuageuses :
1195 PRINT"   sous forme d'un contour
1205 PRINT"   en utilisant le plan graphique 3
1210 PRINT".
1215 PRINT" > travail terminé, tapez X
1220 PRINT"   ensuite Enter <-- pour continuer ;
1225 PRINT".
1230 R DCP
1235 R DCP"g+4,3\gb4
1240 PRINT" > créer un thème des zones nuageuses
1245 PRINT"   sous forme d'une surface
1250 PRINT"   en remplissant les polygones créés
1255 PRINT"   précédemment
1260 PRINT".
1265 PRINT" > travail terminé, tapez X
1270 PRINT"   ensuite Enter <-- pour continuer ;
```

```

1275 PRINT".
1280 R DCP
1285 R DCP"g+5,1,3
1290 R DCP"g/4,4,5
1295 R DCP"g/2,3
1300 R DCP"g+3,1,3
1334 PRINT"
1335 PRINT"          étape : 5.6 VIB
1336 PRINT"
1337 VDIB=2
1340 DBOB=8
1345 DBSN="m g
1350 DBSD="m global
1355 R VIB
1435 VDIB=3
1440 DBOB=9
1441 VDIW=VDOW
1442 DBOW=DBIW
1445 DBSN="nuage
1450 DBSD="nuage (surface)
1451 PRINT".
1455 R VIB
1460 VDIB=4
1465 DBOB=10
1470 DBSD="nuage (contour)
1471 PRINT".
1475 R VIB
1525 PRINT"
1530 PRINT"          étape : 5.7 IVI
1535 PRINT"
1540 DBIC=8,9,10
1545 VDOC=3,2,1
1546 PRINT".
1550 R IVI
1555 PRINT"
1560 PRINT"          étape : 5.8 IVB
1565 PRINT"
1570 DBIB=8,10
1575 VDOB=3,4
1576 PRINT".
1577 R IVB
1580 PRINT"
1585 PRINT"          étape : 5.9 DCP
1590 PRINT"
1595 R DCP"gz2\g4
1596 PRINT" > corriger le masque à l'intérieur du contour
1597 PRINT" des nuages en utilisant le plan graphique 3
1598 PRINT" (création du masque final).
1599 PRINT".
1600 PRINT" > travail terminé, tapez X
1601 PRINT" ensuite Enter <-- pour continuer ;
1602 PRINT".

```

1603 R DCP
1604 PRINT"
1605 PRINT" -----
 étape : 5.10 VIB
1610 PRINT" -----
1615 VDIB=3
1620 DBOB=8
1625 DBSN="m/final
1630 DBSD="masque final
1631 PRINT".
1635 R VIB
1640 R DCP"gz1\gz2\gz3\gz4\gz7\go1\go2\go3\go7
1645 DBIB=8,9,10,7
1650 VDOB=1,2,3,7
1651 ASK DBIW
1652 ASK VDOW
1653 PRINT".
1655 R IVB
1670 PRINT"
1671 PRINT" fin de =====
 MSKPCI_B.EAS
1672 PRINT" =====

EASIRUN

Fin de procédure MSKPCI

Création d'un masque à l'aide du système OCTIMAGE

Selon cette méthode, les traitements sont réalisés en deux grandes opérations et peuvent se résumer comme suit.

1. Création du masque

1.1	AFFICHAGE
Visualisation de l'image de référence accentuée par la décorrélation (dans notre cas, image <i>TM</i> 1985) et localisation sur l'image des zones nuageuses (nuages + ombres). Si l'image est libre de nuages, on passe directement à l'étape 1.4.2. N.B. : il s'agit ici de l'affichage du seul canal issu de l'encodage de trois axes décorrélés en trichromie Rouge-Vert-Bleu (RVB) à l'aide du programme <i>REDUC</i> .	
1.2	TRAÇAGE
Création d'un thème sous forme d'un contour (fichier <i>NUAGE.VRX</i>) des zones nuageuses (nuages + ombres).	
