

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ À

L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES

PAR

RÉAL JODRY

LA TÉLÉDÉTECTION MULTIBANDE AÉROPORTÉE

MEIS II ET DAEDALUS MSS APPLIQUÉE À LA CARTOGRAPHIE

FORESTIÈRE DE LA STATION SIMONCOUCHE

JANVIER 1996



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

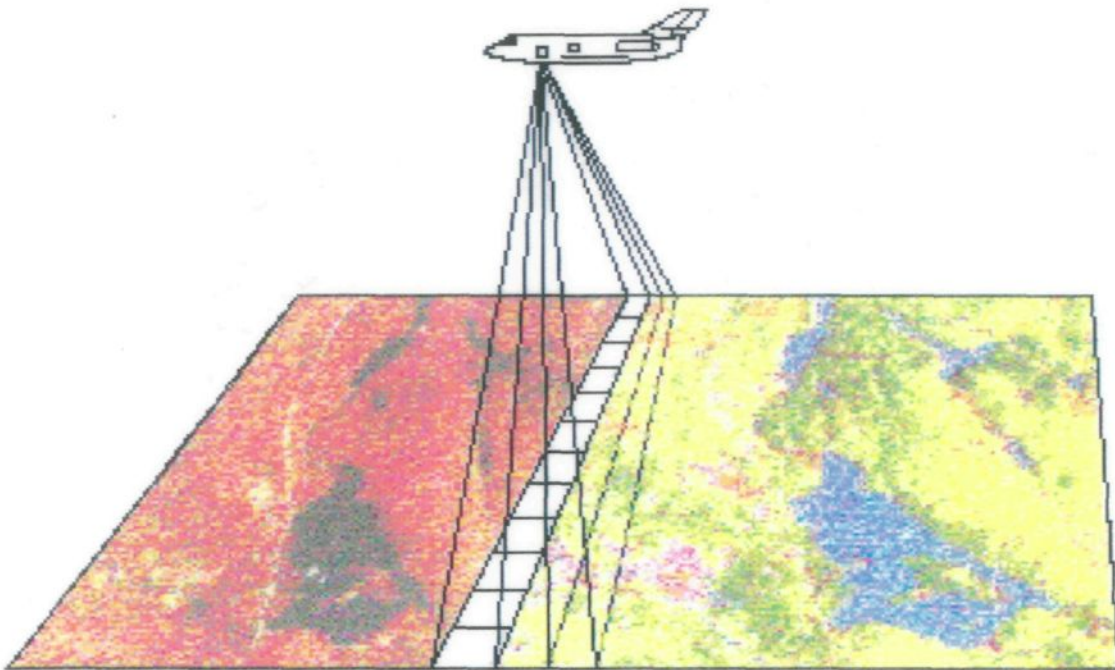
L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

UNIVERSITÉ du QUÉBEC

**MÉMOIRE
PRÉSENTÉ À**

**L'UNIVERSITÉ du QUÉBEC à CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES**



**PAR
RÉAL JODRY**

**LA TÉLÉDÉTECTION MULTIBANDE AÉROPORTÉE
MEIS II ET DAEDALUS MSS APPLIQUÉE À**

**LA CARTOGRAPHIE FORESTIÈRE
DE LA STATION SIMONCOUCHE**

JANVIER 1996

RÉSUMÉ

Les méthodes traditionnelles de production des inventaires forestiers s'avèrent peu performantes pour satisfaire à la demande et aux besoins sans cesse grandissants dans un contexte de mondialisation des marchés. Comme les images satellitaires ont encore une résolution trop limitée pour la réalisation d'une cartographie forestière détaillée, les images aéroportées de haute résolution permettent effectivement de rencontrer de plus en plus ces exigences.

L'objectif de l'étude est de vérifier, par l'intermédiaire de l'imagerie numérique aéroportée, la faisabilité, l'exactitude et la précision pour la réalisation cartographique des espaces forestiers en contexte boréal. Cette nouvelle technologie permet une cartographie forestière très précise, et ainsi une meilleure connaissance des stocks ligneux. Le but ultime de l'étude est effectivement de tester une méthode pour accroître la précision des inventaires forestiers.

Les images aéroportées ont été acquises le 8 juin 1985 avec les capteurs MEIS II et DAEDALUS MSS pour produire une cartographie des peuplements forestiers de la station Simoncouche située au nord de la réserve faunique des Laurentides.

Les résultats obtenus par ces capteurs sont d'abord comparés entre eux puis confrontés aux documents cartographiques du ministère des Ressources naturelles du Québec.

L'étude démontre que le processus de classification numérique supervisé donne des résultats qui satisfont aux critères de précision et de fiabilité exigés lors de la réalisation des inventaires forestiers.

REMERCIEMENTS

À mon directeur de thèse, Monsieur Gilles H. Lemieux, j'adresse mes tous premiers et très chaleureux remerciements, pour avoir su diriger ce travail avec patience, disponibilité et compétence. L'utilisation d'un avion de type Cessna-172, piloté par Monsieur Lemieux, m'a assuré une aide précieuse tout au long des travaux de recherche pour la prise de photographies aériennes obliques du secteur d'étude. Je suis conscient des avantages que j'en ai retirés.

J'exprime mes remerciements à Monsieur Réjean Gagnon, pour m'avoir donné de précieux conseils et pour son suivi attentif lors des excursions de récolte de données de validation terrain.

Je veux remercier aussi Messieurs Claude Chamberland et Réal Beauregard du laboratoire de géomatique de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) pour leur appui technique concernant l'utilisation du matériel de traitement informatique (ordinateur et logiciels) nécessaire pour la réalisation de ce travail.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur Sébastien Matajek du ministère des Forêts du Québec pour son aide précieuse à obtenir certains documents d'information d'une importance particulière dans le domaine de la cartographie forestière, réalisés à l'aide de l'image satellite au Québec et au Canada.

Je remercie aussi, de manière particulière, Monsieur André Boivin, ingénieur chez Bell Canada pour son aide lors des séances de traduction de certains documents d'information (anglaise) si nécessaire à la bonne compréhension des

techniques de cartographie en télédétection aéroportée. Je remercie aussi Monsieur Michel Brassard, bachelier en Arts, pour son aide précieuse au niveau de la conception infographique de la page couverture.

Monsieur Claude Morin a fourni une aide indispensable tout au long des nombreuses excursions pour l'acquisition des données de validation terrain; qu'il soit vivement remercié.

Le suivi et la dactylographie des textes ainsi que des tableaux sont l'oeuvre de Mesdames Rolande Chouinard et Sylvie Moisan, je tiens à leur exprimer, ici, toute ma gratitude.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIÈRES	iv
LISTE DES CARTES	viii
LISTES DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES ANNEXES	xii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I: GÉNÉRALITÉS	3
1.1 SITUATION GÉOGRAPHIQUE	3
1.2 STATUT DE LA STATION SIMONCOUCHE	3
1.3 RESSOURCES RENOUVELABLES	5
1.4 BREF HISTORIQUE DU DÉVELOPPEMENT DE L'IMAGERIE MULTIBANDE AÉRIENNE	7

CHAPITRE II: MÉTHODES ET MATÉRIEL	9
2.1 DONNÉES DE TÉLÉDETECTION AÉROPORTÉES MEIS II ET DAEDALUS MSS	9
2.2 DONNÉES UTILISÉES À TITRE DE VÉRITÉ-TERRAIN	11
2.3 CHOIX DU SECTEUR D'ÉTUDE	14
2.4 CHOIX DES IMAGES AÉROPORTÉES	17
2.5 CHOIX DES BANDES SPECTRALES	21
2.6 LES PRÉ-TRAITEMENTS	24
A) CORRECTIONS GÉOMÉTRIQUES	24
B) CORRECTIONS RADIOMÉTRIQUES	25
2.7 LES TRAITEMENTS	33
A) ÉTALEMENT LINÉAIRE	33
B) ÉTABLISSEMENT DES ZONES D'ENTRAÎNEMENT	38
C) CLASSIFICATION AUTOMATISÉE PAR DISTANCE MINIMALE	40
D) LISSAGE FINAL PAR FILTRE MODAL	54
2.8 ANALYSE DES HISTOGRAMMES	58
2.9 CARTOGRAPHIE DES IMAGES FINALES	58
CHAPITRE III RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	65
3.1 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS OBTENUS AVEC LES CAPTEURS MEIS II ET DAEDALUS MSS	65

3.1.1	LA DIFFÉRENCIATION INTERSPÉCIFIQUE DES RÉSINEUX	67
3.1.2	LA DIFFÉRENCIATION INTERSPÉCIFIQUE DES FEUILLUES	67
3.1.3	PLANIMÉTRIE NUMÉRIQUE	68
3.1.4	VALIDATION ET DIFFÉRENCIATION DES SUPERFICIES	69
3.1.5	LA CONFUSION DES AIRES DE L'IMAGE MEIS II	71
	- SECTEURS SUD-OUEST ET SUD-EST	72
	- SECTEUR NORD-OUEST	72
	- SECTEUR NORD-EST	72
3.1.6	LA CONFUSION DES AIRES DE L'IMAGE DAEDALUS MSS	74
	- SECTEUR SUD	74
	- SECTEUR NORD	74
3.1.7	LA CLASSIFICATION DES PIXELS DE FRONTIÈRE	75
3.1.8	LE DEGRÉ DE CONFIANCE DES RÉSULTATS	76
3.2	COMPARAISON VISUELLE DES IMAGES FINALES MEIS II ET DAEDALUS MSS	78
3.2.1	SUPERFICIE COUVERTE PAR LES IMAGES MEIS II ET DAEDALUS MSS	78

3.2.2	PERFORMANCES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES MEIS II ET DAEDALUS MSS	79
3.2.3	AUTRES FACTEURS DE DIFFÉRENCIATION DES RÉSULTATS	79
3.3	COMPARAISON DES RÉSULTATS OBTENUS AVEC LA CARTOGRAPHIE FORESTIÈRE DU MINISTÈRE DES FORÊTS DU QUÉBEC	83
3.3.1	LES PEUPLEMENTS RÉSINEUX	83
3.3.2	LES PEUPLEMENTS FEUILLUS	91
3.3.3	LES PEUPLEMENTS MÉLANGÉS	95
3.3.4	LES AUTRES ÉLÉMENTS DU PAYSAGE	96
3.4	AUTRES CONSIDÉRATIONS RELATIVES À L'IMAGERIE AÉROPORTÉE	101
	CONCLUSION	107
	BIBLIOGRAPHIE	110

LISTE DES CARTES

1.	LOCALISATION DU TERRITOIRE D'ÉTUDE	4
2.	LOCALISATION DES PHOTOGRAPHIES	13
3.	LA CARTE NUMÉRIQUE, FORÊT SIMONCOUCHE	16
4.	PEUPLEMENTS FORESTIERS STATION SIMONCOUCHE (IMAGE "MEIS II")	55
5.	PEUPLEMENTS FORESTIERS STATION SIMONCOUCHE (IMAGE "DAEDALUS")	56
6.	COUVERT FORESTIER, FORÊT SIMONCOUCHE	85
7.	TYPE DE COUVERT FORESTIER, FORÊT SIMONCOUCHE	86
8.	LES PEUPLEMENTS RÉSINEUX, FORÊT SIMONCOUCHE	89
9.	GROUPEMENT D'ESSENCES DES PEUPLEMENTS RÉSINEUX, FORÊT SIMONCOUCHE	90
10.	LES PEUPLEMENTS FEUILLUS, FORÊT SIMONCOUCHE	92
11.	GROUPEMENT D'ESSENCES DES PEUPLEMENTS FEUILLUS, FORÊT SIMONCOUCHE	93
12.	LES PEUPLEMENTS MÉLANGÉS, FORÊT SIMONCOUCHE	97

LISTE DES FIGURES

1.	PEUPLEMENTS FORESTIERS STATION SIMONCOUCHE - IMAGE BRUTE "MEIS II"	18
2.	PEUPLEMENTS FORESTIERS STATION SIMONCOUCHE - IMAGE BRUTE "DAEDALUS MSS"	19
3.	CHOIX DES BANDES MULTISPECTRALES	20
4.	LES CORRECTIONS RADIOMÉTRIQUES	28
5.	SCHÉMA DE LA MÉTHODOLOGIE	34
6.	SÉLECTION DES ÉTALEMENTS LINÉAIRES DE HISTOGRAMMES	35
7.	ACCENTUATION LINÉAIRE ET SUPERPOSITION DES ZONES D'ENTRAÎNEMENT APPLIQUÉES À LA CLASSIFICATION DES PEUPLEMENTS FORESTIERS DE LA STATION SIMONCOUCHE - IMAGE "MEIS II"	36
8.	ACCENTUATION LINÉAIRE ET SUPERPOSITION DES ZONES D'ENTRAÎNEMENT APPLIQUÉES À LA CLASSIFICATION DES PEUPLEMENTS FORESTIERS DE LA STATION SIMONCOUCHE - IMAGE "DAEDALUS MSS"	37
9.	STATISTIQUES DES ZONES D'ENTRAÎNEMENT (MEIS II)	48
10.	STATISTIQUES DES ZONES D'ENTRAÎNEMENT (MEIS II)	49
11.	STATISTIQUES DES ZONES D'ENTRAÎNEMENT (MEIS II)	50

LISTE DES FIGURES (SUITE)

12.	STATISTIQUES DES ZONES D'ENTRAÎNEMENT (DAEDALUS MSS)	51
13.	STATISTIQUES DES ZONES D'ENTRAÎNEMENT (DAEDALUS MSS)	52
14.	STATISTIQUES DES ZONES D'ENTRAÎNEMENT (DAEDALUS MSS)	53
15.	SEUILLAGE DE L'HISTOGRAMME - BANDE 4 (MEIS II)	59
16.	SEUILLAGE DE L'HISTOGRAMME - BANDE 5 (MEIS II)	60
17.	SEUILLAGE DE L'HISTOGRAMME - BANDE 7 (MEIS II)	61
18.	SEUILLAGE DE L'HISTOGRAMME - BANDE 5 (DAEDALUS MSS) ..	62
19.	SEUILLAGE DE L'HISTOGRAMME - BANDE 7 (DAEDALUS MSS) ..	63
20.	SEUILLAGE DE L'HISTOGRAMME - BANDE 9 (DAEDALUS MSS) ..	64
21.	DÉLIMITATION DE LA SUPERFICIE MEIS II ÉQUIVALENTE SUR L'IMAGE FINALE DAEDALUS	80

LISTE DES TABLEAUX

1.	CARACTÉRISTIQUES DES DONNÉES DE VOL DES CAPTEURS "MEIS II ET DAEDALUS MSS"	10
2.	PRINCIPALES CHRONOSÉQUENCES DE LA FORÊT SIMONCOUCHE	15
3.	LES BANDES SPECTRALES DES CAPTEURS "MEIS II ET DAEDALUS MSS"	22
4.	RELEVÉS DE VÉGÉTATION - SECTEUR SIMONCOUCHE	42-44
5.	STATISTIQUES COMPILÉES DES AIRES CLASSIFIÉES DE L'IMAGE "MEIS II"	29
6.	STATISTIQUES COMPILÉES DES AIRES CLASSIFIÉES DE L'IMAGE "DAEDALUS MSS"	30
7.	MATRICES DE CONFUSION DES AIRES CLASSIFIÉES "MEIS II"	31
8.	MATRICES DE CONFUSION DES AIRES CLASSIFIÉES "DAEDALUS MSS"	32

LISTE DES ANNEXES

1.	PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES BASSES OBLIQUES ET PHOTOGRAPHIES AU SOL	115
2.	RELEVÉS DE VÉGÉTATION ET SURFACE TERRIÈRE - STATION SIMONCOUCHE	132
3.	STATISTIQUES DES AIRES CLASSIFIÉES MEIS II ET DAEDALUS MSS	164

INTRODUCTION

La télédétection est une science relativement jeune qui contribue déjà à la connaissance de l'environnement planétaire. De tous les outils de gestion des ressources qui s'offrent aux divers intervenants dans les milieux forestiers, la télédétection deviendra sûrement l'un des plus polyvalents et des plus efficaces. La capacité de télédétection des satellites ainsi que des autres capteurs linéaires et matriciels aéroportés, ici utilisés, sont et deviendront une source de renseignements de plus en plus importante pour les forestiers et autres intervenants au niveau des ressources renouvelables de la planète. On y trouve une source de multiples renseignements sur l'état des forêts, sur la composition floristique des espèces et leurs répartitions, sur les dommages causés par les maladies et les insectes et sur l'exploitation forestière ou les changements environnementaux.

Au Québec, les inventaires forestiers seront réalisés de plus en plus à l'aide de système d'information à référence spatiale (SIRS) afin d'optimiser la gestion des informations cartographiques. Nous devons donc voir avec un grand intérêt la mise au point d'approche cartographique entièrement numérique faisant appel aux images aéroportées pour éventuellement remplacer la photographie aérienne conventionnelle.

Dans ce contexte, la présente étude se limitera exclusivement au domaine forestier et consistera à réaliser un inventaire des peuplements forestiers de la station de recherche et d'enseignement Simoncouche. L'objectif principal de cette

étude est de tester l'application d'une méthode de traitement numérique à l'aide de l'imagerie aéroportée MEIS II et DAEDALUS MSS pour établir un inventaire des peuplements forestiers.

Dans un premier temps, il sera question de faire ressortir les principaux aspects biophysiques du territoire d'étude.

Dans un second temps, nous exposerons la méthodologie ainsi que les différentes spécifications des capteurs aéroportés utilisés dans le cadre du présent travail.

Les résultats et discussion de la méthode de traitement numérique des imageries MEIS II et DAEDALUS MSS pour la réalisation d'un inventaire forestier constitueront, pour leur part, une partie importante de la troisième partie de ce document. Finalement, une analyse de similitude entre les différents peuplements forestiers du territoire ainsi cartographiés et la carte forestière du ministère des Forêts du Québec sera présentée.

En guise de conclusion, nous brosserons un bref résumé des principaux résultats obtenus ainsi que des différentes limites ou problèmes inhérents à l'utilisation de la télédétection multibande aéroportée MEIS II et DAEDALUS MSS dans la réalisation d'un inventaire forestier.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS

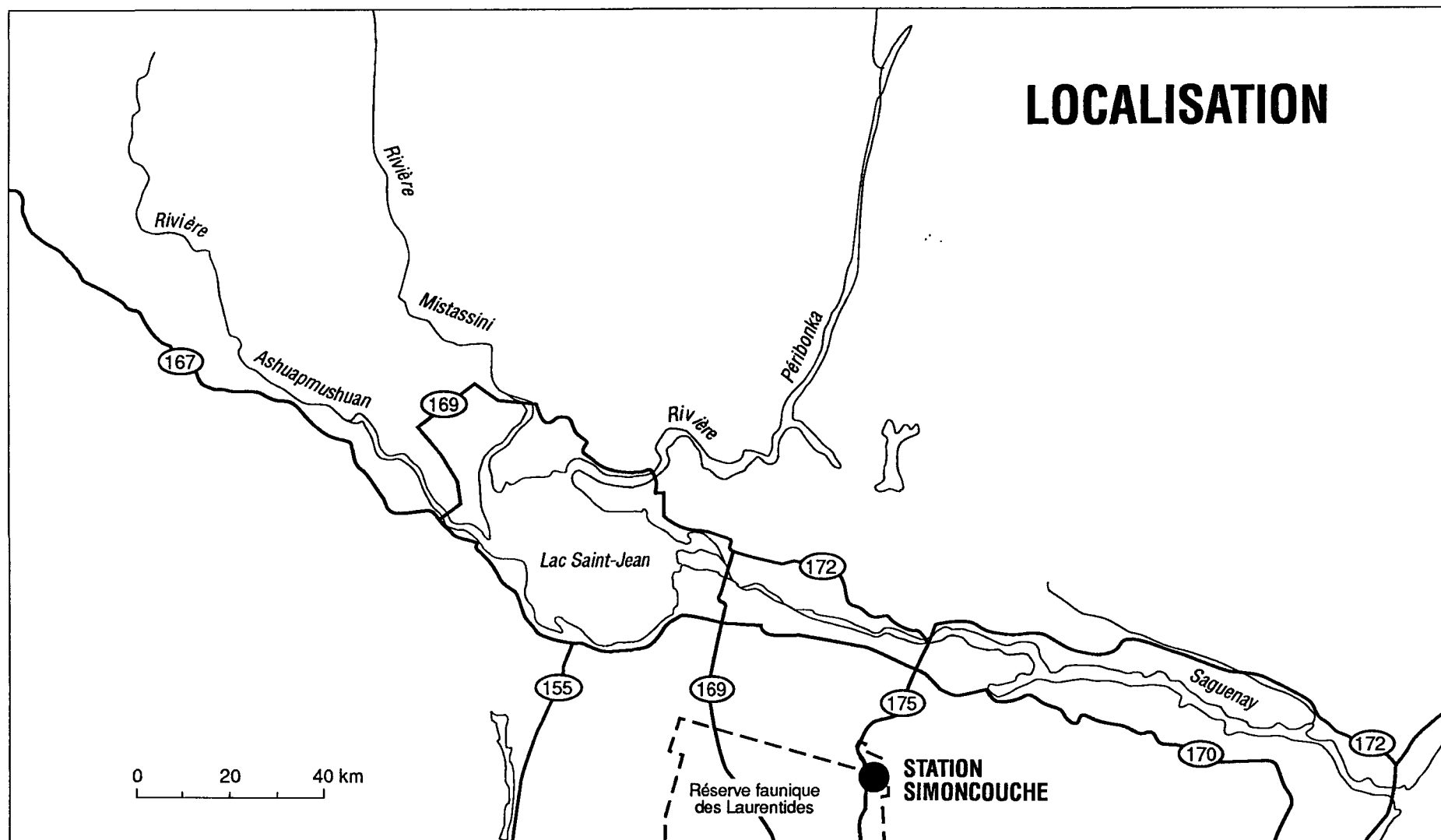
1.1. Situation géographique

La station forestière Simoncouche est située au sud de la plaine du Haut-Saguenay sur le contrefort du Bouclier Canadien à l'entrée nord de la Réserve faunique des Laurentides (carte 1). Elle se localise entre les latitudes $48^{\circ} 14'$ et $48^{\circ} 15'$ nord et les longitudes $71^{\circ} 10'$ et $71^{\circ} 15'$ à une vingtaine de kilomètres au sud de Chicoutimi. Le secteur du lac Simoncouche est actuellement utilisé comme station de recherche expérimentale et d'enseignement par l'Université du Québec à Chicoutimi.