1.3	<i>SR8VSR8</i>
Élimination des zones nuageuses identifiées sur l'image 1985 par un transfert d'une partie de l'image 1987 accentuée par décorrélation sur l'image de 1987 accentuée par décorrélation sur l'image de 1985 au moyen du fichier <i>NUAGE.VRX</i> créé à l'étape précédente. Création d'une nouvelle image mosaïque des images 1985 et 1987. Remarque : la fabrication d'une copie de l'image de référence (1985) précède la réalisation de cette opération.	
1.4	AFFICHAGE
1.4.1 Visualisation de la mosaïque 1.4.2 Identification sur image des zones (pixels) à masquer par un choix judicieux de couleurs sur la palette associée à l'image.	
1.5	<i>MSK_SR8</i>
Création d'un masque en format matriciel par attribution, à toutes les zones (pixels) identifiées à l'étape précédente, d'une même valeur (par exemple : 200) choisie parmi les valeurs non utilisées.	
1.6	<i>RV</i>
Transfert du masque de format matriciel vers un format vectoriel par la création de polygones (fichier <i>VECTEUR.VRX</i>) délimitant les groupes de pixels répondant à un même critère (une valeur unique, par exemple 200) et attribution du numéro de thème : 0 aux polygones externes et numéro de thème 1 aux polygones internes (« trous »). Application d'un filtre de surface et élimination des polygones trop petits, qu'ils soient des polygones indépendants ou des « trous » dans les polygones plus grands.	

1.7

INI_SR8

Création d'une image de fond, c'est-à-dire d'un canal d'une valeur uniforme, par exemple 200, et de même dimension que l'image accentuée par décorrélation.

1.8

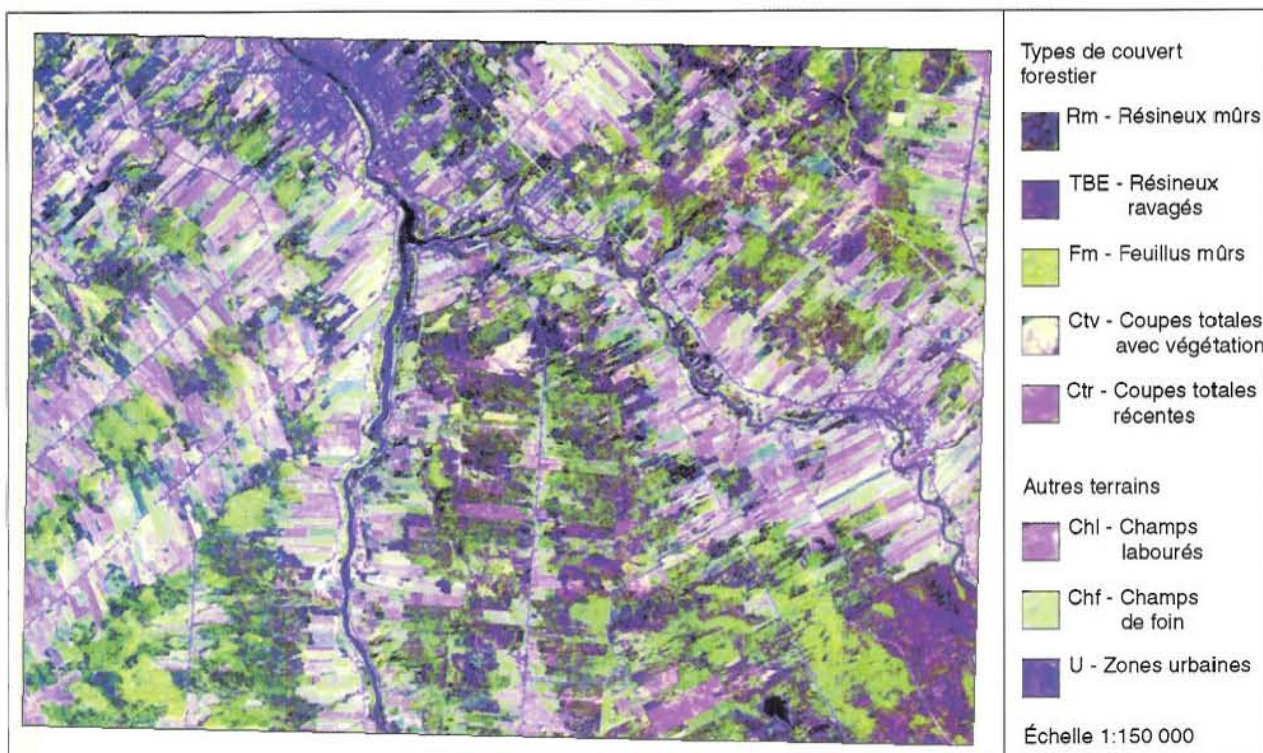
SR8VSR8

Fabrication du masque par découpage de l'image de fond au moyen d'un fichier VECTEUR.VRX créé à l'étape 1.6. Superposition du masque ainsi créé sur l'image utilisée pour la mise à jour.