1.2 Statut de la station Simoncouche

En 1991, l'Université du Québec à Chicoutimi a fait l'acquisition d'un territoire forestier d'une superficie de 23,6 kilomètres carrés à l'entrée nord de la Réserve faunique des Laurentides (Gauthier, 1993) (carte 1). Ce territoire constitue la station de recherche et d'expérimentation Simoncouche. Cette dernière est assujettie à la loi sur les forêts de 1986 et de ce fait l'université doit produire un plan d'aménagement forestier.

Dans cette optique, il fallait donc établir un portrait fidèle du milieu biophysique du territoire. En 1982, Gilles H. Lemieux procédait à une analyse préliminaire des différents aspects biophysiques du dit territoire (Lemieux et al. 1982 et Gauthier et al. 1993). La végétation de la station Simoncouche fut



analysée par Monsieur Claude Girard en 1992. Auparavant, le groupe Gauthier et Langlois, à l'aide de la géomatique, avait réalisé un rapport sur le cadre écologique du secteur en 1990 (Gauthier et Langlois, 1993).

L'étude de la forêt Simoncouche a été jusqu'à présent réalisée uniquement à l'aide de photographies aériennes conventionnelles, à partir desquelles sont élaborées les cartes forestières.

L'événement de la télédétection aéroportée nous donne la possibilité d'apprécier le potentiel de l'imagerie numérique comme outil d'aménagement.

Nous nous proposons de voir si l'inventaire forestier de la station Simoncouche à l'aide de la télédétection multibande aéroportée MEIS II et DAEDALUS MSS nous permettra d'acquérir une information non perceptible autrement. Ce type d'imagerie est de plus considéré comme un outil valable complémentaire aux outils traditionnels (Beaubien et al. 1987).

1.3 Ressources renouvelables

Le relief, les pentes, la géologie, les dépôts meubles, la pédologie, le drainage, l'hydrographie, la végétation, la faune, etc, constituent les principaux traits biophysiques du territoire de la station Simoncouche. Afin de ne pas outrepasser le cadre de ce travail de maîtrise, seule la végétation forestière sera considérée.

Les hautes terres des contreforts du Bouclier Canadien appartiennent aux grands ensembles de la forêt boréale de Rowe (1972). Plus précisément, elles s'inscrivent dans la section Laurentide-Onatchiway (Bla).

Cette région, telle que décrite par Rowe (1972) est surtout peuplée de conifères. Le sapin baumier prédomine sur le flanc des collines et en d'autres stations écologiques humides et bien drainées, tandis que l'épinette noire prédomine sur les plateaux au sol mince et sur les terres à mauvais drainage. On trouve partout l'épinette blanche mais en petit nombre. Le bouleau à papier est le feuillu qui s'associe communément avec le sapin et l'épinette.

Le tremble et le pin gris sont des essences secondaires qui prédominent là où il y a eu des incendies fréquents. Par ailleurs, des coupes forestières plus ou moins récentes, totales ou partielles complètent le paysage forestier du secteur Simoncouche.

Du point de vue de l'écologie forestière, le secteur, ici à l'étude, appartient simultanément à la région écologique des hautes Laurentides et à celle des moyennes Laurentides (Jurdant et al. 1972). Le secteur nord de la réserve faunique des Laurentides, comprenant le secteur de la station Simoncouche, est nettement dominé par l'ensemble des stades secondaires et climatiques de la sapinière à bouleau blanc. Les stades secondaires et climatiques de la pessière noire sont en deuxième place (Gauthier, 1980).

Selon le dernier inventaire cartographique du ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, réalisé en 1984, nous constatons que les feuillus occupent la plus grande partie du territoire de la station Simoncouche, soit environ 80% de l'espace forestier (Gauthier et al. 1993). Les résineux se retrouvent en petits bouquets principalement du côté est du territoire étudié. Les peuplements

mélangés colonisent, quant à eux, principalement la partie ouest du dit secteur en frange de la route régionale 175 (Gauthier et al. 1993). Les peuplements feuillus (peupleraies, bétulaies, etc) occupent, pour leur part, la majeure partie de l'espace forestier de la station Simoncouche. Les trois types de couverts susmentionnés constituent, selon le ministère de l'Énergie et des Ressources, les sites forestiers productifs du présent territoire. Les espaces identifiés comme étant des aulnaies, tourbières, aires de coupe et dégagés et zones anthorophiques sont considérés comme étant des terres forestières improductives et occupent une superficie peu importante du dit territoire.

1.4 Bref historique du développement de l'imagerie multibande aérienne

Avant d'aborder le prochain chapitre, matériel et méthode, nous considérons qu'il est pertinent, ici, de souligner l'aspect historique du développement de l'imagerie spectrale aérienne.

Les systèmes aéroportés MEIS II et DAEDALUS MSS furent les premiers appareils IMAGER à circuits intégrés à être développés et à produire des données de détection à distance (Till et al. 1987, in Forêt Canada, 1992). Cela faisait partie d'une initiative canadienne de recherche et de développement pour évaluer la technologie "Pushbroom imager" et pour développer des applications de capteur à distance. Le programme a débuté à la fin des années 1970, avec le MEIS II et DAEDALUS MSS qui étaient des prototypes développés pour le Canada Centre For Remote Sensing (CCRS) sous contrat avec Mc Donald Dettwiler et Associés de Vancouver. Le MEIS II connut son baptême de l'air en 1978 sous l'auspice du

CCRS et démontra avec succès le concept du Pushbroom imager à circuits intégrés et ce dernier fut suivi en 1982 du MEIS II, une imagerie multispectre à huit canaux avec traitement en temps réel (Neville et al. 1987, in Canada, 1992). Il devint le capteur principal de l'appareillage aérien électro-optique du CCRS et ce fut le début d'une période intense de recherches avec le développement aérien, accompagné du développement de collecte de données et de méthodologies interprétatives. L'implantation de techniques de calibration et de centre de traitement des données, ainsi que l'introduction et l'évaluation de nouvelles applications. En tant que capteur principal faisant partie du programme aérien du CCRS, le MEIS II permit une imagerie aérienne multispectre digitale utilisée pour l'évaluation de la technologie d'appareils imager et pour le développement d'applications (Neville et al. 1987 in Canada, 1992). Les données du MEIS II et DAEDALUS MSS furent obtenues pour permettre la recherche et le développement d'application telles que la foresterie, la qualité de l'eau, l'exploitation minière, la cartographie digitale et la surveillance du stress de la végétation.

Jusqu'à présent, les utilisateurs furent les agences fédérales et provinciales, les gérants de ressources des groupes de recherches universitaires et l'industrie. En quatre ans, de 1983 à 1986, près de deux cent missions furent accomplies avec les capteurs MEIS II et DAEDALUS MSS, au Canada, aux USA et en Australie. Depuis 1986, ces deux types de capteurs et l'appareillage électro-optique sont maintenant opérés par l'industrie, tel que Innotech Aviation Entreprise Limited de Montréal pour des applications commerciales.

CHAPITRE II

MÉTHODES ET MATÉRIEL

La méthodologie utilisée repose sur les concepts de la télédétection aéroportée numérique multibande et l'interprétation visuelle des images hautes résolutions numériques rehaussées.

21. Données de télédétection aéroportées

Les images requises dans le cadre du présent projet ont été acquises le 8 juin 1985 à l'aide des capteurs linéaires MEIS II et DAEDALUS MSS. Les bandes multispectrales 4, 5 et 7 (MEIS) ainsi que 5, 7 et 9 (DAEDALUS) ont été retenues pour fin d'analyse.

Les parties est et ouest de la forêt Simoncouche furent survolées en deux temps. Chaque secteur, orienté selon un axe nord-sud, fut survolé à la même altitude malgré l'utilisation des deux types de capteurs différents. Le détail de l'ensemble des données de vol est illustré au tableau 1.

CARACTÉRISTIQUES DES DONNÉES DE VOL DES CAPTEURS
"MEIS II ET DAEDALUS MSS"

	MEIS 11	DAEDALUS MSS
Corridor de vol	Nord-Sud	Nord-Sud
Altitude	6 000 m	6 000 m
Taille des pixels	4,4 m	12 m
Bandes spectrales	4) 5,7 à 6,0 pm	--
	5) 6,6 à 6,9 pm	5,5 à 6,0 pm
	7) 8,4 à 9,0 pm	6,5 à 6,9 pm
	9) --	8,0 à 8,9 pm

Le traitement numérique des images multibandes aéroportées a été effectué à l'aide du programme de traitement numérique d'image DIRIGO. Le logiciel DIRIGO a été conçu pour effectuer des traitements numériques de l'imagerie de la télédétection satellitaire ou aéroportée et mis au point par une équipe de chercheurs de l'Université du Maine à Orono (Langlois, 1992).

Le logiciel DIRIGO est spécifique aux ordinateurs Macintosh II et requiert une version 6.0 ou supérieure du dit système. Il requiert environ 3 mégaoctets et plus de mémoire vive et il est recommandé d'utiliser un disque riside de 20 mégaoctets ou plus pour une utilisation efficace du logiciel au niveau des

possibilités d'utilisation et d'affichage des images. Le système DIRIGO est principalement conçu pour l'affichage couleur et exige, de ce fait, un moniteur couleur 8 bits ou 1 octet. Le système d'opération Macintosh affiche 256 couleurs simultanément, ou 8 bits ou 1 octet de profondeur d'écran.

Le traitement d'image requiert ordinairement 8 bits par bande, ou 24 bits pour l'affichage. Le logiciel DIRIGO produit une image à partir des procédures de filtrage, de classification, etc, sur disque dur mais la présente version du dit logiciel ne peut pas imprimer directement une image (ou un fichier). Il faut le faire en transférant l'image sur un logiciel de traitement cartographique, tel CANVAS et par la suite procéder à l'impression du document final.

2.2 Données utilisées à titre de vérité-terrain

Afin de mesurer le niveau de fiabilité des résultats obtenus à partir d'une méthode de traitement numérique automatisée d'images aéroportée, il s'avère nécessaire d'établir un système de vérification de terrain. À cet effet, nous avons réalisé un certain nombre de quadrats vérité-terrain qui ont été distribuées en tenant compte de l'accessibilité du territoire forestier à l'étude et surtout de manière à couvrir chacune des classes représentatives des différents types de peuplements forestiers du dit secteur. Ces classes sont représentées par des couleurs sur la carte des zones d'entraînement et l'intensité d'échantillonnage est fonction de la variabilité de la végétation au sein de chaque couleur. Afin de bien percevoir le couvert forestier, nous avons dû réaliser plus de quadrats échantillons dans certaines classes pour mieux définir un type de végétation représentatif. De

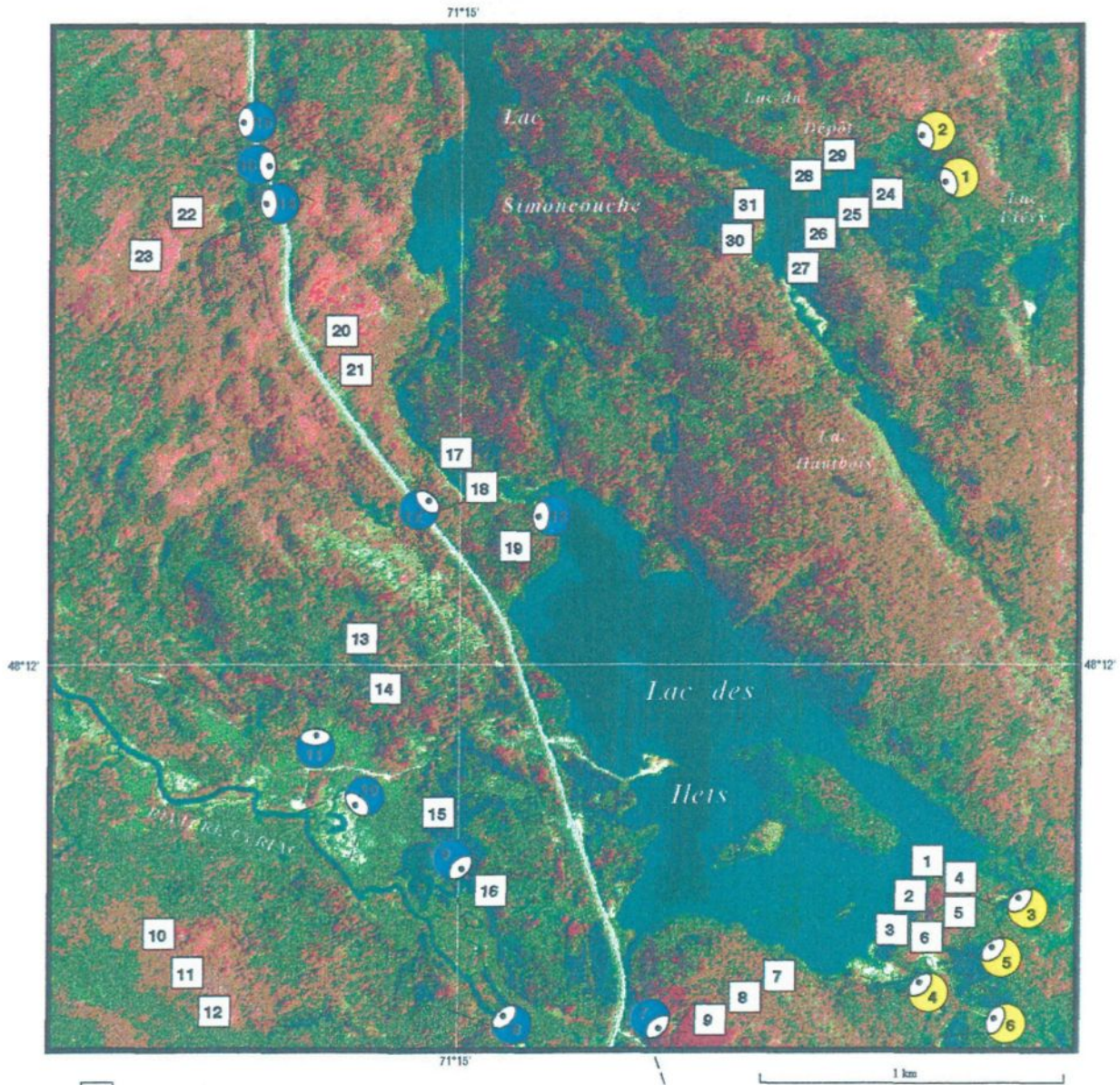
plus, les relevés vérité-terrain ont dû être réalisés de façon à ne pas couvrir des couleurs ou ensembles de couleurs déjà bien cernés et plutôt se faire dans de nouvelles classes. La carte 2 donne la localisation de l'ensemble des quadrats vérité terrain réalisés à l'été 1993. Ces derniers furent effectués selon la méthode traditionnelle de Braun-Blanquet (1965).

Les renseignements dendrométriques suivants ont été enregistrés: le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et la surface terrière. Nous avons aussi noté la composition des peuplements répertoriés soit, les essences forestières, leur pourcentage respectif de recouvrement, les types de régénération et le taux de mortalité. La hauteur des peuplements est, pour sa part, disponible via la carte forestière du secteur.

Les données utilisées à titre de vérité-terrain sont surtout nécessaires pour: dans un premier temps améliorer le découpage des histogrammes et rendre les images plus conformes au couvert forestier, et dans un second temps, permettre une meilleure interprétation des teintes et de leur organisation spatiale qui tient compte des particularités des différentes régions écologiques (Carigan M. et Létourneau, J.P., 1989). Elles visent donc à produire des documents plus contrastés et plus fiables.

Par ailleurs, nous avons ajouté un contrôle aérien fait dans ce secteur à l'automne 1991 par notre équipe. Ces dernières données nous serviront à établir la relation thématique terrain images MEIS II et DAEDALUS MSS.

LOCALISATION Station Simoncouche, UQAC



- 3 QUADRAT D'ÉCHANTILLONNAGE AU SOL
- PHOTOGRAPHIE AU SOL
- 4 PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE BASSE OBLIQUE

Image brute présentée à l'aide des bandes 4 (jaune), 5 (rouge) et 7 (proche infrarouge) du capteur MEIS par traitement d'images DIRIGO.

SOURCE: IMAGE MEIS, SECTEUR DU LAC SIMONCOUCHE, 8 JUIN 1985, LABORATOIRE DE TÉLÉDETECTION, UQAC.

Cet échantillonnage aérien fut élaboré en fonction des intérêts ciblés sur les images brutes en couleur du territoire d'étude. Les photographies aériennes basses obliques accompagnées de photographies au sol sont localisées sur la carte 2. Ainsi, nous disposons pour le territoire à l'étude, de trente et un quadrats d'échantillonnages au sol, vingt photographies aériennes basses obliques pour un total de cinquante-sept données de vérité terrain.

L'annexe 1 nous présente l'ensemble des photographies qui ont été prises sur le territoire de la station forestière Simoncouche.

L'utilisation de d'autres types de données à titre de vérité-terrain tels les photographies aériennes panchromatiques noir et blanc à l'échelle de 1:15, 840 (1981) et les documents forestiers existants, nous ont permis de compléter la validation des résultats obtenus à l'aide du processus de traitement numérique des images aéroportées MEIS II et DAEDALUS MSS.

2.3 Choix du secteur d'étude

Compte tenu des objectifs poursuivis dans le cadre du présent projet, la région choisie pour l'étude se devait d'être représentative des conditions forestières rencontrées dans la forêt boréale québécoise. La forêt Simoncouche¹, à titre de forêt expérimentale, constitue une région d'étude privilégiée car les entités de son territoire ont été étudiées par plusieurs chercheurs. L'information

¹La forêt Simoncouche est une forêt expérimentale d'enseignement et de recherche sous la responsabilité de l'Université du Québec à Chicoutimi (coordonnées géographiques: 48° 14' et 48° 15' de latitude nord et 71° 15' de longitude ouest)

descriptive est donc disponible pour fin de comparaison. De plus, la carte forestière de la forêt Simoncouche a été récemment numérisée par le laboratoire de géomatique de l'UQAC (carte 3). Cette carte numérique permet donc d'effectuer un lien précis entre l'imagerie aéroportée étudiée et l'inventaire vérité-terrain.

Par ailleurs, le tableau 2 nous illustre les principales chronoséquences de la forêt Simoncouche.

TABLEAU 2
PRINCIPALES CHRONOSÉQUENCES DE LA FORÊT SIMONCOUCHE

Chronoséquences	Région écologique
1. Sapinière à bouleau blanc et à érable à épis	Moyennes Laurentides
2. Sapinière à bouleau blanc et à érable à épis et <u>Athyrium filix-femina</u>	Hautes et Moyennes Laurentides
3. Sapinière à bouleau blanc et <u>Hylacomium splendens</u>	Hautes et Moyennes Laurentides
4. Pessière noire à mousse hypnacées et <u>Cladonia sp</u>	Hautes et Moyennes Laurentides
5. Pessière noire à mousse hypnacées et <u>Kalmia angustifolia</u>	Hautes et Moyennes Laurentides
6. Pessière noire à <u>Kalmia angustifolia</u> et <u>Sphagnum sp</u>	Moyennes et Hautes Laurentides
7. Pessière noire à sapin et <u>Sphagnum sp</u> et <u>Carex sp</u>	Moyennes et Hautes Laurentides

Source (Gauthier 1980)

LA CARTE NUMERIQUE FORET SIMONCOUCHE



Source: Ministère des Forêts 1984

Claude Girard UQAC 1992

2.4 Choix des images aéroportées

Compte tenu des types de résolutions spatiales plus ou moins performants de la télédétection satellitaire en rapport avec la reconnaissance des essences forestières, notre choix d'image s'est plutôt porté sur l'imagerie produite via les capteurs aéroportés MEIS II et DAEDALUS MSS du Centre canadien de télédétection (figures 1 et 2). Les principaux critères qui ont motivé notre choix se retrouvent au niveau de la haute résolution au sol ainsi que de la très grande polyvalence d'utilisation des capteurs aéroportés.

PEUPLEMENTS FORESTIERS Station Simoncouche, UQAC

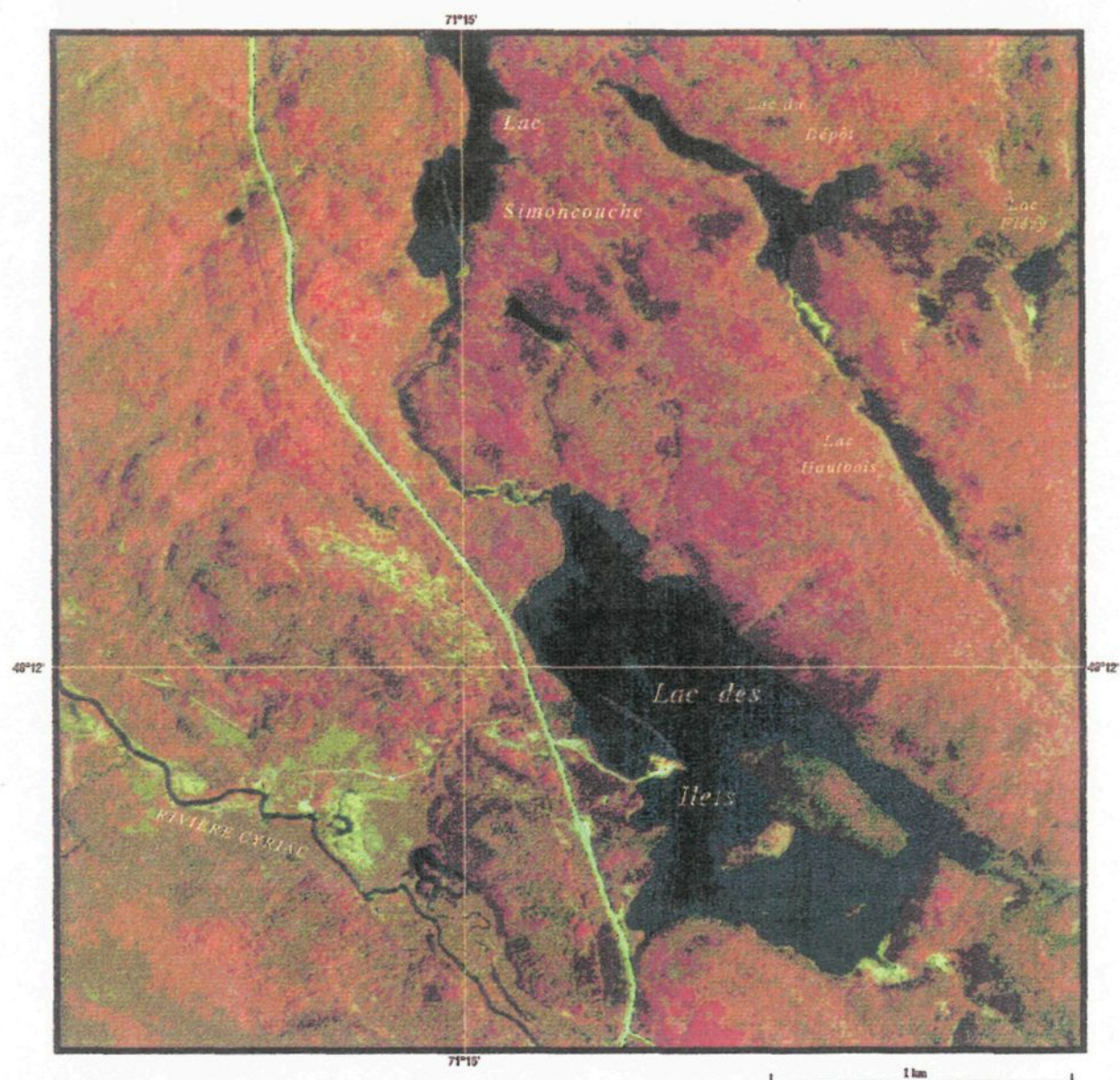


Image brute présentée à l'aide des bandes 4 (jaune), 5 (rouge) et 7 (proche infrarouge)
du capteur MEIS par traitement d'images DIRIGO.

SOURCE: IMAGE MEIS, SECTEUR DU LAC SIMONCOUCHE, 8 JUIN 1985, LABORATOIRE DE TÉLÉDETECTION, UQAC.

Ce document est tiré de la thèse intitulée "LA TÉLÉDETECTION MULTIBANDE AÉROPORTÉE MEIS ET DAEDALUS
APPLIQUÉE À LA CLASSIFICATION FORESTIÈRE DE LA STATION SIMONCOUCHE" de Réal Jodry, MRR, UQAC, 1993.

Figure 1

PEUPLEMENTS FORESTIERS Station Simoncouche, UQAC

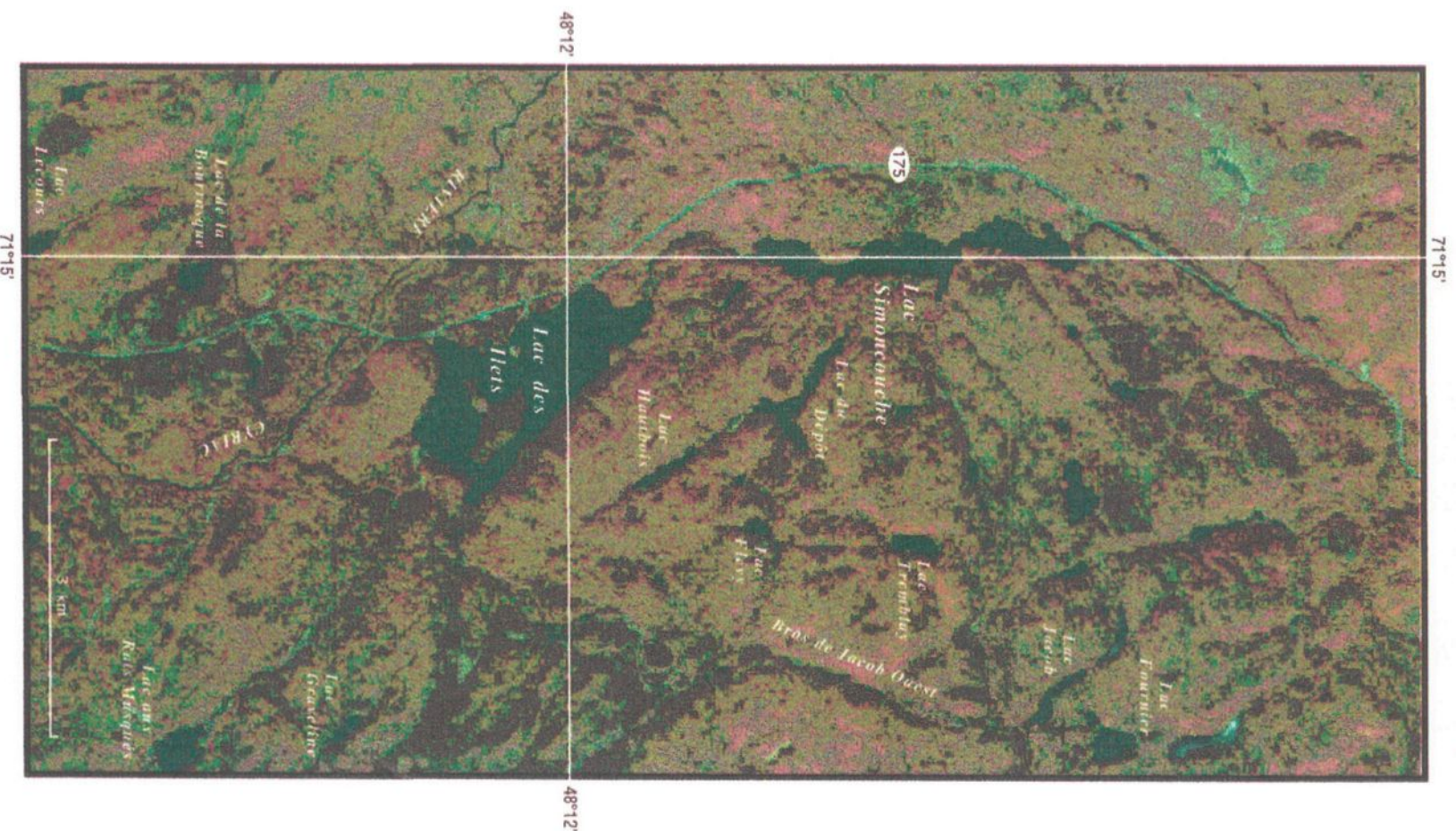


Image brute présentée à l'aide des bandes 5 (vert), 7 (rouge) et 9 (proche infrarouge) du capteur DAEDALUS par traitement d'images DIRIGO.

SOURCE: IMAGE DAEDALUS, SECTEUR DU LAC SIMONCOUCHE, 8 JUIN 1985
LABORATOIRE DE TÉLÉDÉTECTION, UQAC.

Figure 2

Ce document est tiré de la thèse intitulée "LA TÉLÉDETECTION MULTIBANDE AÉROPORTÉE MRS ET DAEDALUS APPLIQUÉE À LA CLASSIFICATION FORESTIÈRE DE LA STATION SIMONCOUCHE" de Réal Jodry, MRS, UQAC, 1993.

2.5 Choix des bandes spectrales

En regard du fait que les images MEIS II et DEADALUS MSS sont composées de plusieurs bandes spectrales et que plusieurs de ces bandes ne sont pas utiles à cette étude, un choix fut donc nécessaire. Le tableau 3 nous montre les différentes bandes spectrales utilisées par les capteurs susmentionnés.

Suite à un travail préliminaire effectué au niveau des valeurs discriminatoires de chaque bande, il nous a été possible de retenir les bandes spectrales 4, 5 et 7 pour le capteur MEIS II et 5, 7 et 9 pour le capteur DEADALUS MSS (figure 3). Le but de ce travail préliminaire a été de déterminer, de façon qualitative, la valeur discriminatoire de chaque bande par rapport aux différentes espèces forestières. On a comparé le degré de netteté des couleurs et le contraste de tonalité entre les différents milieux (résineux, feuillus, tourbière, aulnaie, etc) d'une image à l'autre. Les choix des bandes multispectrales ci-haut énumérées ont été sélectionnées comme étant l'ensemble des données les plus appropriées pour débiter l'analyse numérique.

Le choix des bandes spectrales a donc été fait dans un esprit d'application de la télédétection aux études de la végétation, c'est-à-dire la réalisation d'un inventaire forestier via l'identification et la classification par type de couvert. Ces différentes bandes spectrales représentent les plus grands potentiels relativement à l'identification des bois mous, des forêts mixtes, des bois durs et autres milieux tels les espaces ouverts, etc. Ainsi, la procédure d'identification visuelle peut être grandement facilitée par une sélection appropriée des bandes multispectrales (Eldridge, N., 1993).

TABLEAU 3
BANDES SPECTRALES DU CAPTEUR MEIS II

Bande numéro	Longueur d'onde en nanomètre	Couleur spectrale	Utilité
1	430 à 460	bleu	anthropique et eau
2	500 à 540	bleu-vert	anthropique et eau
3	540 à 570	vert	forêt et eau
4*	570 à 610	jaune	forêt et eau
5*	660 à 690	rouge	forêt
6	670 à 700	rouge	forêt
7*	840 à 900	proche infrarouge	forêt
8	970 à 1070	infrarouge moyen	roche

* Indique les bandes retenues pour fin d'analyse numérique

TABLEAU 3 (SUITE)

BANDES SPECTRALES DU CAPTEUR DEADALUS

Bande numéro	Longueur d'onde	Couleur spectrale	Utilité
1	380 à 420	bleu	anthropique et eau
2	420 à 450	bleu	anthropique et eau
3	450 à 500	bleu	forêt et eau
4	500 à 550	vert	forêt et eau
5*	550 à 600	vert-jaune	forêt et eau
6	600 à 650	orange	forêt
7*	650 à 690	rouge	forêt
8	700 à 790	proche infrarouge	forêt
9*	800 à 890	proche infrarouge	forêt
10	920 à 11000	proche infrarouge	roche
11	9000 à 13000	infrarouge et thermique	chaleur des ob- jets

* Indique les bandes retenues pour fin d'analyse numérique

2.6 Les pré-traitements

Comme les capteurs aéroportés fournissent des images exploitables pour la cartographie régionale et locale, il est cependant souvent nécessaire avec ces types d'images d'effectuer certains types de traitements. Les corrections géométriques et radiométriques sont les principaux pré-traitements réalisés sur les images satellitaires et aéroportées. Ils sont importants afin de réaliser une bonne et solide relation senseur-terrain (Cisse, A., 1989).

2.6.a Les corrections géométriques

Les corrections géométriques permettent d'éliminer certaines distorsions dans le sens du balayage du capteur telles des distorsions optiques, (Cantin, C., 1992). À cause de la largeur du couloir ici utilisé (MEIS II et DEADALUS MSS) qui englobait complètement le territoire de la zone d'étude, nous avons obtenu une couverture numérique du dit territoire en un seul passage. Le fait d'avoir recours à une seule ligne de vol pour obtenir la couverture désirée de la zone d'étude rendait non nécessaire les corrections géométriques. Ces derniers étant uniquement réservés à une rectification simultanée de plusieurs lignes de vols servant à la construction d'une mosaïque d'images ou pour réaliser des superpositions cartographiques (Forêt Canada, 1992). Nous avons jugé bon d'omettre l'étape de correction géométrique car cela ne mettait pas en cause la qualité des résultats et permettait une réduction des délais du travail.

2.6.b Les corrections radiométriques

Comme c'est souvent le cas lors de l'utilisation de l'imagerie de la télédétection aéroportée, il est nécessaire de corriger les variations d'illumination sur une ligne de balayage en fonction de l'angle de visé. Ces variations radiométriques proviennent d'une combinaison d'effets du détecteur, de l'atmosphère et de la réflectance bi-directionnelle du sujet (Forêt Canada, 1992). Ces effets entraînent des variations d'illumination à travers les images qu'il est nécessaire de corriger pour obtenir un profil d'illumination constant dans les images; il faut donc corriger ces variations avant l'analyse numérique des données (Forêt Canada, 1992).

Parmi diverses techniques de correction des effets de l'angle de visée, la méthode empirique de correction du profil fondé sur des modèles de variation d'intensités en travers de l'image, c'est-à-dire l'adaptation d'une courbe polynôme d'intensité par rapport au nadir, est ici employée. Cette méthode est suffisante et fiable dans le cadre de la présente étude qui met l'emphasis sur la différenciation des peuplements forestiers. C'est une méthode analytique, c'est-à-dire qu'elle n'a pas besoin d'étalonnage, simple, robuste et de coût raisonnable (Forêt Canada, 1992).

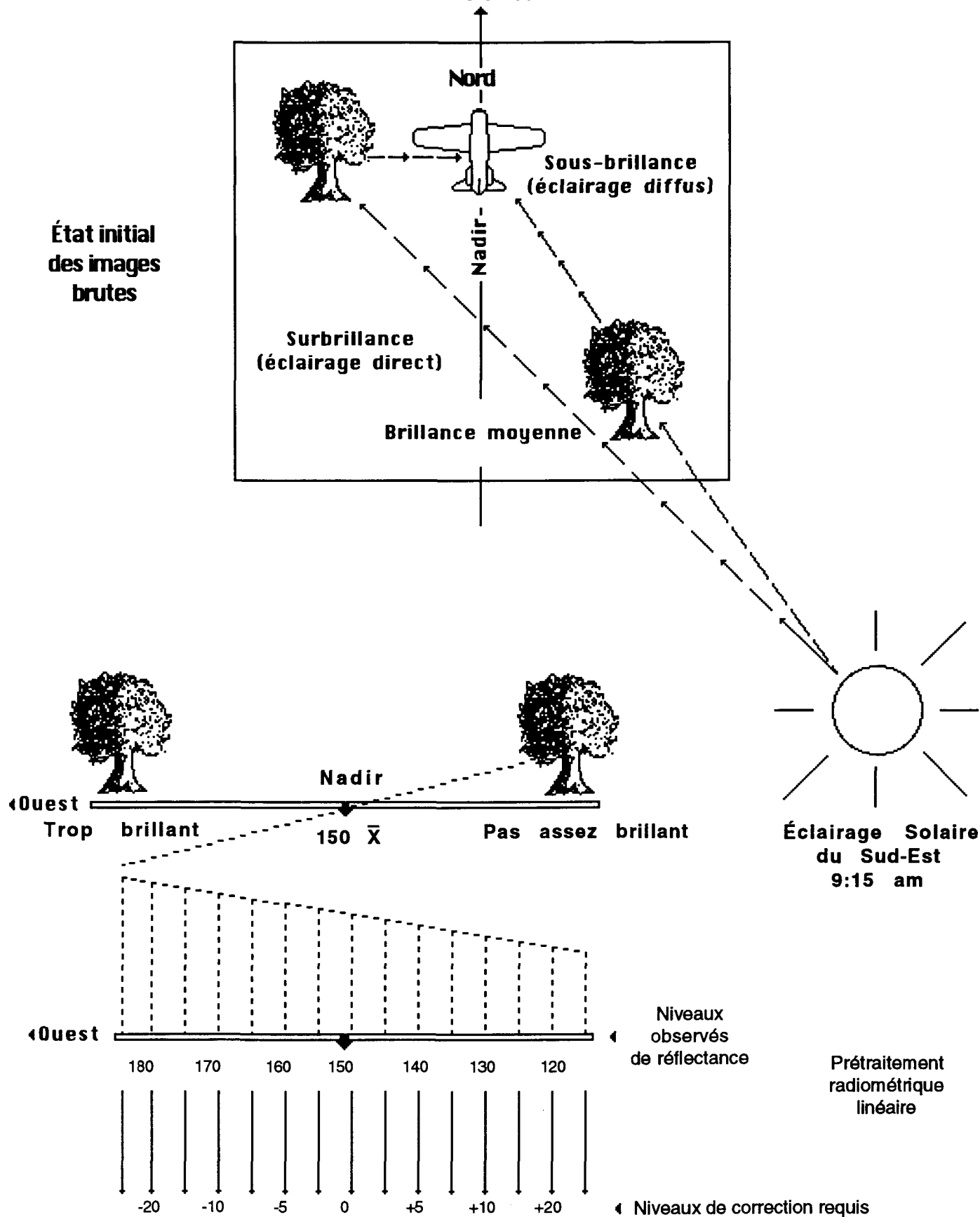
La figure 4 nous montre la problématique d'une correction radiométrique appliquée aux images aéroportées brutes MEIS II et DEADALUS MSS pour la présente étude. À l'état brut, l'image aéroportée présente un étalement de brillance plus ou moins uniforme de part et d'autre du nadir. En fonction d'un

éclairage solaire sud-est pris à 9h15 de l'avant-midi, la partie de l'image située à l'est du nadir présente une brillance des objets de plus en plus foncée à mesure que l'on s'éloigne de ce dernier. C'est la position du soleil qui affecte directement cette variabilité (Brunelle, J., 1991). Sa hauteur, notamment, modifie la proportion de zones d'ombres et de zones ensoleillées. Le capteur reçoit la lumière diffuse des objets d'où une sous-brillance proportionnelle à l'éloignement du nadir. La situation de réflectance se trouve inversée pour la partie de l'image localisée à l'ouest du nadir. Le capteur reçoit alors directement la lumière réfléchie par les objets d'où une surbrillance proportionnelle à mesure que l'on s'éloigne du nadir. Il en résulte un état initial des images brutes qui présente une surbrillance à l'ouest, une brillance moyenne au nadir (ou centre de l'image) et une sous-brillance à l'est.

L'ampleur de ces effets est toutefois tributaire de plusieurs variables: conditions atmosphériques, région spectrale, altitude et angle visé du capteur, angle solaire zénithal et angle azimutal (Brunelle, J., 1991). Les effets de ces éléments perturbateurs peuvent donc être facilement corrigés via un processus de calibration radiométrique relative. Les valeurs de niveau de gris sont alors convertis en réflectance proportionnelle apparente par rapport au nadir de l'image aéroportée. Le but de ces pré-traitements via des corrections radiométriques est de réaliser une certaine symétrie, de part et d'autre du nadir au niveau de la réflectance des pixels qui composent l'image aéroportée.

Pour réaliser les corrections susmentionnées nous avons utilisé un algorithme de correction allant de colonne en colonne de gauche à droite, en diminuant proportionnellement la valeur de la réflectance des pixels jusqu'à droite de l'image (figure 4 pré-traitement). Le résultat final de ce pré-traitement radiométrique est une image formée de pixels qui auront tous la même réflectance ou brillance relative. Les chiffres inscrits sur la figure 4 ont seulement un caractère explicatif du modèle de correction radiométrique.

Figure 4. Les corrections radiométriques appliquées aux images brutes "Meis" et "Daedalus"



Note: Le prétraitement radiométrique utilise un algorithme de correction allant de colonne en colonne de gauche à droite en diminuant proportionnellement jusqu'au nadir et en augmentant proportionnellement du nadir jusqu'à la droite de l'image.

TABLEAU 5
STATISTIQUES COMPIÉES DES
AIRES CLASSIFIÉES DE L'IMAGE "MEISS II"

CLASSES	PIXELS	HECTARES	SUPERFICIE %
Non classifié	28 460	12 523	2,714
Eau	115 676	50 898	11,032
Vég. aquatique	2 898	1 275	0,276
Tourbière	6 908	3 040	0,658
Aulnaie	77 214	33 974	7,363
Pessière	278 141	122 383	26,525
Feuillus	486 321	213 383	46,379
Espace ouvert	46 048	20 261	4,391
Anthropique	6 910	3 040	0,59
TOTAL:	1 048 576	461 374	100,00

TABLEAU 6 STATISTIQUES COMPILÉES DES AIRES CLASSIFIÉES DE L'IMAGE "DAEDALUS MISS"			
CLASSES	PIXELS	HECTARES	SUPERFICIE &
Non classifié	18 510	23 137	3,530
Eau	21330	26 662	4,68
Vég. aquatique	2 699	3 374	0,515
Tourbière	8 281	10 351	1,157
Aulnaie	90 992	113 740	17,355
Pessière	194 937	243 672	37,181
Feuillus	148 965	186 206	28,439
Espace ouvert	35 1217	44 021	6,717
Anthropique	3 357	4 96	0,640
TOTAL:	524 288	655 359	100,00

Secteur Nord-est

	EAU	AULNAIE	PESSIÈRE	FEUILLUS
EAU	7286	95	3	0
AULNAIE	0	636	395	424
PESSIÈRE	7	280	2270	1093
FEUILLUS	0	32	101	5355

Secteur Nord-ouest

	EAU	AULNAIE	PESSIÈRE	FEUILLUS	ESPACEQ...	ANTHROPL..
EAU	3316	0	3	0	0	0
AULNAIE	0	230	134	5	125	1
PESSIÈRE	7	17	1616	100	0	0
FEUILLUS	0	0	30	3106	144	0
ESPACEQ...	0	16	1	3	401	9
ANTHROPL..	0	1	0	0	16	160

Secteur Sud-est

	AULNAIE	PESSIÈRE	FEUILLUS	ANTHROPL..	EAU	VÉG. AQU...	TOURBIÈRE
AULNAIE	287	0	2	347	0	0	63
PESSIÈRE	2	3102	189	3	8	2	0
FEUILLUS	65	37	9465	8	0	0	94
ANTHROPL..	228	0	0	863	0	0	0
EAU	0	0	0	0	7560	113	0
VÉG. AQU...	0	0	0	0	60	174	0
TOURBIÈRE	161	4	1177	76	0	0	235

Secteur Sud-ouest

	EAU	AULNAIE	VEGETATL..	PESSIÈRE	FEUILLUS	ANTHROPL..	ESPACEQ...
EAU	2984	0	3	21	0	0	0
AULNAIE	0	807	0	0	0	43	37
VEGETATL..	42	0	28	0	0	0	0
PESSIÈRE	48	0	0	3181	271	0	4
FEUILLUS	0	3	0	62	2929	0	125
ANTHROPL..	0	80	0	0	0	279	0
ESPACEQ...	0	141	0	15	4	0	2184

Tableau 7. Matrices de confusion des aires classifiées pour le capteur MEIS

Secteur Nord

	EAU	AULNAIE	PESSIERE	FEUILLUS	VEGE. AQU...	ESPACE Q...	ANTHROPL...
EAU	1291	2	10	0	1	0	0
AULNAIE	0	38	14	55	0	537	8
PESSIERE	0	18	736	8	2	2	0
FEUILLUS	0	2	0	530	0	21	0
VEGE. AQU...	0	0	0	0	132	26	0
ESPACE Q...	0	50	0	0	0	869	8
ANTHROPL...	0	3	0	0	12	150	80

Secteur Sud

	eau	AULNAIE	PESSIERE	FEUILLUS	ESPACE Q...	ANTHROPL...	TOURBIERE	VEGET. AQ...
eau	2086	0	31	0	0	0	0	0
AULNAIE	0	123	46	0	0	5	0	0
PESSIERE	11	3	3815	1008	14	0	0	0
FEUILLUS	0	7	724	4785	33	0	0	0
ESPACE Q...	0	37	58	352	255	0	1	0
ANTHROPL...	0	22	4	0	0	34	0	0
TOURBIERE	0	9	1	498	3	0	21	0
VEGET. AQ...	219	0	27	0	0	0	0	20

Tableau 8. Matrices de confusion des aires classifiées pour le capteur DAEDALUS

2.7 Les traitements

Une fois les pré-traitements effectués, nous pouvons maintenant entreprendre les traitements directement liés à la présente méthode qui consiste essentiellement en une classification supervisée des images aéroportées des capteurs MEIS II et DEADALUS MSS. La figure 5 illustre schématiquement la méthode des traitements numériques.