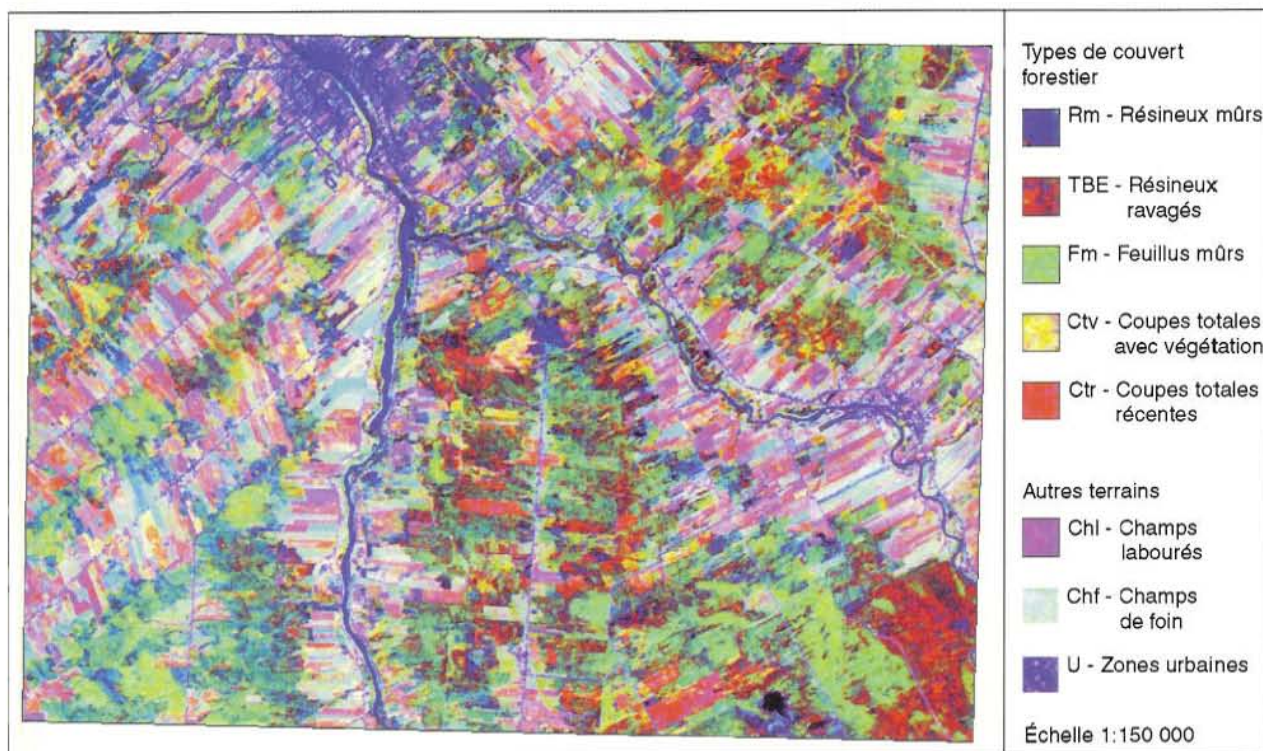
Remarque : la fabrication d'une copie de l'image utilisée pour la mise à jour précède la réalisation de cette opération.