2.7a Étalement linéaire

L'étalement linéaire est la première étape de l'analyse numérique et consiste à appliquer une accentuation linéaire du contraste ou rehaussement des données de l'image. Ce premier traitement nous a permis de produire des scènes en simulation fausse couleur infrarouge. L'étalement linéaire de contraste via une sélection des valeurs extrêmes (la plus haute et la plus basse) de l'histogramme original nous a permis d'effectuer une distribution des valeurs intermédiaires de façon linéaire entre ces extrêmes (figure 6). Ainsi, l'étalement linéaire nous a permis d'améliorer grandement le contraste de l'ensemble des images, sauf pour les valeurs extrêmes des données (figures 7 et 8). Ce premier rehaussement nous permet de démontrer comment une bonne combinaison de bandes multispectrales (4, 5 et 7 MEIS II ainsi que 5, 7 et 9 DEADALUS MSS) peut nous donner une reconnaissance plus facile des différentes essences forestières. Suite à l'étirement et la normalisation des données numériques des images aéroportées originales, toutes les variations de couleurs deviennent utilisables pour une interprétation visuelle. Ce procédé n'a en rien déformé les données. Ainsi, sur les

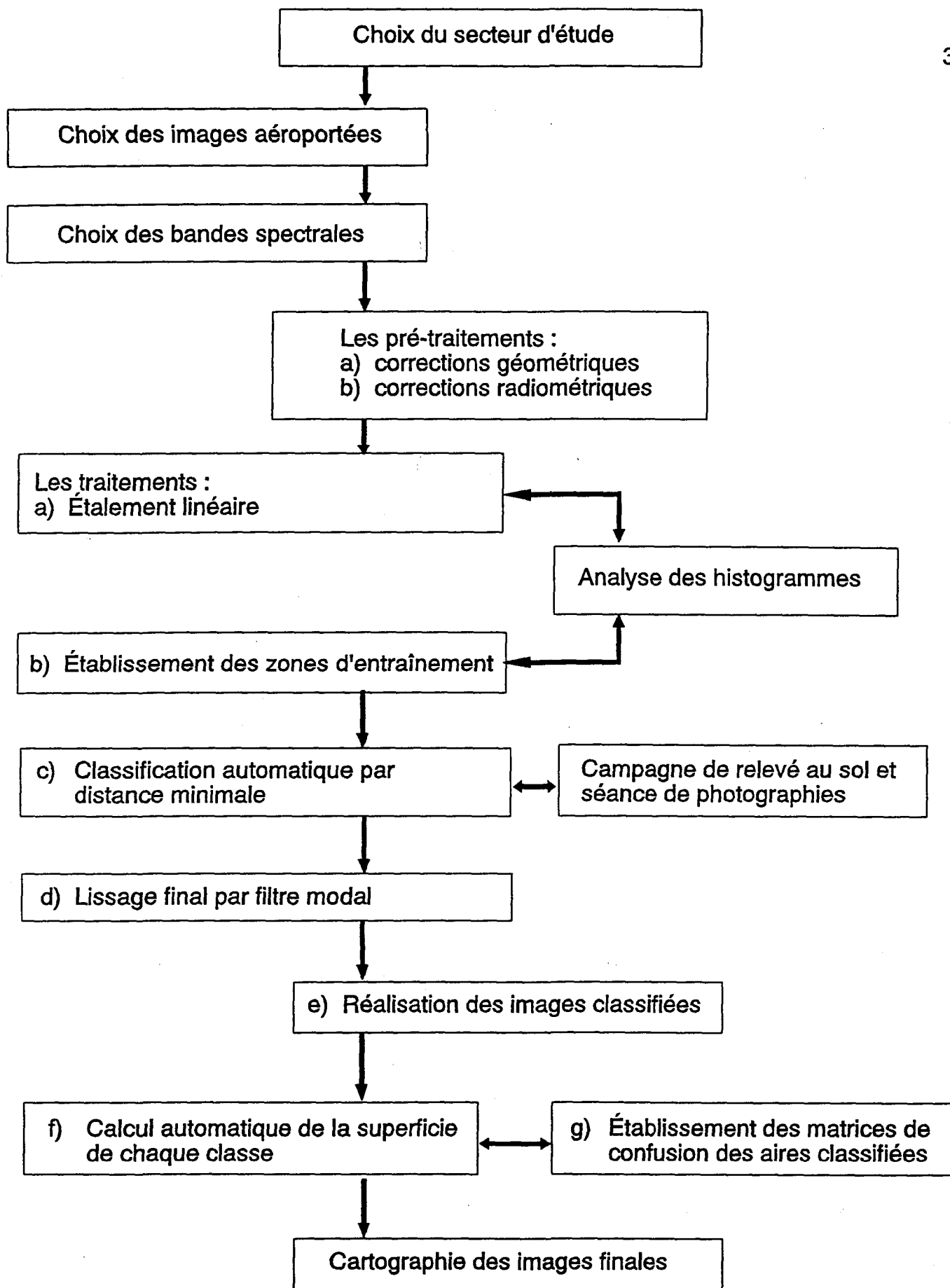
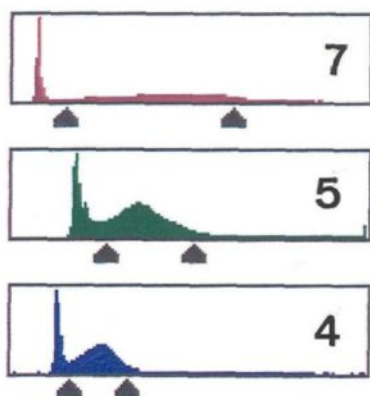


Figure 5 - Schéma de la méthode des traitements numériques

SÉLECTION DES ÉTALEMENTS LINÉAIRES DES HISTOGRAMMES



Histogrammes des bandes multispectrales 4, 5 et 7 du capteur linéaire MEIS simulant la photographie aérienne infrarouge fausses couleurs.

Étalement linéaire des sections (piecewise stretch) permettant l'accentuation de la chlorophylle.

Histogrammes des bandes multispectrales 5, 7 et 9 du capteur linéaire DAEDALUS simulant la photographie aérienne infrarouge fausses couleurs.

Étalement linéaire des sections (piecewise stretch) permettant l'accentuation de la chlorophylle.

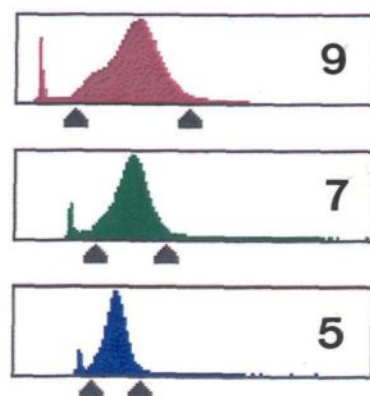
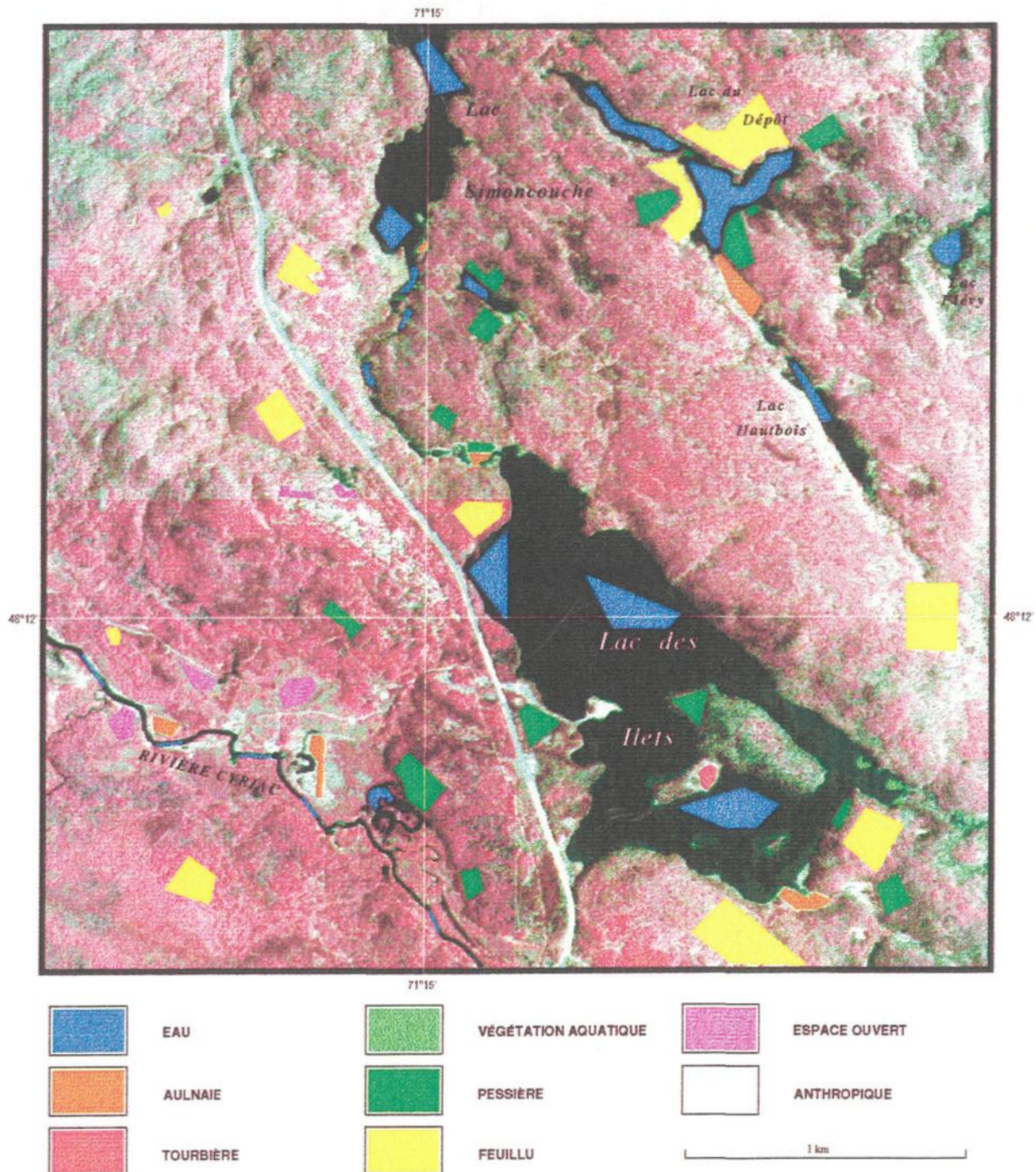


Figure 6

PEUPLEMENTS FORESTIERS Station Simoncouche, UQAC



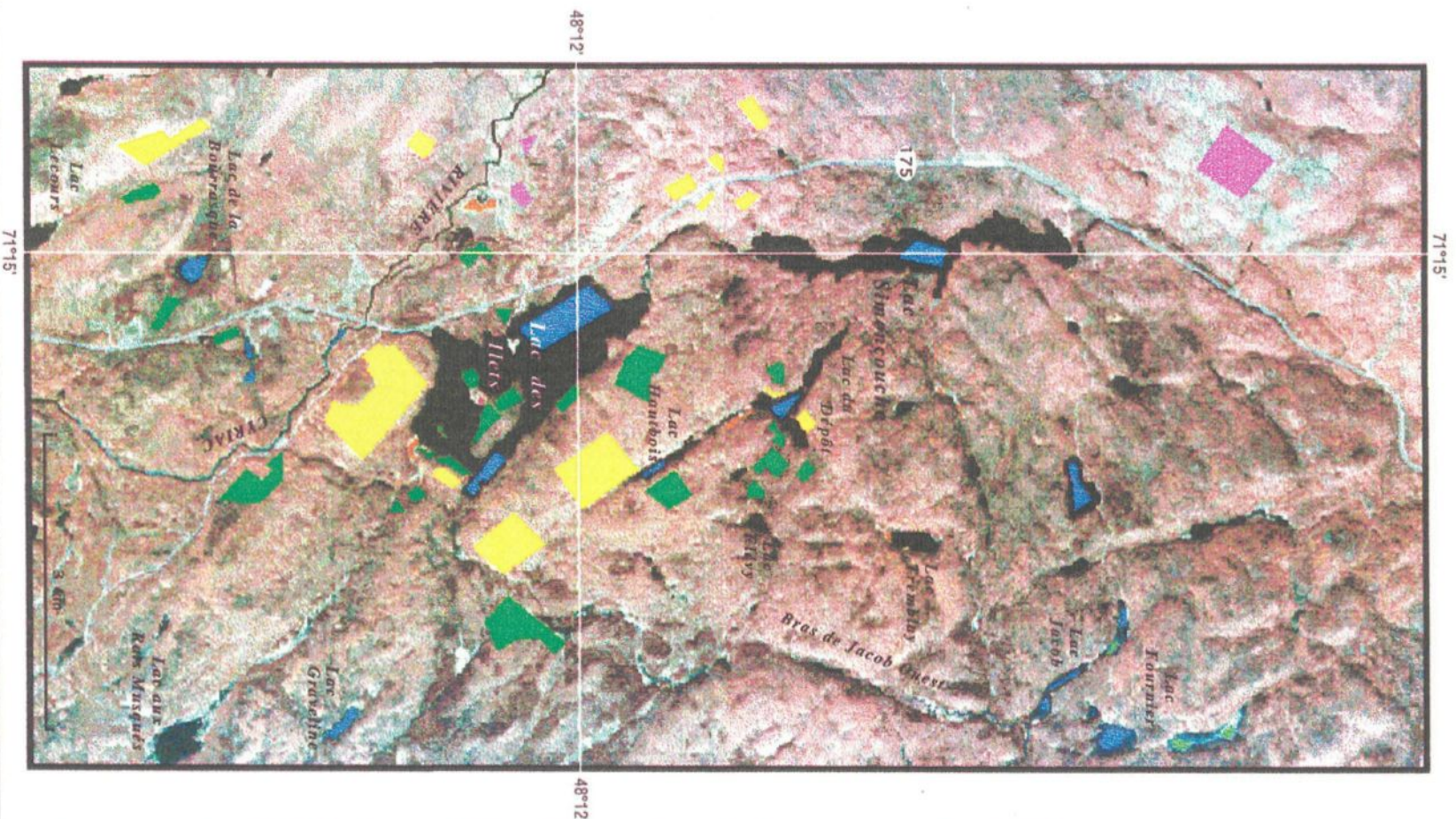
Accentuation linéaire réalisée à l'aide des bandes 4 (jaune), 5 (rouge) et 7 (proche infrarouge) du capteur MEIS par traitement d'images DIRIGO. Superposition des zones d'entraînement ayant servi à la classification selon les thèmes apparaissant à la légende.

SOURCE: IMAGE MEIS, SECTEUR DU LAC SIMONCOUCHE, 8 JUIN 1985, LABORATOIRE DE TELEDETECTION, UQAC.

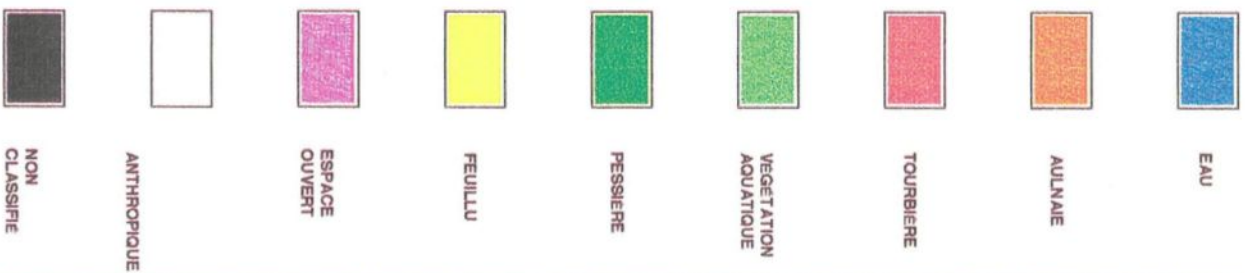
Ce document est tiré de la thèse intitulée "LA TELEDETECTION MULTIBANDE AEROPORTEE MEIS ET DAEDALUS APPLIQUEE A LA CLASSIFICATION FORESTIERE DE LA STATION SIMONCOUCHE" de Réal Jodry, MRR, UQAC, 1993.

Figure 7. Étalement linéaire et zones d'entraînement

PEUPLEMENTS FORESTIERS Station Simoncouche, UQAC



Accentuation linéaire réalisée à l'aide des bandes 5 (vert), 7 (rouge) et 9 (proche infrarouge) du capteur DAEDALUS par traitement d'images DIRIGO. Superposition des zones d'entraînement ayant servi à la classification selon les thèmes apparaissant à la légende.



SOURCE: IMAGE DAEDALUS, SECTEUR DU LAC SIMONCOUCHE, 8 JUIN 1985, LABORATOIRE DE TÉLÉDÉTECTION, UQAC.

Ce document est tiré de la thèse intitulée "LA TÉLÉDÉTECTION MULTIBANDE AÉROPORTÉE MEES ET DAEDALUS APPLIQUÉE À LA CLASSIFICATION FORESTIÈRE DE LA STATION SIMONCOUCHE" de Réal Jodry, M.R., UQAC, 1993.

Figure 8. Étalement linéaire et zones d'entraînement

images qui ont fait l'objet de l'étalement linéaire, les peuplements ayant un fort réfléchissement dans l'infrarouge, c'est-à-dire la plupart des feuillus, paraissent de couleur mauve ou rose pâle. Pour leur part, les résineux tels l'épinette noire et l'épinette blanche, s'identifient via une tonalité rougeâtre.

Sur ces images contrastées, l'association entre une couleur spécifique est possible et cela même si les différences de couleurs sont minimales et mêlées avec les différentes variations de couleur parmi les pixels de l'image ainsi traitée.

Le but premier de l'étalement linéaire, en plus d'obtenir le plus de contraste possible dans la végétation, était de produire des images fausse couleur infrarouge du secteur d'étude qui nous permettent de planifier et de mener à bien notre campagne de relevé au sol (quadrat de vérité-terrain) ainsi qu'une séance de photographies des différents peuplements forestiers qui feront l'objet d'une classification supervisée.

2.7b Établissement des zones d'entraînement

La cartographie des inventaires forestiers à des fins de gestion exige le tracé des peuplements forestiers possédant des caractéristiques homogènes quant aux espèces, à la densité, à la hauteur et à l'âge (Forêt Canada, 1992). Pour ce faire, une approche supervisée fut la méthode choisie pour la classification dans cette étude. Cependant, il nous a fallu élaborer une série de zones d'entraînement qui seront utilisées plus tard pour effectuer la classification des images multispectrales aéroportées MEIS II et DEADALUS MSS. À l'aide du logiciel DIRIGO, nous avons délimité différentes zones d'entraînement choisies en fonction des différents

milieux représentatifs directement sur l'image MEIS II et DEADALUS (figures 7 et 8). Ainsi, plusieurs polygones représentant des secteurs forestiers homogènes tels l'eau, tourbière, la végétation aquatique, la pessière, le feuillu, les espaces ouverts et anthropiques ont été délimités et numérisés. À la fin de cette étape il est possible d'effectuer différents calculs statistiques. À partir de l'image brute formée de seize millions de couleurs, il est impératif d'obtenir une image finale formée de neuf couleurs afin de faciliter la classification. Dans cette étude, la définition des zones d'entraînement fut faite sur un composé de fausses couleurs utilisant les bandes 4 (jaunes), 5 (rouges) et 7 (proche infrarouge) de capteur MEIS II (figure 7). Des contrastes automatiques d'étalement linéaire furent faits sur ces bandes afin d'accentuer l'image visuelle et d'aider la définition des zones d'entraînement.

L'intention originale dans la définition des zones d'entraînement était d'incruster automatiquement ces zones sur les deux ensembles d'image MEIS II et DEADALUS MSS. Ceci fut impossible en raison de la différence d'échelle des images. Au lieu de cela, les zones d'entraînement furent initialement identifiées sur l'image MEIS II et ensuite la procédure fut répétée sur une image DEADALUS MSS (figure 8).

Par ailleurs, le montage des zones d'entraînement fut méticuleusement réalisé en fonction des informations recueillies lors de la campagne de relevé vérité terrain. Les nombreux relevés de végétation via la méthode des quadrats précédemment cités, ont servi à localiser les polygones d'entraînement sur l'image en fonction des différents milieux forestiers. Ainsi, chaque type de couleur

représentant une zone d'entraînement associée à un milieu forestier spécifique a pu être validé en terme de sa composition floristique. Le tableau 4 nous indique les différents types de peuplements représentatifs qui ont fait l'objet d'un relevé à l'intérieur des différents quadrats.

Ainsi, les relevés 1, 2, 3, 13, 14, 15, 16, 26 et 27, ont été retenus pour indiquer les peuplements les plus représentatifs qui composent la strate résineuse de la forêt Simoncouche. Ces derniers ont donc servi à guider l'emplacement des différentes zones d'entraînement relatives à l'identification automatisée des essences résineuses (figures 7 et 8, carte 2).

Pour leur part, les quadrats numéros 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 20, 21, 22, 23, 28, 29, 30 et 31 ont servi pour déterminer la localisation des différentes zones d'entraînement associées à la reconnaissance des peuplements feuillus.

Par ailleurs, les autres composantes des zones d'entraînement associées à la reconnaissance des milieux tels l'eau, la tourbière, l'aulnaie, etc, ont pu être localisées suite à des visites sur le terrain aux différents endroits représentatifs associés à ces zones d'entraînement. L'annexe 1 nous montre une vision à la fois globale et précise des différents types de milieux qui ont servi à titre de vérité terrain pour la réalisation de l'ensemble des zones d'entraînement susmentionnées.

2.7 c Classifications automatisées par distance minimale

Une fois les opérations de sélection des zones d'entraînement terminées, nous avons exécuté une procédure de classification numérique parmi un choix de

trois façons différentes: parallépipède, distance minimale et maximum de vraisemblance (offert via le logiciel DIRIGO).

TABLEAU 4
RELEVÉ DE VÉGÉTATION, SECTEUR SIMONCOUCHE

Peuplement (S)	Quadrats (numéro)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Feuillus avec épinette noire (FIE)	M4									
Pessière noire (E)		R4								
Feuillus avec résineux (FIR)			M1 M4							
Peupleraie (Pe)				F2 F10	F2 F4	F2 F8	F2	F2		F2
Bétulaie à bouleaux jaunes (BJ)									F2	
Bétulaie à bouleaux blancs (BB)										
Feuillus intolérants)FI)										
Sapinière (S)										

Légende: M: Mélangé R: Résineux F: Feuillu

- | | |
|------------------------------|-------------------------|
| 0: aucune régénération | |
| 1: rég. en sapin faible | 2: rég. en sapin moyen |
| 3: rég. en sapin fort | 4: rég. épinette faible |
| 5: rég. épinette moyenne | 6: rég. épinette forte |
| 7: rég. épinette forte | 8: rég. érable rouge |
| 9: rég. érable rouge moyenne | 10: érable rouge forte |

TABLEAU 4 (SUITE)

RELEVÉ DE VÉGÉTATION, SECTEUR SIMONCOUCHE

Peuplement (S)	Quadrats (numéro)									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Feuillus avec épinette noire										
Pessière noire (E)			R6	R6 R2	R5	R4	R2	R2		
Feuillus avec résineux (FIR)										
Peupleraie (PE)										F2
Bétulaie à bouleaux jau- nes (BJ)	F3	F2								
Bétulaie à bouleaux blancs (BB)										
Feuillus intolérants (FI)										
Sapinière (S)									R3	

Légende: M: Mélangé R: Résineux F: feuillus

0: aucune régénération

1: rég. en sapin faible

2: rég. en sapin moyen

3: rég. en sapin fort

4: rég. épinette faible

5: rég. épinette moyenne

6: rég. épinette forte

7: rég. épinette forte

8: rég. érable rouge

9: rég. érable rouge moyenne

10: érable rouge forte

TABLEAU 4 (SUITE)

RELEVÉ DE VÉGÉTATION, SECTEUR SIMONCOUCHE

Peuplement (S)	Quadrats (numéro)										
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Feuillus avec épinette noire (FIE)											
Pessière noire (E)				R0	R1	R1	R5				
Feuillus avec résineux (FIR)											
Peupleraie (PE)	F2	F3	F3					F2			
Bétulaie à bouleaux jaunes (BJ)											
Bétulaie à bouleaux blancs (BB)									F2 F10	F2 F9	
Feuillus intolérants (FI)											F3 F9
Sapinière (S)											

Légende: M: Mélangé R: Résineux F: Feuillu

0: aucune régénération

1: rég. en sapin faible

2: rég. en sapin moyen

3: rég. en sapin fort

4: rég. épinette faible

5: rég. épinette moyenne

6: rég. épinette forte

7: rég. épinette forte

8: rég. érable rouge

9: rég. érable rouge moyenne

10: érable rouge forte

Pour des raisons d'économie de temps d'utilisation de l'ordinateur, il fut décidé d'exploiter la classification à l'aide de la procédure de la distance minimale. La classification par distance minimale emploie un algorithme qui calcule la distance spectrale d'un pixel à partir de la moyenne de chacune des classes de zone d'entraînement et ensuite sélectionne la classe qui est à la distance la moins importante (Langlois, L., 1992). Advenant une égalité, la première classe d'entraînement sera alors utilisée.

Dans le contexte mathématique, la classe sélectionnée est celle dont la valeur moyenne s'adapte. La formule de la classification par distance minimum s'établit comme suit:

$$(X_i - X_{ij})^2$$

Min

j:1-T

ou: X_i = la valeur du pixel d'une bande i
 X_{ij} = la valeur moyenne d'une bande i de la classe d'entraînement
 N - le nombre de bandes
 T = le nombre de classes d'entraînement

Comme la distance est calculée de façon identique pour chacune des classes d'entraînement, il n'y a pas obligation de calculer la racine carrée de chaque terme.

L'omission de cette opération diminue la durée de temps de l'algorithme par un facteur de 10 sans compromettre sa validité.

Lorsque l'algorithme de la classification fut sélectionné, nous avons alors choisi un seuil de valeur mesuré en écart-type à partir de la moyenne. Suite à quelques essais de classification versus l'acceptation de différents écarts-types, il nous a été possible de retenir un écart-type de valeur 2. Cette valeur étant somme toute la plus représentative de la réalité.

Durant la procédure de classification, l'algorithme sélectionne la zone d'entraînement la plus près du pixel courant. Si, à ce moment, la distance minimale ne rencontre pas le seuil exigé, le pixel est alors enregistré dans la catégorie non classifiée. Cette dernière est indiquée par un pixel noir dans l'image finale. Le processus se répète alors pour chacune des bandes représentant 262 144 pixels d'information sur 512 lignes de 512 pixels, où chaque pixel représente une valeur en octet entre 0 et 255.

Il est intéressant de savoir que le logiciel DIRIGO supporte une modification de l'exécution normale de la classification par distance minimale, qui peut augmenter d'une façon significative la vitesse et la précision de l'opération. Compte tenu de l'information relative aux différentes classes, l'algorithme peut déterminer si un pixel a été comparé avec la classe la plus près possible sans

chercher dans la liste entière des classes. De ces faits, il nous a fallu prendre un soin particulier à sélectionner les différentes zones d'entraînement. La précision de la classification est principalement reliée à cet aspect. Par la suite, le système de classification choisit d'abord la classe que l'on retrouve le plus souvent, et continue ensuite dans l'ordre décroissant de présence (Langlois, L., 1992). Les résultats de la classification automatisée par distance minimale sont présentés via les cartes 4 et 5. Pour leur part, les tableaux 5 et 6 nous montrent les statistiques compilées des aires classifiées des images finales MEIS II et DAEDALUS MSS.

Ces derniers contiennent les thèmes, ainsi que le nombre de pixels qui s'y retrouvent. Les résultats sont exprimés en nombre de pixels, en hectares et en pourcentage de recouvrement de l'image pour chacun des thèmes ou classes d'occupation du territoire forestier.

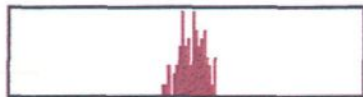


Les résultats de la classification nous permet tout aussi de connaître l'état de confusion entre les différents thèmes (eau, aulnaie, pessière, feuillus, etc). Les tableaux 7 et 8 nous présentent donc les matrices de confusion des aires classifiées pour l'imagerie finale MEIS II et DAEDALUS MSS.

Par ailleurs, les figures 9 à 14 nous présentent les statistiques des zones d'entraînement réalisées sur les images MEIS II et DEADALUS MSS non classifiées. Ces statistiques ont été réalisées à l'aide de l'outil Ponction spectrale inclus au logiciel DIRIGO. Ce dernier nous permet de prélever un échantillon spectral pour un pixel d'une zone d'entraînement donnée. Cela nous indique les coordonnées du pixel échantillonné ainsi que ses valeurs spectrales dans les

Class name:

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.
	13	18	15.89	0.82
	44	51	46.62	1.53
	30	34	31.99	0.74

Class name:

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.
	111	149	131.85	8.45
	125	185	145.29	14.10
	67	98	77.98	5.98

Class name:

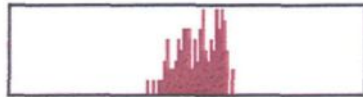


	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.
	98	161	136.67	13.72
	106	255	176.14	33.26
	59	119	86.30	11.80

Figure 9

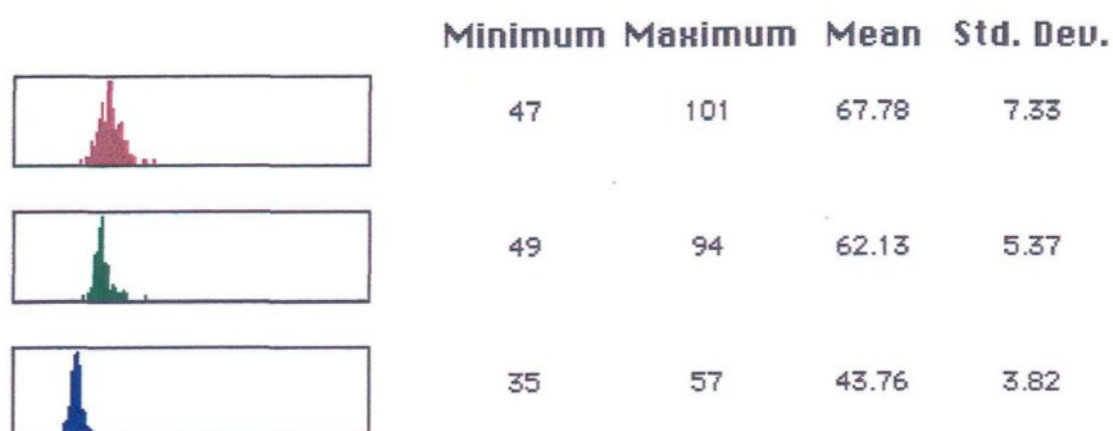
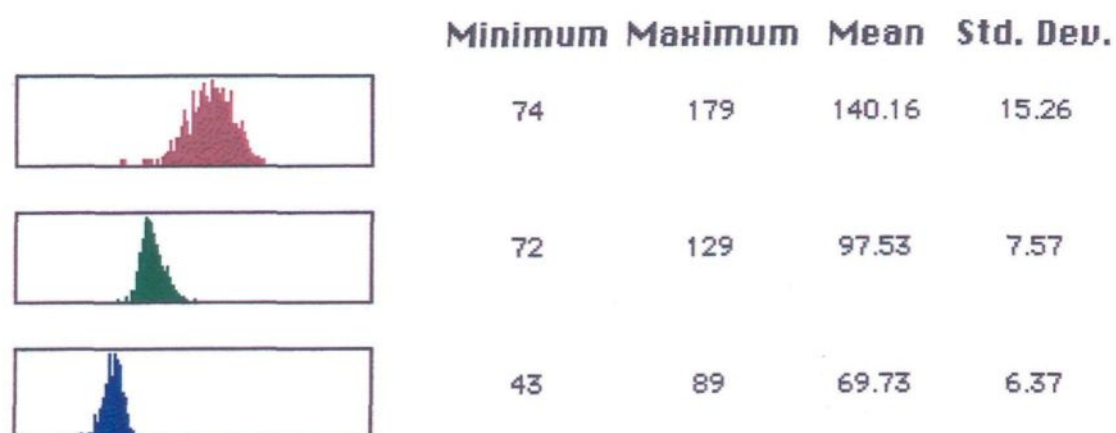
Class name: Class name: Class name: 

Figure 10

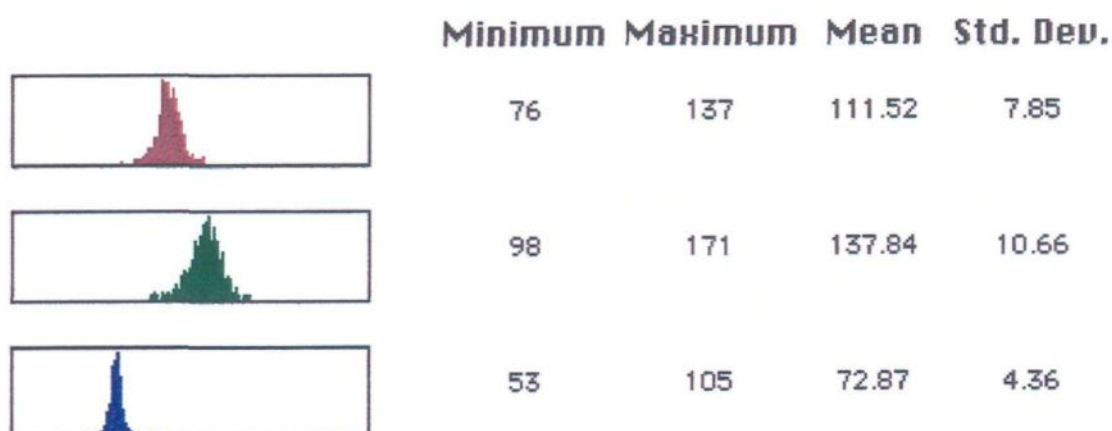
Class name: **ESPACE OUVERT**Class name: **ANTHROPIQUE**

Figure 11

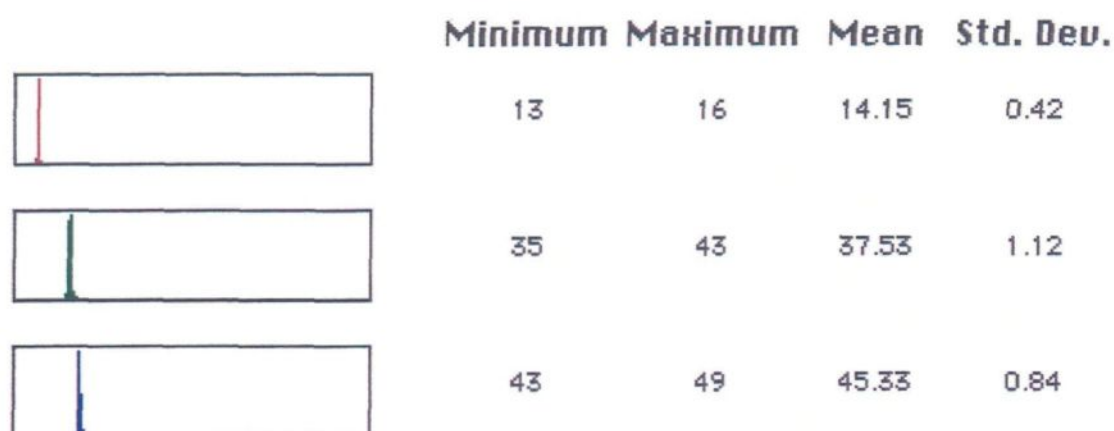
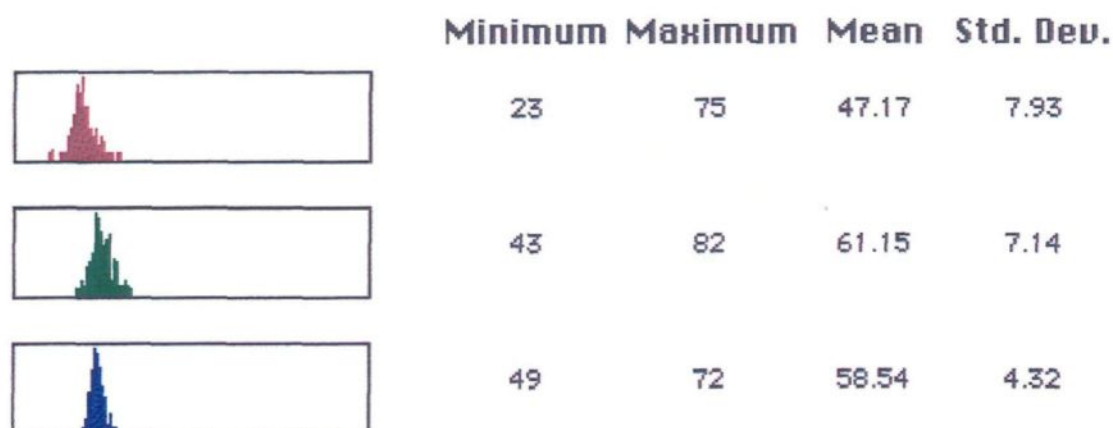
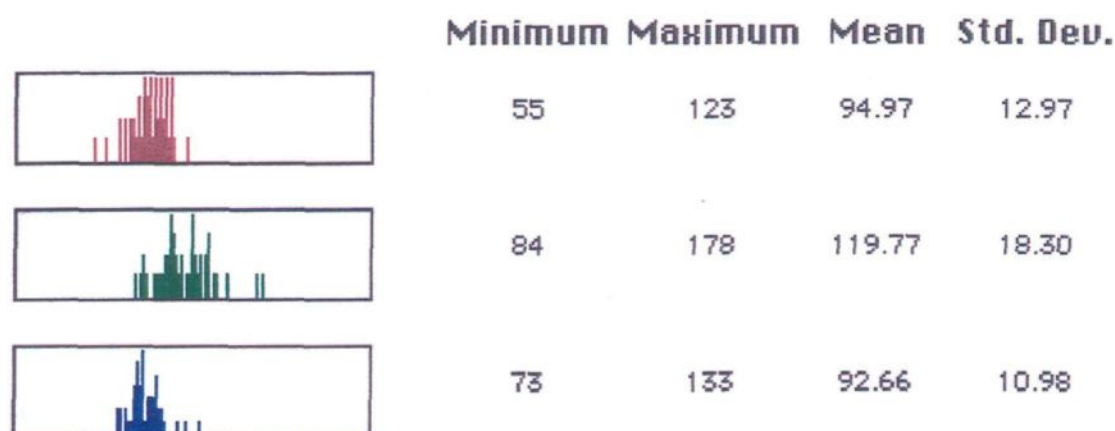
Class name: Class name: Class name: 

Figure 12

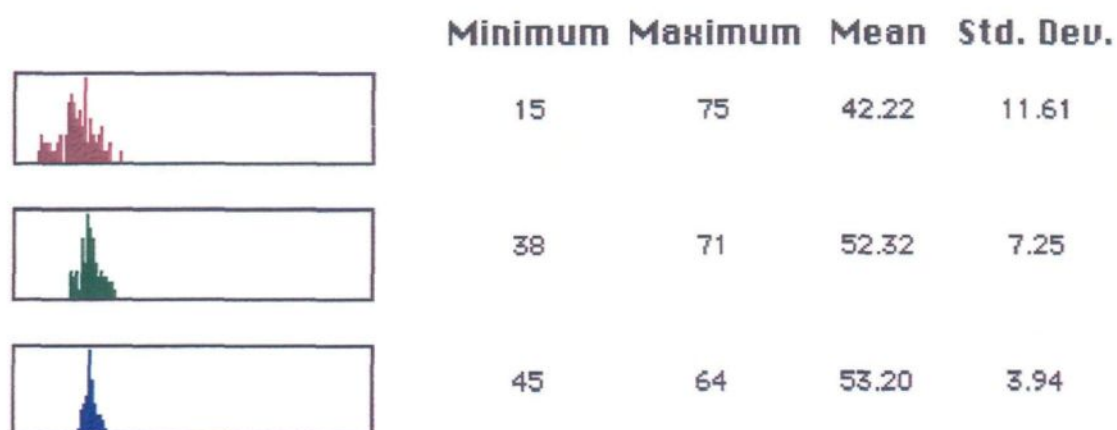
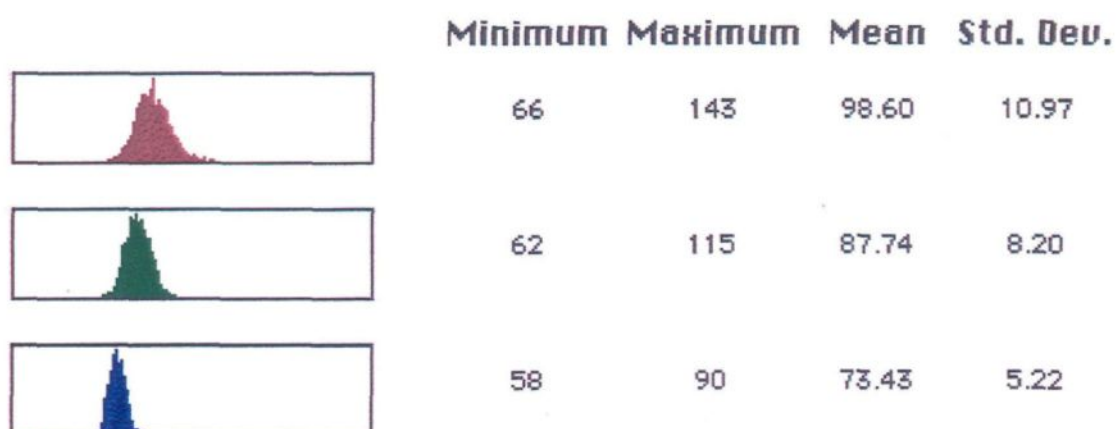
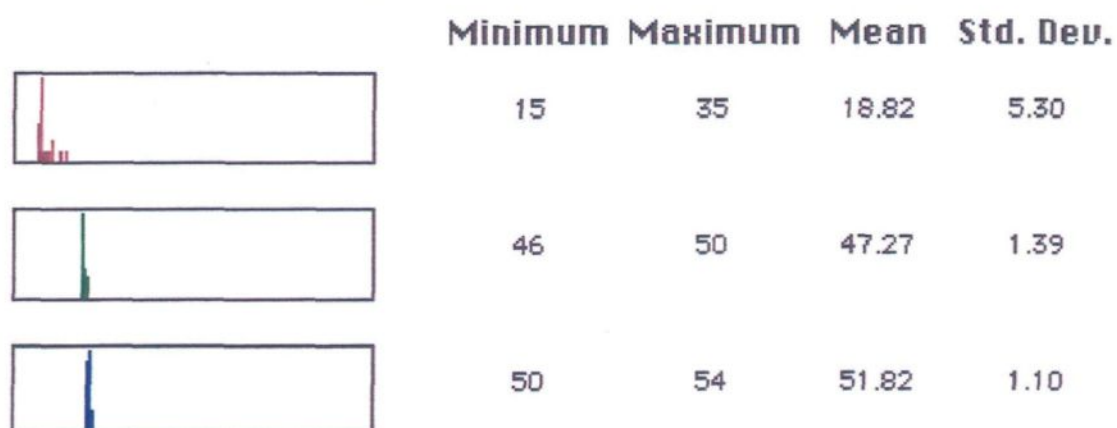
Class name: **PESSIÈRE**Class name: **FEUILLUS**Class name: **VEGET. AQUA.**