2. Correction du masque

La correction manuelle du masque (effectuée au besoin) permet d'éliminer les erreurs qui peuvent survenir lors de la fabrication de celui-ci. Les cartes forestières servent au contrôle.

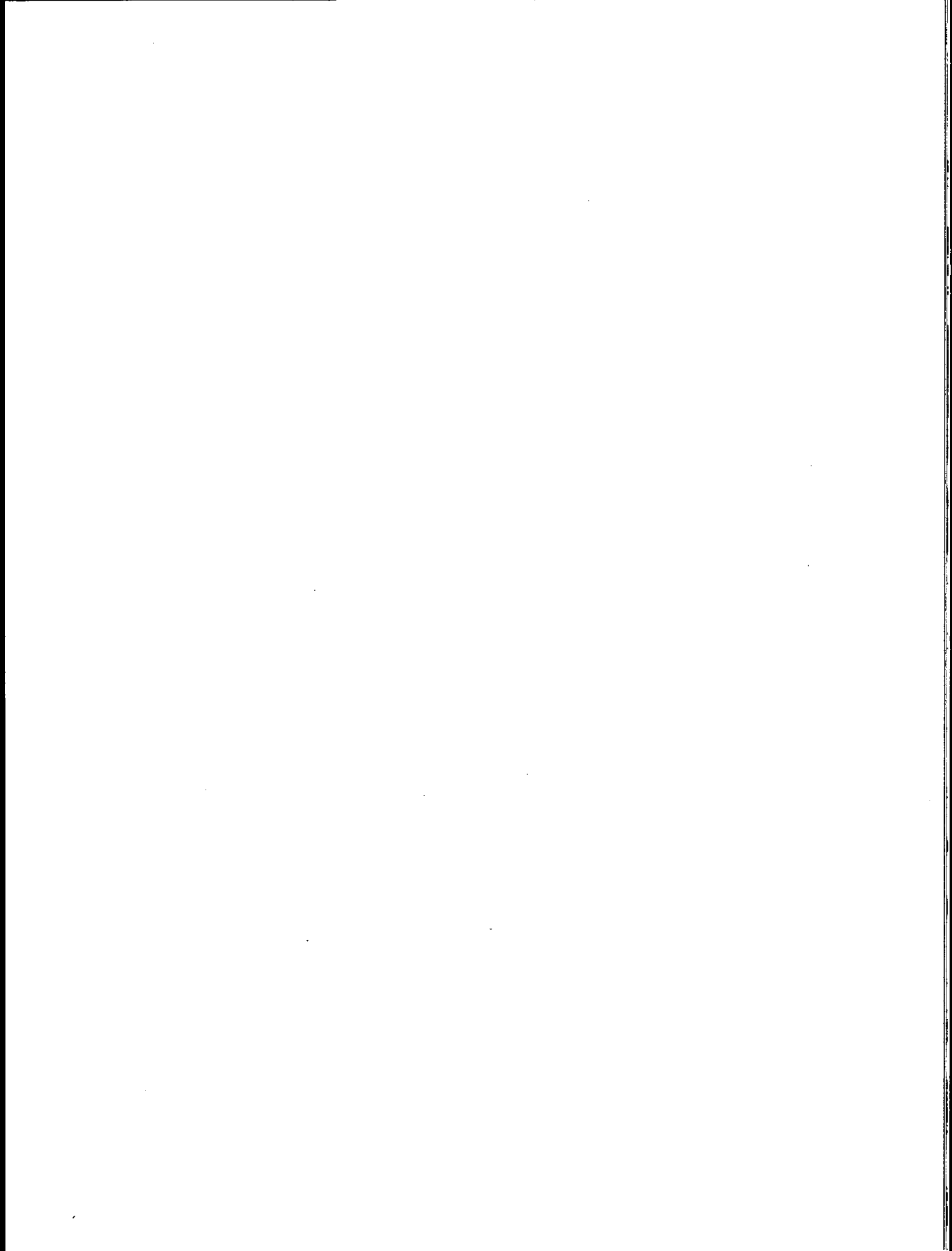


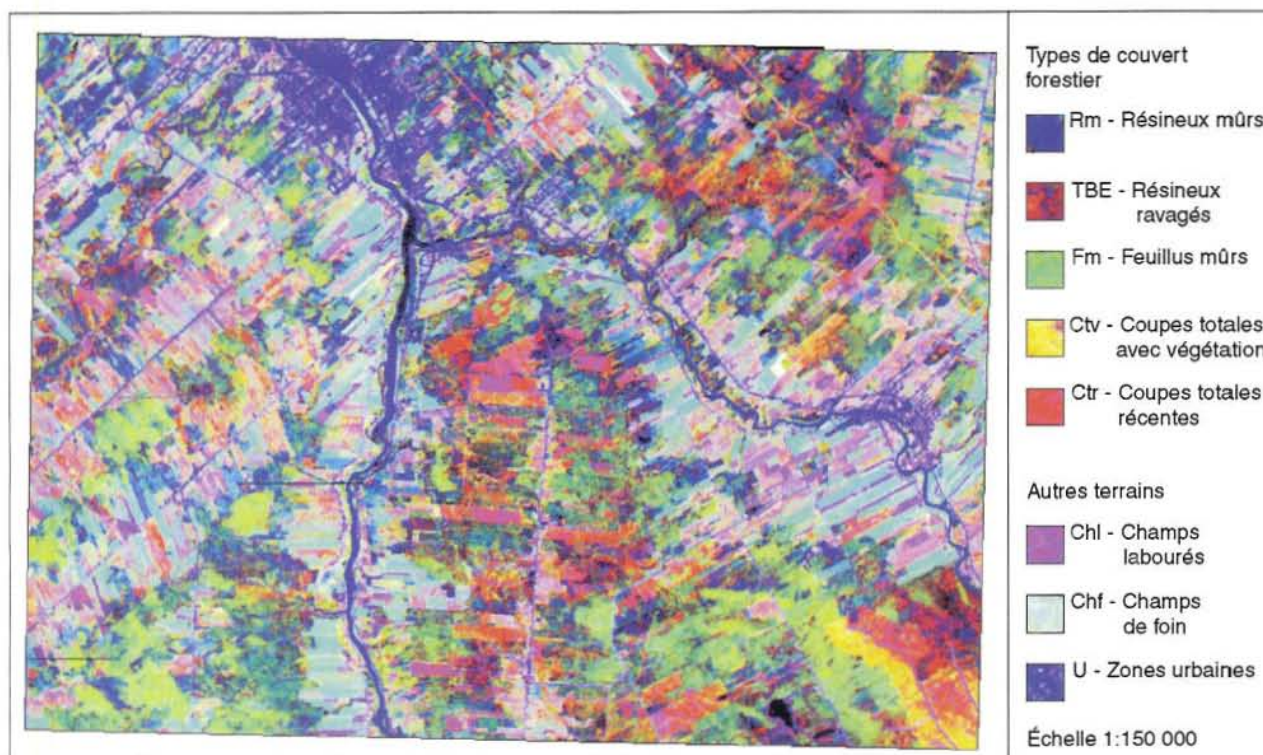
(a)