Figure 13

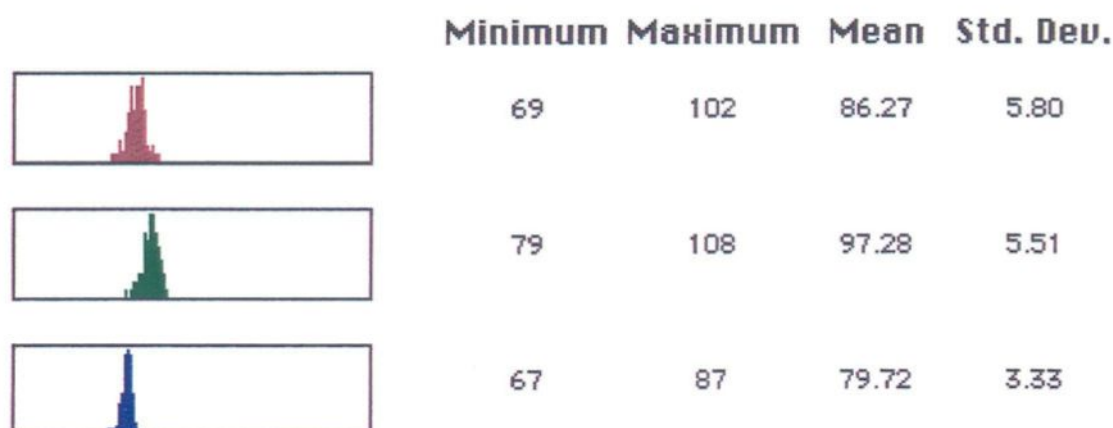
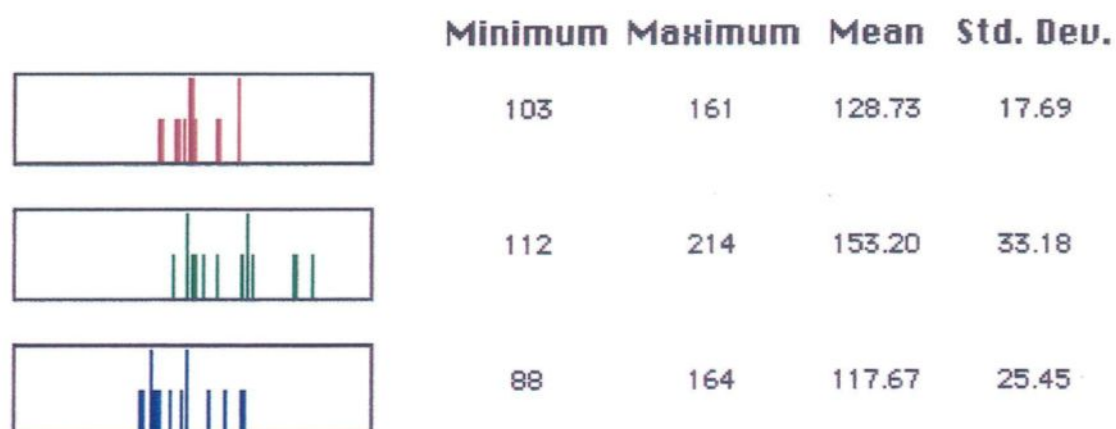
Class name: **ESPACE OUVERT**Class name: **ANTHROPIQUE**

Figure 14

bandes rouge, verte et bleue. L'étalement de son histogramme est également obtenu. L'outil ponction spectrale nous permettra d'établir une relation entre l'établissement des zones d'entraînement, l'analyse des images finales MEIS II et DAEDALUS MSS produites en fin de traitement numérique.

2.7 d Lissage final par filtre modal

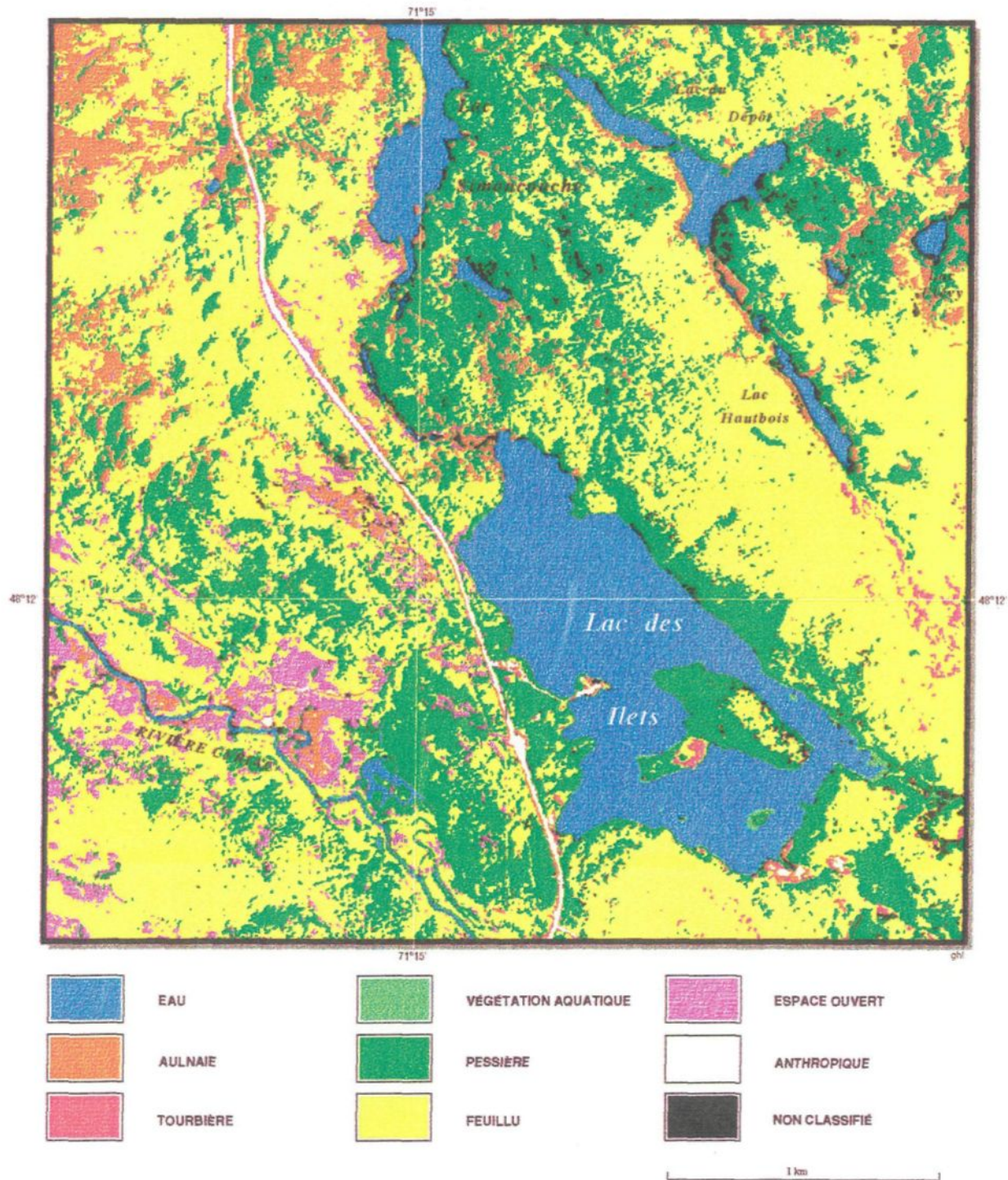
Le lissage final par filtre modal est le dernier traitement appliqué aux images finales MEIS II et DAEDALUS MSS. Ce traitement nous a permis d'obtenir des images plus conformes versus des différents documents cartographiques existants.

Sur le plan fonctionnement, le filtre mode prend le pixel central dans une fenêtre de 24 pixels et classifie la fréquence de chacune des valeurs de gris. La valeur de gris qui apparaît le plus souvent est placée dans le pixel central. Les résultats visuels obtenus à la fin de ce processus de classification sont présentés via les cartes 4 et 5.

2.8 Analyse des histogrammes

L'analyse des histogrammes ou seuillage de l'histogramme des trois bandes composant les images MEIS II et DAEDALUS MSS est une technique qui nous permet de faire le lien entre les différents niveaux de réflectance théoriques observés à l'intérieur des polygones des zones d'entraînement et ceux obtenus sur les images classifiées finales. On obtient aussi un autre lien de concordance entre les points de contrôle des zones d'entraînement et les différents relevés au sol ou quadrats vérité-terrain.

PEUPLEMENTS FORESTIERS Station Simoncouche, UQAC



Classification numérique réalisée à l'aide des bandes 4 (jaune), 5 (rouge) et 7 (proche infrarouge) du capteur MEIS par traitement d'images DIRIGO. Un algorithme de distance minimale associé à deux (2) écarts-type et un filtre modal furent appliqués à la cartographie.

SOURCE: IMAGE MEIS, SECTEUR DU LAC SIMONCOUCHE, 8 JUIN 1985, LABORATOIRE DE TÉLÉDETECTION, UQAC.

Ce document est tiré de la thèse intitulée "LA TÉLÉDETECTION MULTIBANDE AÉROPORTÉE APPLIQUÉE À LA CLASSIFICATION FORESTIÈRE DE LA STATION SIMONCOUCHE" de Ruel Jodry, M.Sc., UQAC, 1993.



L'analyse de ces trois niveaux de données nous permet ainsi d'obtenir un degré de validation des résultats obtenus en fin du processus de classification numérique.

Les différents histogrammes sont obtenus simultanément lors de la transcription automatique des résultats de la classification numérique. Chacun des histogrammes fut alors agrandi à une échelle adéquate et soumis à la technique cartographique via le logiciel CANVAS. Les figures 15 à 20 nous présentent les différents histogrammes pour l'imagerie MEIS II et DAEDALUS MSS.

2.9 Cartographie des images finales

À la fin du processus de traitement numérique automatisé des images brutes aéroportées tel que précédemment décrit, nous obtenons une imagerie classifiée finale accentuée. Afin de rendre l'interprétation possible, ces images doivent maintenant être habillées pour en faire de véritables produits cartographiques avec légende, cadrage, textes descriptifs, symboles et éléments graphiques divers. Le traitement cartographique des images numériques finales a été réalisé à l'aide du logiciel CANVAS sur ordinateur Macintosh LCII.

Cependant, comme peu d'utilisateurs disposent encore actuellement des outils d'exploitation qui permettent d'utiliser ces images finales directement sur support numérique, les images finales MEIS II et DAEDALUS MSS ont été reproduites sous format de carte lithographiée sur papier. Ainsi, les cartes 4 et 5 représentent la version finale des résultats obtenus via une classification

numérique appliquée à l'imagerie aéroportée MEIS II et DAEDALUS MSS pour le secteur Simoncouche.

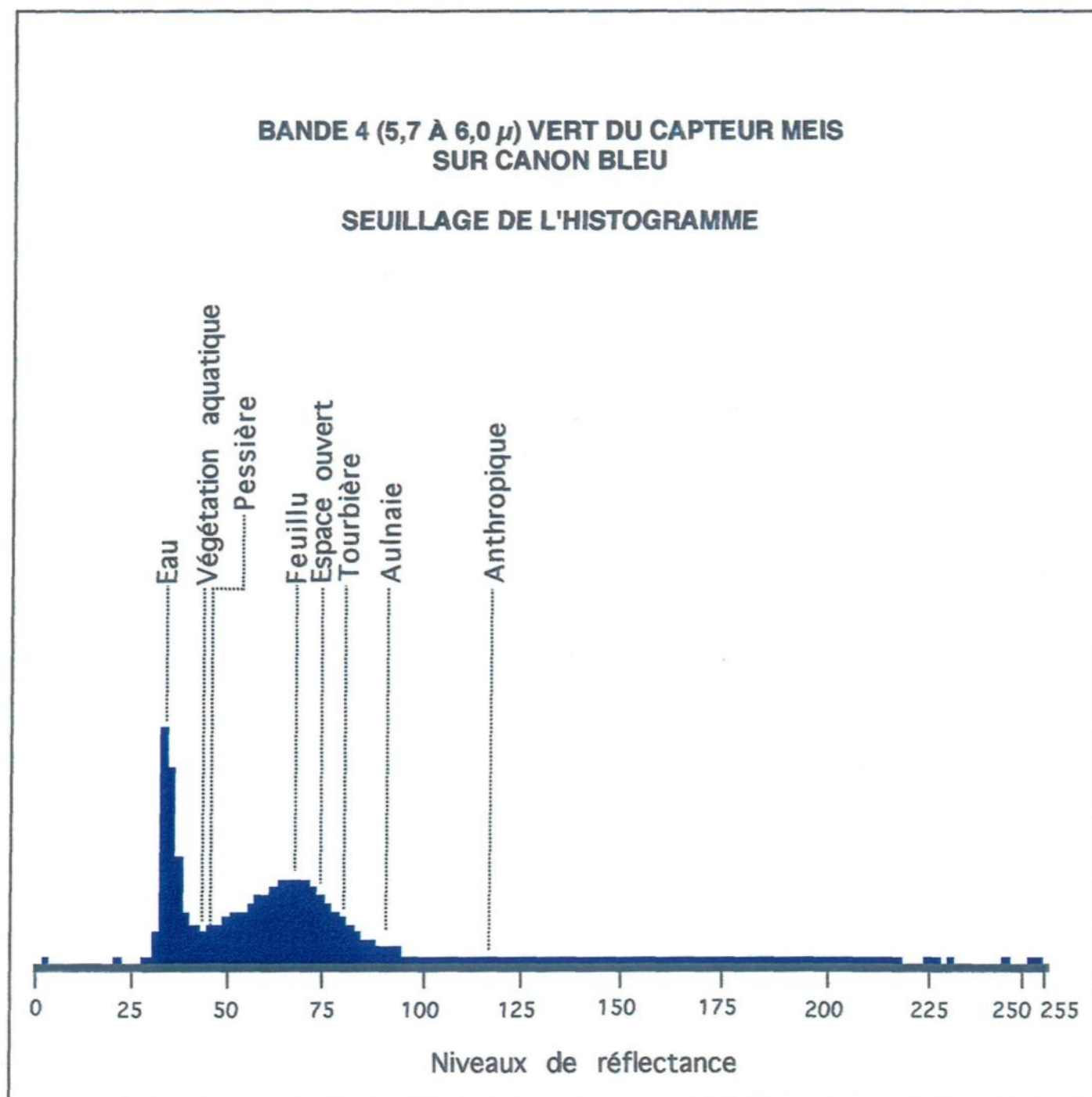


Figure 15

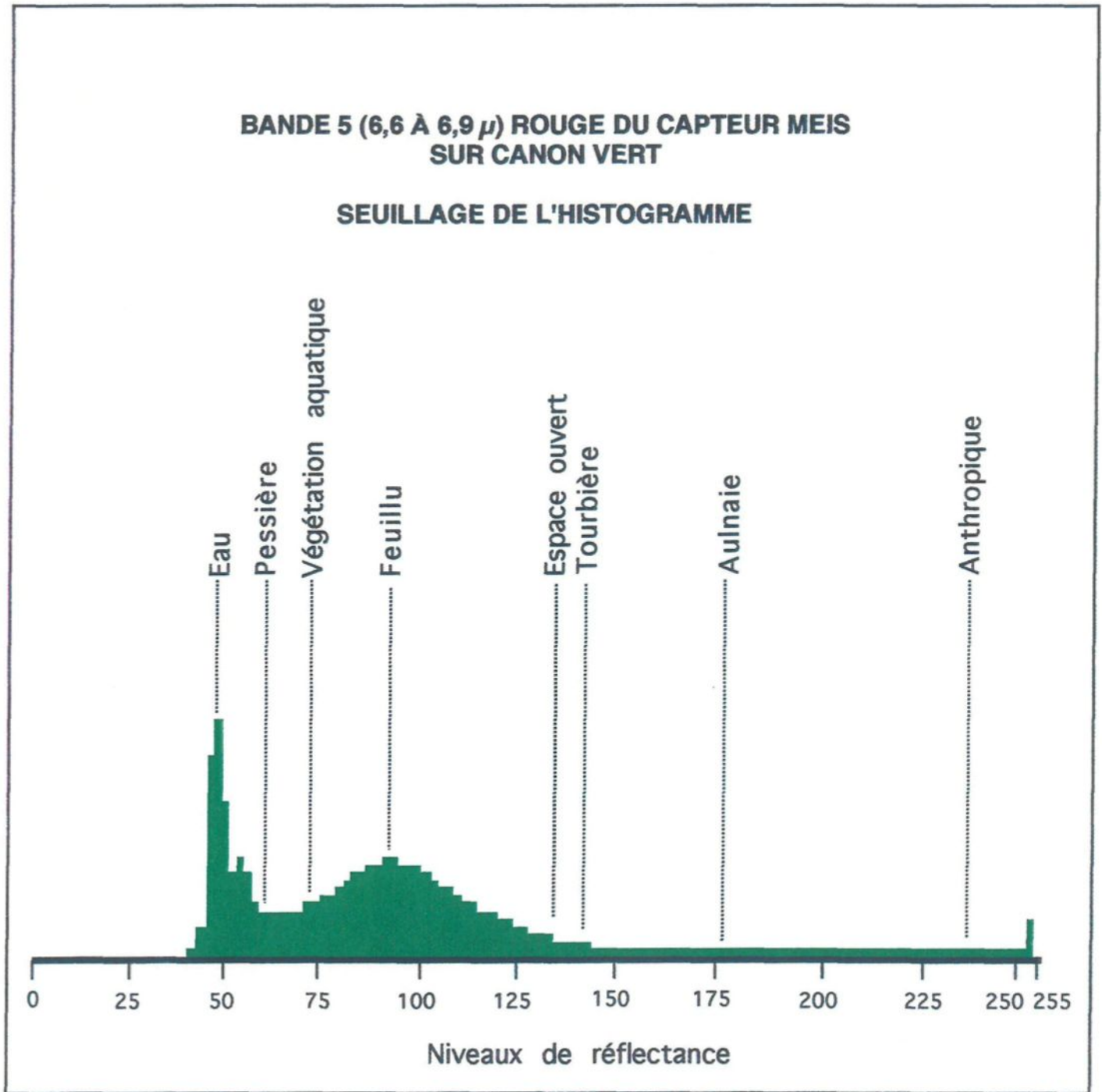


Figure 16

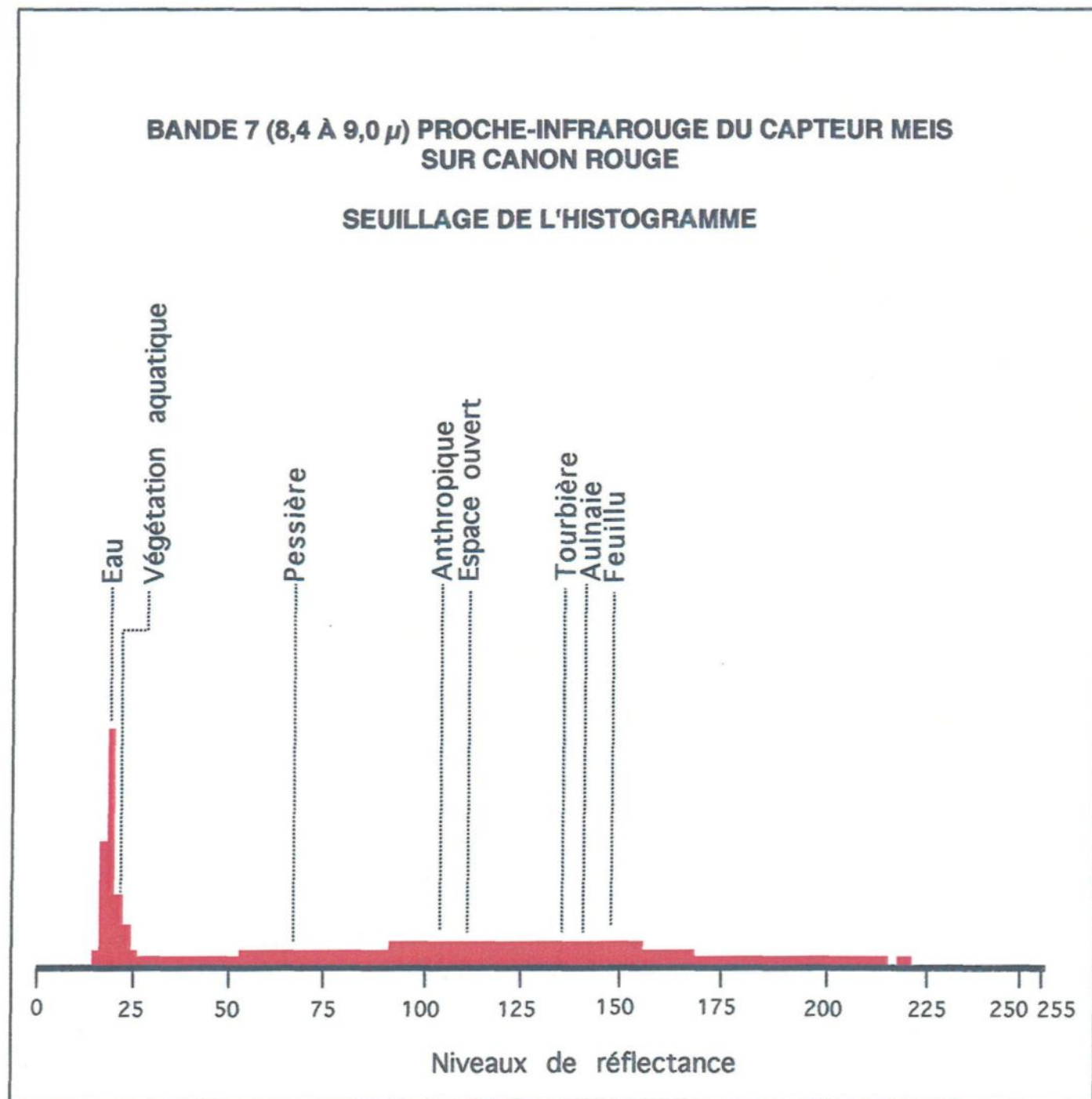


Figure 17

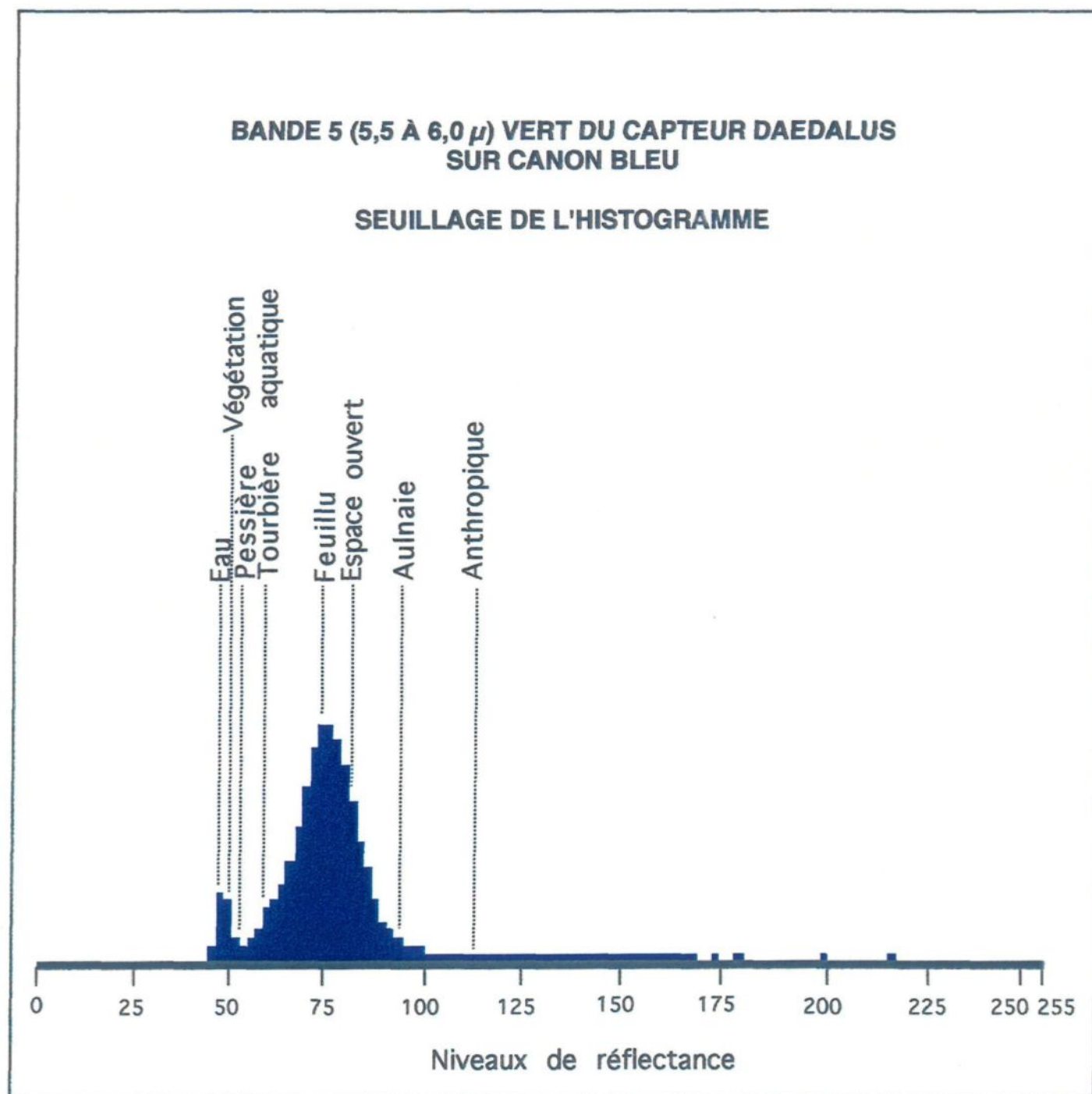


Figure 18

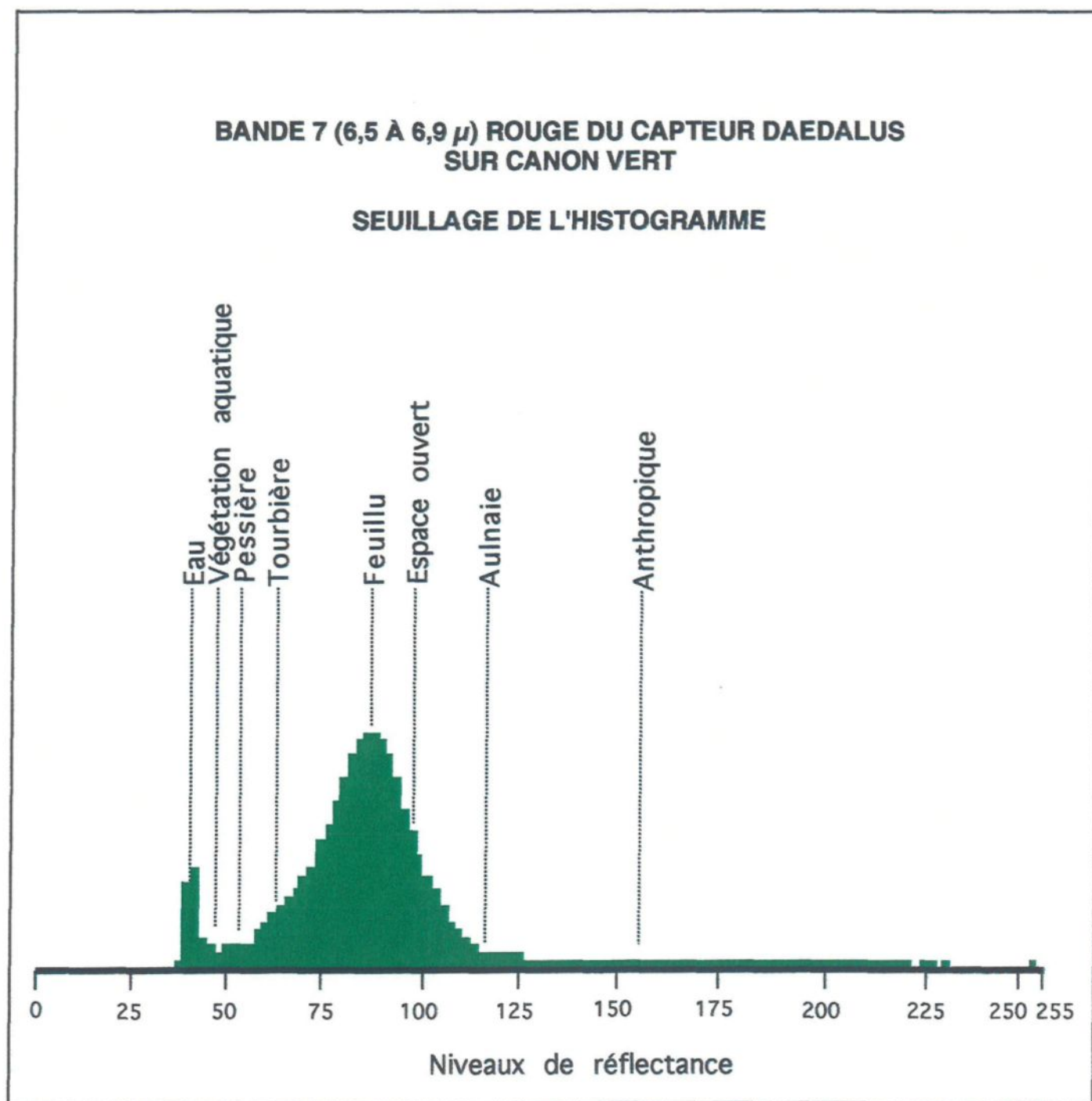


Figure 19

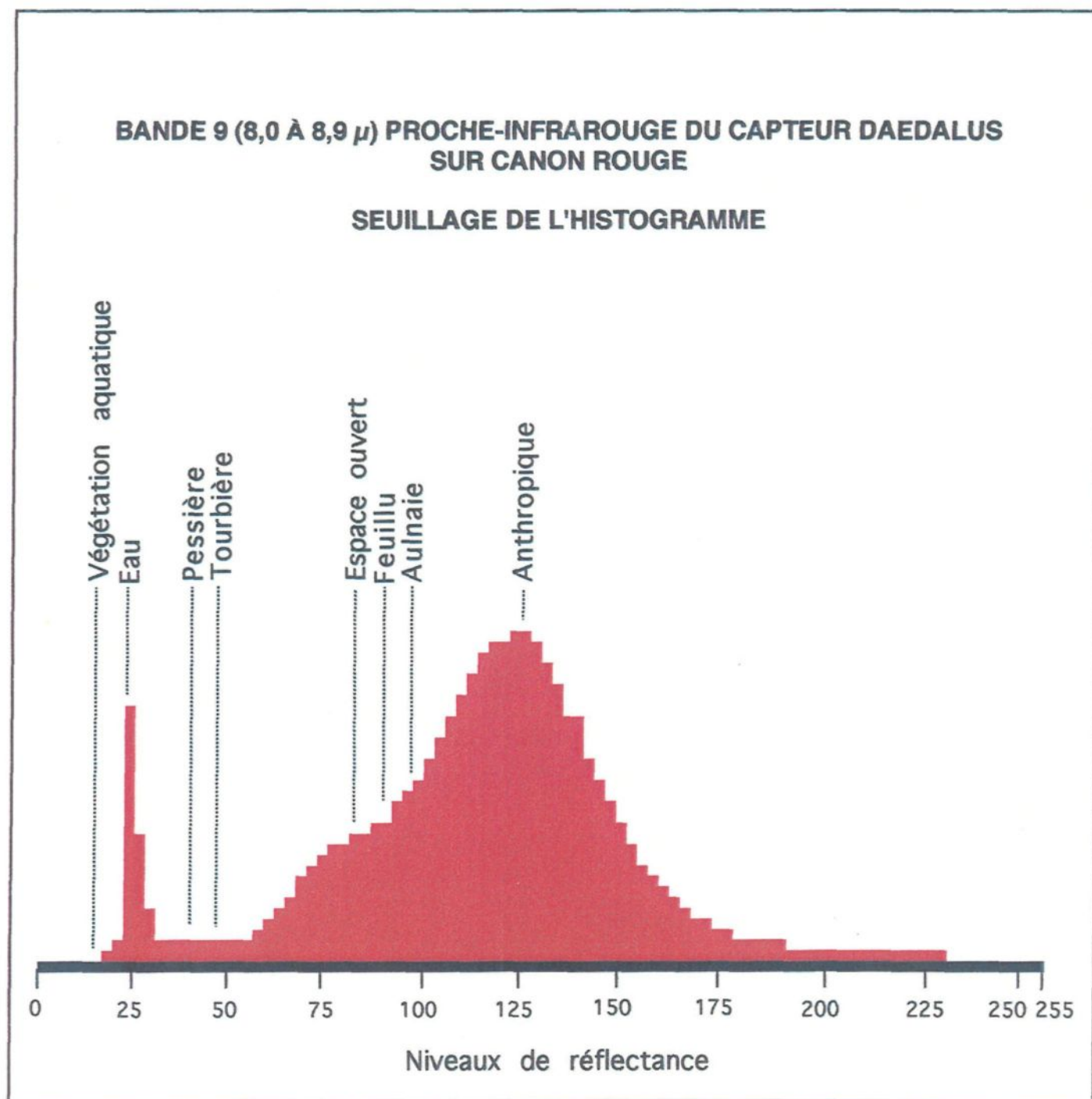


Figure 20

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Présentation des résultats obtenus avec les capteurs MEIS II et DAEDALUS MSS

Partant de ces informations, il nous est alors possible de réaliser une validation des différentes signatures spectrales en utilisant les statistiques des zones d'entraînement (figures 9 à 14) et les résultats obtenus de réflectance via le seuillage des histogrammes (figures 15 à 20). Ainsi, à titre d'exemple, la signature spectrale moyenne de l'eau des zones d'entraînement s'établit comme suit:

Canon cathodique	MEIS/image/canal		DAEDALUS/canal	
bleu	31,99	4	45,33	5
vert	46,62	5	37,53	7
rouge	15,89	7	14,15	9

La signature moyenne de l'eau obtenue aux images finales via le seuillage des histogrammes est la suivante:

Canon cathodique	MEIS/image canal		DAEDALUS/canal	
bleu	33	4	47	5
vert	50	5	40	7
rouge	20	7	25	9

Théoriquement, chaque objet au sol ou type de végétation, selon ses caractéristiques propres (pourcentage de chlorophylle, structure, densité, étalement, etc), possède sa signature spectrale spécifique.

De plus, une signature spectrale est formée de la conjonction statistique des trois niveaux de gris, de l'objet dans les trois longueurs d'ondes ou bandes respectives (bleu, vert et rouge). Sachant qu'un niveau ou canal se compose de 256 tons de gris différents, l'imagerie résultante contient donc plus de seize millions de couleurs soit: $(256 \times 256 \times 256) = 16\,777\,216$ couleurs différentes.

Avec un tel nombre de couleurs différentes, il est plus qu'évident qu'il nous a fallu réaliser, à partir de l'imagerie brute de 16 millions de couleurs, un document où l'image finale est composée d'au plus 9 couleurs différentes et cela pour permettre une classification simplifiée.

Ainsi, l'image finale MEIS II nous donne une représentation graphique du territoire en 9 classes facilement différenciables l'une par rapport à l'autre selon une résolution de 4,4 mètres au niveau de chaque pixel. Pour sa part, l'imagerie finale DAEDALUS MSS nous donne aussi une représentation graphique du même territoire en 9 classes de couleurs différentes, mais selon une résolution de 12 mètres au niveau du pixel.

Ce nouvel arrangement des couleurs nous permet dorénavant de réaliser des interprétations intelligentes relatives aux différents éléments naturels du paysage forestier.

Ainsi, l'image DAEDALUS MSS nous permet d'avoir une plus grande vision

d'ensemble de la ressource forestière et cela au détriment d'une finesse moindre concernant l'identification des différents peuplements forestiers, tandis que l'image MEIS II nous montre un espace plus restreint de l'aire d'étude mais la précision du document y gagne beaucoup au niveau de l'identification des peuplements forestiers.

3.1.1 La différenciation interspécifique des résineux

Toutefois, malgré ces différences marquées entre ces deux types d'image, la différenciation interspécifique d'un même type de peuplement demeure encore non réalisable. À cet effet, la différenciation entre un peuplement composé d'épinette noire et d'épinette blanche est encore impossible à circonscrire avec les niveaux de résolution susmentionnés. Cela s'avère d'autant plus impossible à réaliser lorsqu'il s'agit d'un peuplement résineux d'épinettes noires parsemé d'épinettes blanches ou de pins blancs. La reconnaissance des résineux est toutefois très nette par rapport aux autres essences forestières ou milieux forestiers tels les aulnaies, les tourbières, les espaces ouverts, etc.

3.1.2 La différenciation interspécifique des feuillus

La même problématique relative à la différenciation interspécifique des essences feuillues s'observe. Les résultats obtenus avec les images finales MEIS II et DAEDALUS MSS ne nous permettent pas de différencier le bouleau blanc ou jaune de celui du peuplier faux-tremble. Par contre, la reconnaissance des peuplements feuillus composés de bouleau et de tremble est très précise et se différencie facilement des aulnaies et des tourbières, milieux très voisins en terme

de réflectance spectrale (figures 15 à 20).

La méthodologie de la classification numérique automatisée nous permet d'afficher les résultats obtenus avec cette dernière. Les tableaux 5 et 6 nous présentent les statistiques compilées des aires classifiées des images finales MEIS II et DAEDALUS MSS. L'annexe 3 nous donne les statistiques des aires classifiées secteur par secteur pour les images MEIS II et DAEDALUS MSS.

3.1.3 Planimétrie numérique

Le fait d'obtenir automatiquement de telles statistiques confère à la présente méthode d'analyse numérique de l'imagerie aéroportée un net avantage sur les méthodes d'inventaire traditionnelles. Le seul fait d'obtenir automatiquement la superficie des différents peuplements ou autres entités forestières constitue un atout largement appréciable. En effet, avec les autres méthodes d'inventaire il faut s'astreindre à une planimétrie rigoureuse, longue et coûteuse qui couvre chacun des peuplements et autres espaces qui composent l'ensemble du territoire faisant l'objet d'un inventaire. Dans ce cas-ci, l'étape de la planimétrie est tout simplement non requise.

Par rapport aux difficultés rencontrées pour recenser les très vastes superficies boisées et mesurer l'importance économique des forêts, la méthode d'inventaire utilisant la photo interprétation s'est jusqu'à présent imposée comme étant la meilleure façon de réaliser les inventaires forestiers ou autres (Gagnon, H., 1974).

Un des apports essentiels de la méthode de classification numérique

réalisée à l'aide de l'imagerie MEIS II et DAEDALUS MSS est justement de permettre le calcul du volume de bois à l'hectare. L'établissement au préalable d'une campagne de relevés au sol permet d'établir des corrélations étroites entre la hauteur, le diamètre et la densité (surface terrière) des peuplements.

Ces corrélations sont intimement liées à chacune des différentes zones d'entraînement déjà décrites. Connaissant les différents types de peuplements associés à ces corrélations vérité-terrain, et ayant en main les statistiques des aires classifiées, il est alors possible d'évaluer le volume de bois disponible à l'hectare.

3.1.4 Validation et différenciation des superficies

Par ailleurs, les résultats statistiques compilés des aires classifiées MEIS II et DAEDALUS MSS sont difficilement confrontables pour en dégager une bonne validation. Afin de pouvoir effectuer une telle comparaison en regard de la justesse des superficies occupées par chaque type de peuplement, il aurait fallu utiliser un "masque" numérique ayant les mêmes limites correspondantes à celles de la station Simoncouche telles que présentées sur la carte 3.

Toutefois, en regardant le pourcentage de superficie occupé par chacun des types de classes d'occupation de l'espace, il est possible de dégager certaines interrelations entre les deux types d'images analysées MEIS II et DAEDALUS MSS.

Le pourcentage de pixels non classifiés avec les deux images est relativement le même avec respectivement 2,7 et 3,5 (tableaux 5 et 6). Il est important

de préciser, ici, que tout au long du processus d'analyse numérique le nombre maximal de pixel non classifié acceptable ne devait en aucun temps être égal ou supérieur à cinq pourcent de la superficie totale de l'espace forestier.

Concernant les superficies en eau nous obtenons successivement 2 et 4 pourcent. Cette différence est reliée au fait que les deux images couvrent des territoires inégaux en superficie. Toute proportion gardée, l'on observe beaucoup plus d'eau sur l'image MEIS II que sur l'image DAEDALUS MSS.

Pour la végétation aquatique, les résultats sont similaires avec 0,2 et 0,5 pourcent. Les tourbières, pour leur part, sont représentées avec respectivement une superficie de 0,6 et 1,1 pourcent. Concernant les espaces en aulnaies, nous obtenons des superficies de 7,3 et 17,3 pourcent. Ici, encore, cette différence est reliée à la notion d'échelle différente. Relativement aux pessières² et aux feuillus, nous notons également une bonne différence quant aux pourcentages des superficies occupées. Ainsi, les pessières occupent respectivement des superficies de 26,5 et 37,1 pourcent tandis que les feuillus sont représentés avec des occupations de 46,3 et 28,4 pourcent.

Relativement aux espaces ouverts on retrouve des taux d'occupation de 4,3 et 6,7 pourcent. Pour sa part, la classe d'occupation anthropique est représentée avec un taux identique de 0,6 pourcent de la superficie totale.

Il ressort de la comparaison des statistiques compilées des aires classifiées

²Le terme "pessière" désigne un peuplement de résineux composé d'épinettes noires et d'épinettes blanches dans le cadre de la présente étude.

MEIS II et DAEDALUS MSS, une relative similitude concernant les pourcentages d'occupation de chacune des entités qui compose le paysage forestier ici à l'étude.

Les différences observées au niveau de certains types d'occupation de l'espace forestier (eau, résineux, feuillus, etc), sont principalement reliées à l'utilisation de deux territoires différents pour chacune des deux images. Le fait que les images présentent deux niveaux de résolution différents (4,4 et 12 m) semble cependant avoir une certaine influence sur la reconnaissance des aires classifiées.

Quant à l'occupation de l'espace forestier, les résultats obtenus avec l'image MEIS II sont somme toute comparables à ceux obtenus avec l'image DAEDALUS MSS. Afin d'être absolument certain de notre énoncé, il aurait fallu effectuer la classification numérique sur la même surface de territoire couverte avec l'image DAEDALUS MSS que celle couverte avec l'image MEIS II.

À cet effet, les tableaux 7 et 8 nous présentent les matrices de confusion des aires classifiées des images finales MEIS II et DAEDALUS MSS. En consultant ces matrices, il nous est possible de voir combien de pixels ont été classifiés dans chacun des thèmes ainsi que les confusions produites entre les différents thèmes ou classes d'occupation du sol forestier.

3.1.5 La confusion des aires de l'image MEIS II

Comme le processus de classification numérique fut réalisé secteur par secteur pour être ensuite combiné, il nous faut également analyser les degrés de confusion des aires classifiées secteur par secteur.

- Secteurs sud-ouest et sud-est

L'image finale MEIS II est divisée en quatre secteurs en fonction des points cardinaux (tableau 7). Selon le type d'information contenu dans la matrice de l'image MEIS II, les secteurs sud-ouest et sud-est présentent très peu de confusion interpixel appartenant aux diverses classes.

En effet, le fait de retrouver les résultats de non confusion presque entièrement regroupés près ou sur la diagonale descendante nous indique une classification réussie et exacte pour ces portions de territoires (Langlois, L, 1992).

Les classes valides sont celles pour qui l'évaluation de leurs paramètres statistiques indique que les classes ne se superposent pas l'une sur l'autre et, selon Campeau, (1994) lorsque cela s'observe, les résultats obtenus de la classification sont d'une haute précision.

- Secteur nord-ouest

Par ailleurs, le secteur nord-ouest présente certaines confusions notamment entre l'aulnaie et la pessière (résineux) avec une valeur de 134 ainsi qu'entre les espaces ouverts avec un indice de 125. On note également une certaine confusion entre les feuillus et ces mêmes espaces ouverts. Cependant, malgré ces quelques confusions, le secteur nord-ouest de l'image finale MEIS II demeure très satisfaisant quant à la précision thématique.