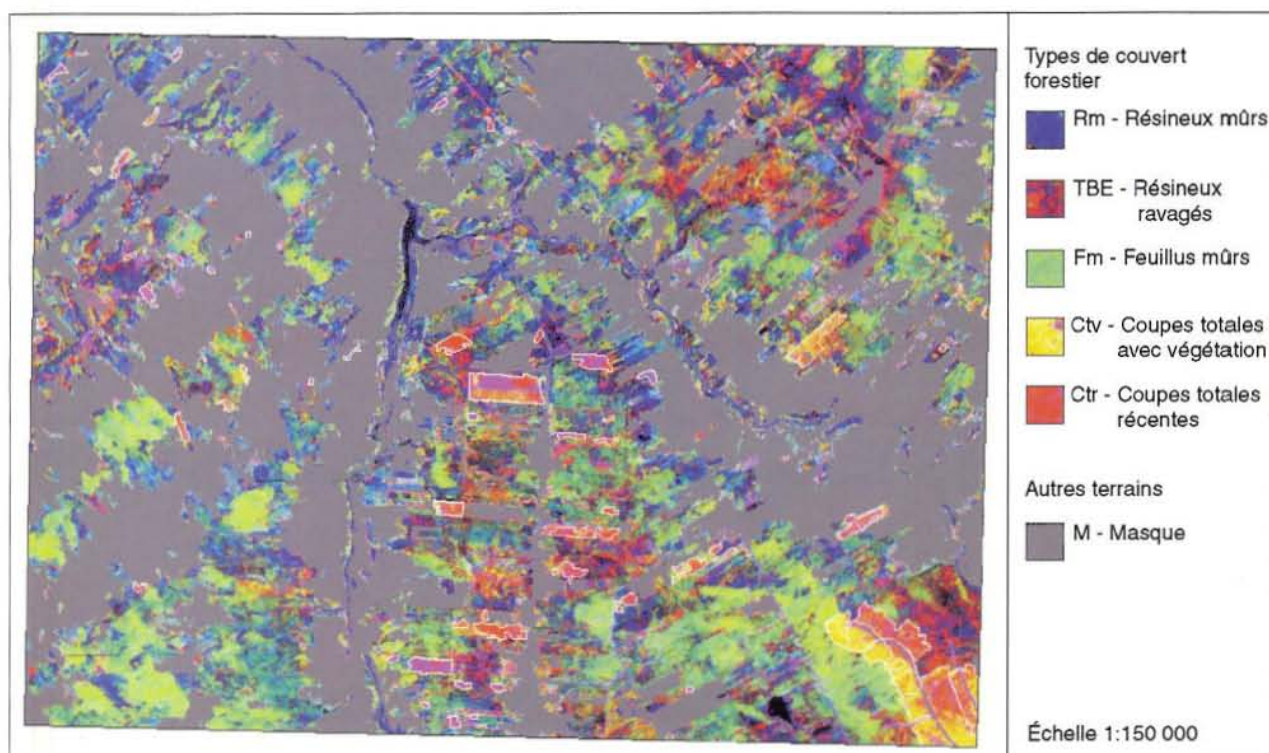
(b)

Figure 13. Composés colorés (RVB) de: a) bandes spectrales TM5, TM4 et TM3, b) canaux décorrélés DECO1, DECO2 et DECO3. Image TM 1985.



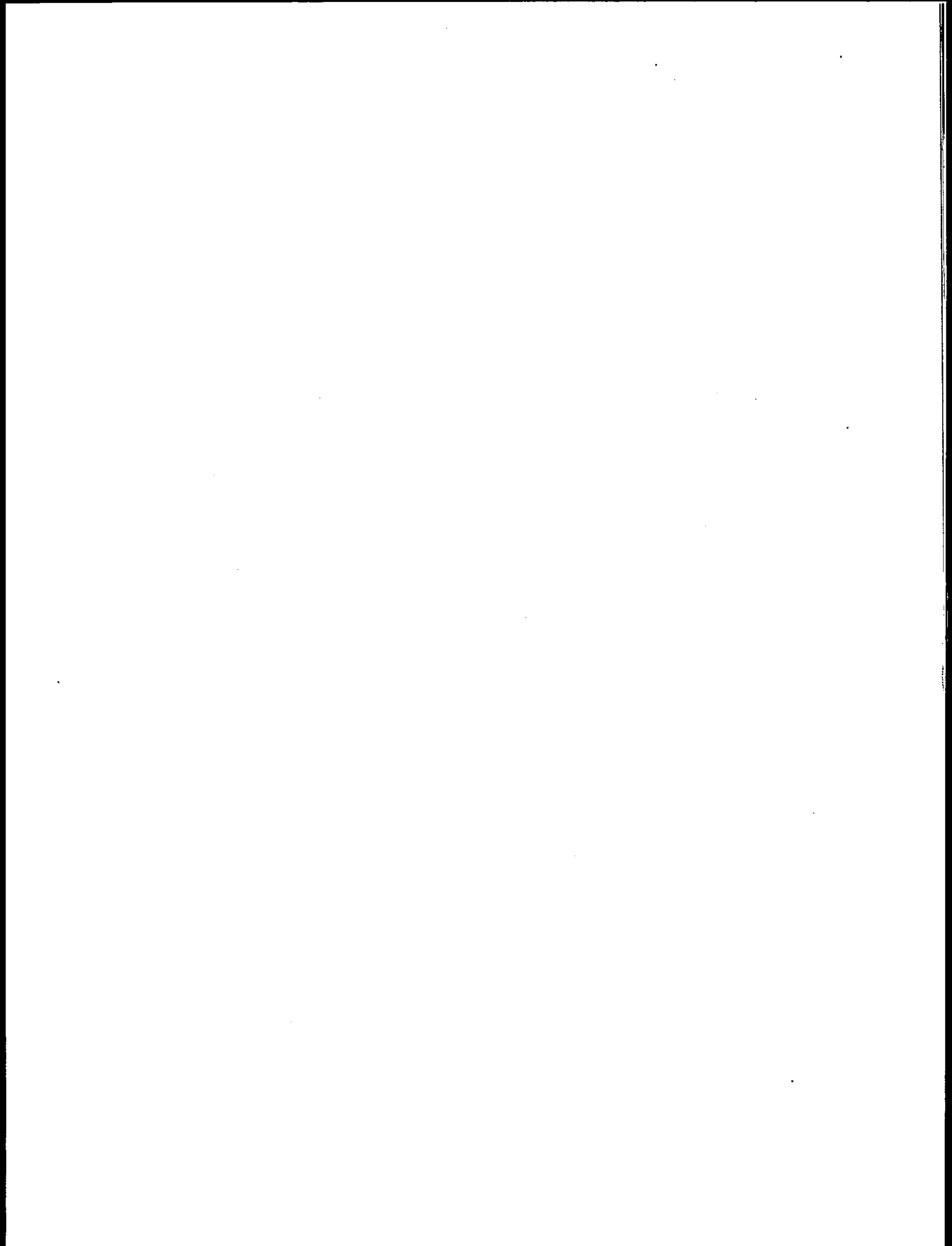


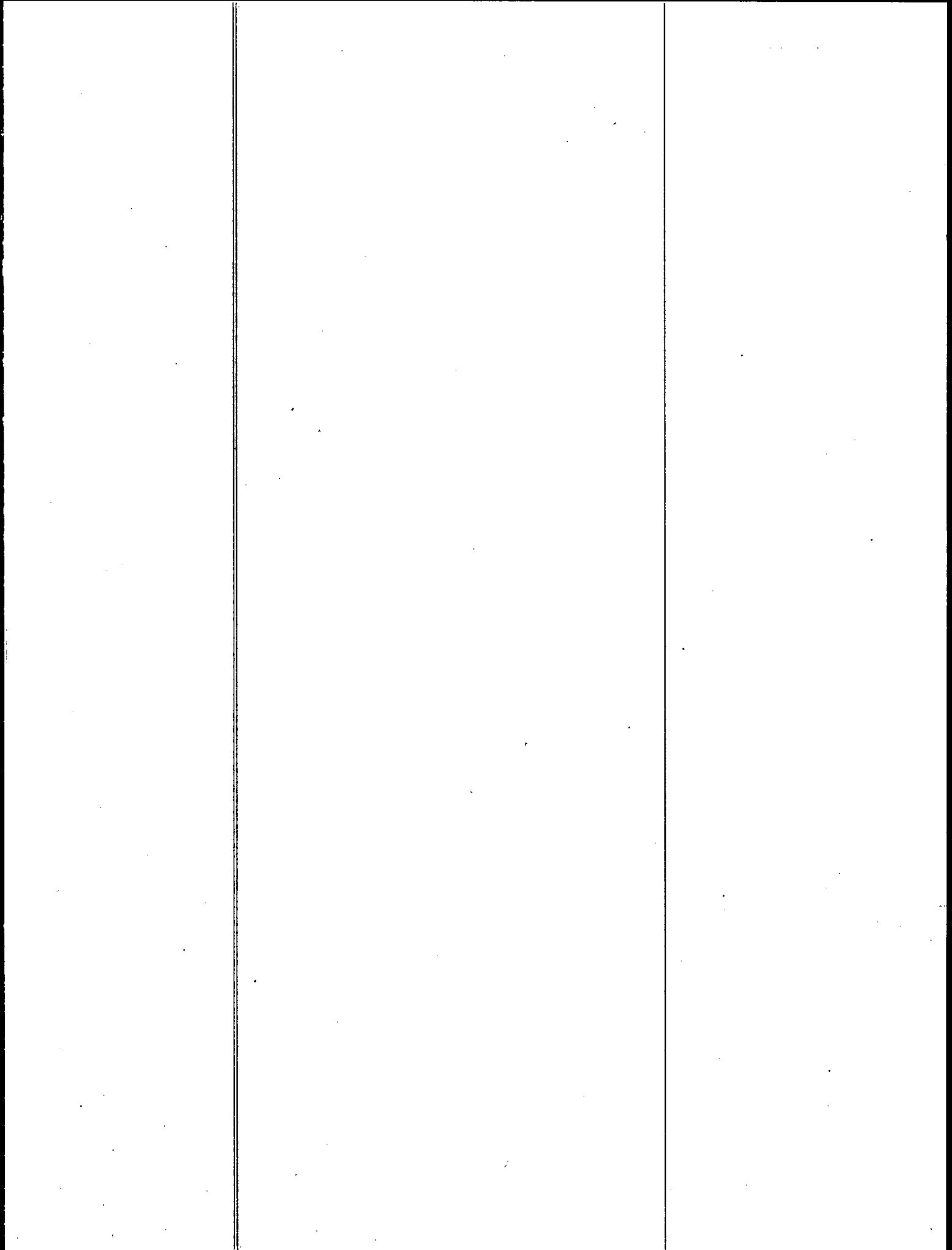
(a)



(b)

Figure 14. Composés colorés (RVB) de canaux décorrélés DECORR1, DECORR2 et DECORR3: a) sans masque, b) avec masque (image TM 1985) et les contours des coupes totales 1985 - 1991 mises à jour. Image TM 1991.





Le secteur Forêts du ministère des Ressources naturelles, responsable de l'administration et de la gestion des forêts publiques dans l'intérêt général du Québec, intervient aussi dans le domaine de la forêt privée en répondant aux demandes et aux besoins exprimés par les 120 000 producteurs de bois. Pour bien remplir cette mission, il doit se préoccuper de connaître les ressources forestières dont il dispose. Il réalise donc, tous les dix ans environ, un inventaire forestier, et le met ensuite à jour chaque année; cet inventaire est un processus intégré d'acquisition d'informations, c'est-à-dire de prise de photos aériennes et de suivi des interventions forestières en région. Les données d'inventaire constituent des connaissances de base pour l'exploitation et l'aménagement des forêts dans l'optique du développement durable et de l'utilisation polyvalente du milieu. La Direction de la recherche forestière contribue à une meilleure connaissance des ressources forestières en réalisant des études sur l'utilisation potentielle de la télédétection par satellite dans le but de mettre au point des outils complémentaires d'acquisition d'informations sur la forêt.