- Secteur nord-est

Par contre, les résultats obtenus avec le secteur nord-est de l'image MEIS II sont inférieurs à ceux obtenus avec les autres secteurs de cette même image.

En effet, nous observons plusieurs confusions entre la pessière et l'aulnaie avec un indice de 280, et 395 ainsi qu'entre les feuillus et la pessière avec un nombre de 1 093 pixels impliqués dans la confusion. Il s'agit principalement des pixels de frontière entre les différentes classes.

Toutefois, malgré un taux de confusion plus substantiel, observé par rapport aux autres secteurs de l'image, la qualité de la classification demeure relativement précise. En effet, lors du procédé où la signature spectrale de chaque pixel est comparée aux autres signatures spectrales des échantillons de classes précédemment sélectionnés dans l'établissement des zones d'entraînement, nous avons établi un seuil de confusion acceptable qui doit se situer en deçà de cinq pourcent de l'ensemble total de pixels contenus dans l'image analysée. Les résultats présentés, ici, respectent tous cette prémisse.

Dans son ensemble, l'image finale MEIS II ainsi obtenue se différencie des autres documents conventionnels de par sa fiabilité au niveau de la reconnaissance des différentes entités composant le paysage forestier et principalement au niveau de la précision cartographique. Car, contrairement à la technique conventionnelle qui emploie la généralisation, la méthode de classification numérique ici employée permet une cartographie de chacun des pixels qui ont été analysés. En somme, avec la classification numérique via l'imagerie aéroportée MEIS II, nous obtenons ici un document cartographique jusqu'à présent inégalé au niveau de la précision.

3.1.6 La confusion des aires de l'image DAEDALUS MSS

Le tableau 8 nous présente la matrice de confusion des aires classifiées de l'image finale obtenue avec le capteur DAEDALUS MSS. Cette dernière image est divisée en deux secteurs soit le secteur sud et le secteur nord. À la lumière des résultats obtenus nous constatons qu'il y a très peu de confusion interpixels au niveau de l'ensemble de l'image finale. À part quelques cas de confusion, les résultats globaux de la reconnaissance numérique des entités naturelles ou autres sont concentrés sur ou près de la diagonale.

- Secteur sud

En effet, pour le secteur sud nous observons quand même une certaine confusion entre la reconnaissance des peuplements de feuillus et ceux de pessière (ou résineux) et quelque peu entre les feuillus et les espaces ouverts et les tourbières avec des indices respectifs de 724, 1 008,352 et 498; les autres indices étant peu significatifs (tableau 8).

- Secteur nord

Pour sa part, le secteur nord nous présente un seul cas de confusion digne de mention soit celui observé entre les espaces ouverts et les aulnaies avec un taux de 537.

En somme, les résultats obtenus avec la classification par "distance minimale" semblent très concluants concernant la précision graphique ainsi qu'au niveau de la finesse en terme de la reconnaissance des grands types de peuple-

ments ou autres entités d'un territoire forestier. Tel qu'il est indiqué précédemment, ceci est dû à la facilité de localiser les classes et de sélectionner des échantillons représentatifs tel que ce fut fait lors de l'étape de la réalisation des zones d'entraînement.

Suite à plusieurs essais effectués en laboratoire, en utilisant des versions quelque peu différentes dans la sélection des échantillons représentatifs (zones d'entraînement), les résultats ainsi obtenus étaient relativement peu différents de ceux présentés dans ce travail. L'expérience a démontré que la détermination d'un nombre valide de classe et de leurs échantillons respectifs peut être réalisée avec un processus de 5 à 10 essais en laboratoire. En d'autres mots, si nous modifions légèrement la position relative des pixels des zones d'entraînement ceci n'aurait pratiquement aucun impact sur les résultats de la classification.

3.1.7 La classification des pixels de frontière

Comme les différentes confusions observées se concentrent principalement dans les pixels de frontière, ces derniers devraient être classifiés différemment des pixels "purs", soit des pixels identifiés à un seul type de couvert ou entité forestière (Campeau, L. 1992). En effet, ceci ne se produit pas avec un système conventionnel tel le "Géoclass". Les pixels de frontière sont différenciés des pixels "purs" et sont classifiés en tant que pixels mélangés pour lesquels les deux classes mélangées, en proportion relative, sont identifiées (Campeau, L. 1992). Cette façon de faire serait sans nul doute une bonne façon de bonifier notre méthode de classification numérique au niveau de la reconnaissance pixel par pixel des

différents éléments d'un territoire donné.

Les résultats statistiques de confusion nous permettent donc de saisir le degré de précision relié à la reconnaissance automatisée des différentes essences forestières. Cependant, qu'en est-il des dits résultats ci-haut discutés?

3.1.8 Le degré de confiance des résultats

La façon la plus simple de vérifier le degré de confiance ou de vérité des résultats est de comparer ces derniers à ceux obtenus lors de la campagne de relevés sur le terrain de la station forestière Simoncouche elle-même. La carte 2 et l'annexe 2 nous présentent la localisation des différents quadrats ainsi que l'ensemble des relevés de végétation et la compilation statistique de ces derniers. Pour sa part, le tableau 4 nous donne un résumé des résultats obtenus lors de cette campagne d'échantillonnage vérité-terrain. Afin de faciliter l'analyse du degré de vérité de l'image finale "MEIS II", la localisation des placettes échantillons fut intégrée par superposition sur cette dernière (carte 2). Donc, un total de 31 placettes échantillons ont été utilisées pour établir la relation entre les données de végétation mesurées au sol et les valeurs numériques enregistrées par les capteurs MEIS II et DAEDALUS MSS.

D'après les résultats obtenus lors de la séance de mesures au sol, il existe une relation directe entre les valeurs numériques de réflectance des peuplements forestiers et les valeurs courantes, mesurées sur le terrain. À cet effet, les quadrats 1, 2, 3, 13 à 19 et 24 à 27 nous indiquent des peuplements plutôt résineux car les essences résineuses occupent plus de 75 pour-cent de la surface

terrière. Les peuplements résineux sont généralement composés des essences telles l'épinette noire, l'épinette blanche et le sapin baumier. Quelques spécimens de pin blanc ont été observés sur le terrain lors de la campagne de relevé au sol. Bien que les quadrats numéros 1 et 3 soient catégorisés comme étant des peuplements mélangés, la connaissance du terrain nous force à classer ces deux parcelles d'échantillon dans la catégorie des peuplement résineux. En effet, il aurait fallu que la localisation de ces quadrats soit légèrement décalée sur le terrain, et les résultats auraient été nettement en faveur d'un peuplement fortement résineux. Les photographies numéros 5a et 5b de l'annexe 1 nous présentent l'aspect visuel des dits peuplements résineux où furent localisés les trois premiers quadrats d'échantillonnage au sol.

Par ailleurs, les quadrats numéros 4 à 12, 20 à 23 et 28 à 31 nous indiquent l'existence de peuplement feuillus, les résineux occupant moins de 25 pour-cent de la surface terrière. Les peuplements feuillus identifiés lors des relevés au sol se composent généralement d'essences comme le bouleau à papier le bouleau jaune, le peuplier faux-tremble, l'érable rouge et le cerisier tardif. En parcourant l'image finale MEIS II, on se rend vite compte que les parcelles résineuses correspondent effectivement à la classe "pessière" composée de plusieurs espèces de résineux tels que reconnus numériquement et cartographiés sur le document final.

On retrouve la même situation de correspondance concernant la localisation des peuplements feuillus "vérité-terrain" et la classe des feuillus identifiés

numériquement via le processus de classification.

Ces résultats nous montrent qu'il y a un bon degré de fiabilité associé au processus de la reconnaissance automatisée appliquée au domaine forestier via l'utilisation de l'imagerie MEIS II aéroportée. Compte tenu des résultats que nous avons également obtenus avec l'imagerie aéroportée DAEDALUS MSS, nous croyons que le degré de fiabilité au niveau de la reconnaissance automatisée des divers éléments structuraux du paysage forestier est fort similaire à celui de l'imagerie MEIS II.

3.2 Comparaison visuelle des images finales MEIS II et DAEDALUS MSS

Il est important de se rappeler que lorsque l'on compare des systèmes de captage aéroporté, il s'agit en fait d'une comparaison du système tout entier soit de l'acquisition des données, de l'analyse des données jusqu'à la cartographie finale. En gardant à l'esprit cette prémisse nous pouvons passer à l'étape de comparaison visuelle des résultats obtenus avec les capteurs MEIS II et DAEDALUS MSS. Les cartes 4 et 5 nous montrent les résultats finaux obtenus via la classification automatisée réalisée avec les capteurs MEIS II et DAEDALUS MSS.

3.2.1 Superficie couverte par les images MEIS II et DAEDALUS MSS

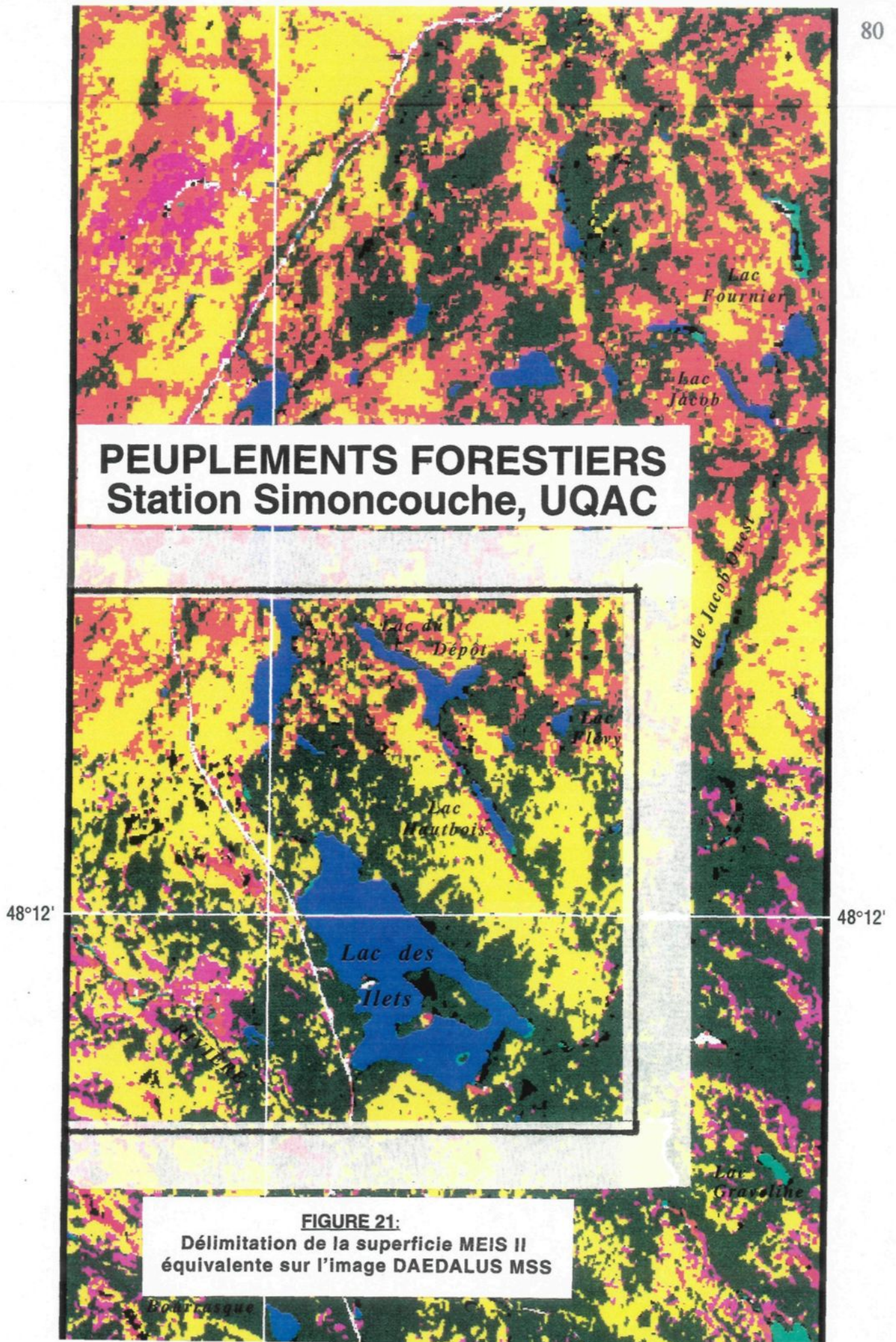
Afin de réaliser adéquatement une bonne comparaison visuelle des deux images finales, il est impératif de ne tenir compte que de la même superficie couverte par les deux documents cartographiques. Il faudrait ainsi concentrer nos points de comparaison dans les secteur limitrophes à la section ouest de la rivière

Cyriac, au lac-des-Îlets et ceux du lac-du-Dépôt incluant les secteurs du lac Hautbois et la partie sur du lac Simoncouche. La figure 21 nous présente la délimitation équivalente de la superficie de territoire ouverte par l'image MEIS II sur l'image DAEDALUS MSS finale. Les résultats ici présentés (cartes 4 et 5) nous indiquent qu'il y a peu de différences entre les capacités du système MEIS II et DAEDALUS MSS relativement à l'identification des essences végétales qui formaient le paysage forestier ici étudié. La différence de conception des deux systèmes a donc peu d'effet sur les résultats de classification. Toutefois, un facteur important dans la différenciation des résultats de classifications réside sûrement dans le fait qu'avec des résolutions de 12 et 4.4 mètres de résolution, les différentes espèces de bois mou (résineux) et de bois dur (feuillus) n'ont pas assez de différences spectrales par rapport à la variance spectrale pour permettre une classification désirée. Cette constatation est valable pour les deux types de capteurs.

3.2.2 Performance générales des systèmes MEIS II et DAEDALUS MSS

La résolution radiométrique supérieure du MEIS II n'est peut-être pas un avantage si important que ça pour la reconnaissance des différentes espèces végétales qui composent aussi bien les peuplements de résineux que les peuplements de feuillus.

Les résultats obtenus avec le MEIS II démontrent une performance à peu près similaire au niveau de la reconnaissance des différentes entités forestières par rapport au système DAEDALUS MSS. Toutefois, la classification utilisée avec



une résolution de 4,4 mètres permet une plus grande précision cartographique au niveau de la délimitation des pixels de frontière entre les différents peuplements. À cette échelle, les détails des objets sont tout simplement plus faciles à percevoir. Par opposition, la discrimination des différentes espèces végétales ou autres entités se réalise de façon plus globale avec un système basé sur une résolution de 12 mètres, d'où une impression de moindre exactitude de l'image finale DAEDALUS MSS comparativement à celle du MEIS II.

Donc, la performance générale de la classification réalisée avec ces deux types de capteurs nous semble très acceptable et cela malgré une discrimination inexistante des espèces interspécifiques résineuses et feuillues. Cependant, l'exactitude de classifications des données du système DAEDALUS MSS est légèrement moins performante que celle du système MEIS II avec un taux respectif de pixels non classifiés de 4,1 et 2,7.

3.2.3 Autres facteurs de différenciation des résultats

Dans la présente étude, d'autres facteurs ont possiblement contribué à cette différenciation en terme d'exactitude dans la classification. Des artifices inhérents aux procédures de pré-traitement et appliqués aux images telles la correction radiométrique, peuvent influencer les capacités de reconnaissance numérique. Il nous est plutôt difficile de détecter et cerner ces dites erreurs et ces dernières sont souvent des causes possibles d'erreurs qui modifient les résultats de classification.

L'acquisition des données est aussi sujette à des facteurs extérieurs d'erreurs tels le faible ensoleillement, une activité photosynthétique réduite, une luminescence variable et ces derniers peuvent modifier la qualité des données de sortie et ainsi influencer dans une bonne mesure la qualité des résultats finaux (Beaubien, J., et D. Pilon, 1990).

L'analyse comparative des images finales MEIS II et DAEDALUS MSS, nous montre, somme toute, que les données ont été traitées de façon très acceptable de façon pour réaliser la reconnaissance des différents types de couverts forestiers et autres éléments du milieu.

Les résultats ici obtenus nous montrent une cartographie particulièrement détaillée des différentes entités qui composent la forêt Simoncouche.

Par ailleurs, nous constatons que la conception des deux capteurs ici expérimentés semble avoir peu d'effets sur les résultats de la classification lors du processus de reconnaissance des différentes espèces végétales via l'utilisation des données à haute résolution (4,4 et 12 m).

De plus, il semble bien que ce soit la résolution spatiale elle-même qui soit la principale responsable des différences observées dans l'exactitude de la classification des données selon que l'on utilise le système MEIS II ou DAEDALUS MSS.

À partir de ces faits, nous croyons que les résultats obtenus via les deux types de capteurs sont très acceptables quant à l'exactitude de la classification et que les documents cartographiques produits sont particulièrement précis et fiables relativement à la reconnaissance des peuplements forestiers.

3.3 Comparaison des résultats obtenus avec la cartographie forestière du ministère des Forêts du Québec

L'analyse comparative entre les résultats obtenus avec les capteurs MEIS II et DAEDALUS MSS, et les documents de cartographie forestière du ministère des Forêts du Québec, nous semble la meilleure façon de valider nos résultats et, ainsi, tenter d'apporter une réponse à cette question.

Afin de faciliter la comparaison entre ces deux types de documents, nous diviserons le travail selon les grandes entités qui composent le territoire forestier ici à l'étude. En premier lieu, les essences résineuses seront considérées. Par la suite, en second lieu, nous traiterons des peuplements feuillus, l'ensemble des autres éléments du paysage forestier seront par la suite passés en revue.

3.3.1 Les peuplements de résineux

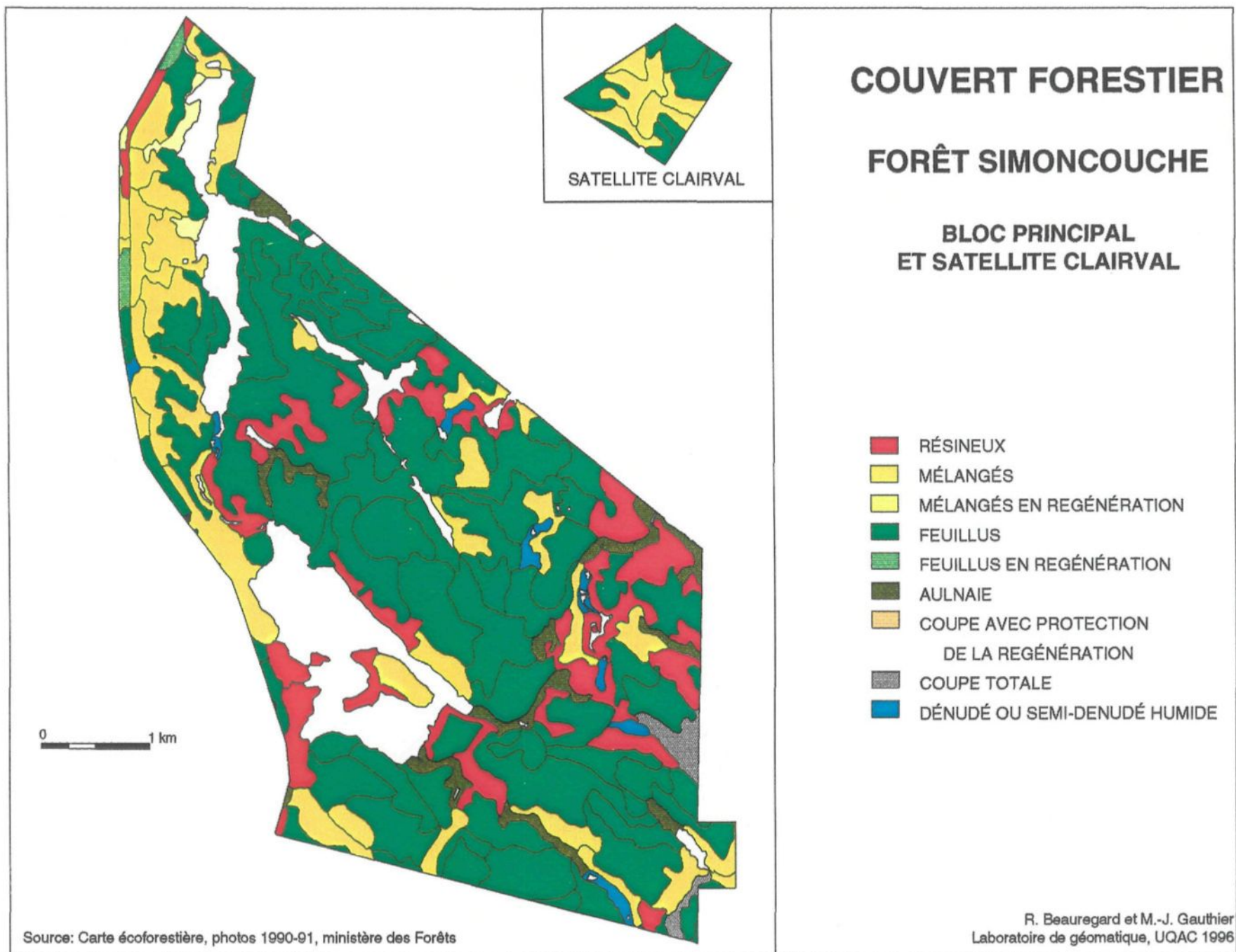
Les essences résineuses forment l'un des trois types de couverts reconnus dans la cartographie écoforestière du MFQ; ce sont les résineux, les mélangés et

les feuillus.

En observant les cartes 6 et 7, nous constatons que les résineux apparaissent sous forme d'entités regroupées principalement à l'est du territoire de la station Simoncouche. Concernant la reconnaissance, les documents du MFQ (cartes 6 et 7) ne permettent pas une différenciation des différentes espèces qui composent un peuplement résineux. La carte 6 provient de l'étude de Girard (1992) et la carte 7 provient du plan d'aménagement de la forêt Simoncouche (en préparation) dont les auteurs sont Majella, J. Gauthier et Julien Peticlerc (1996). Il est important de préciser que ces cartes résultent de deux campagnes différentes de cartographie forestière; la carte 6 provient de l'interprétation de photographies aériennes de 1990-1991 et la carte 7 de photographies aériennes de 1983. Par ailleurs, il n'y a pas eu de modification à la forêt entre ces deux moments sauf que celle-ci a vieilli.

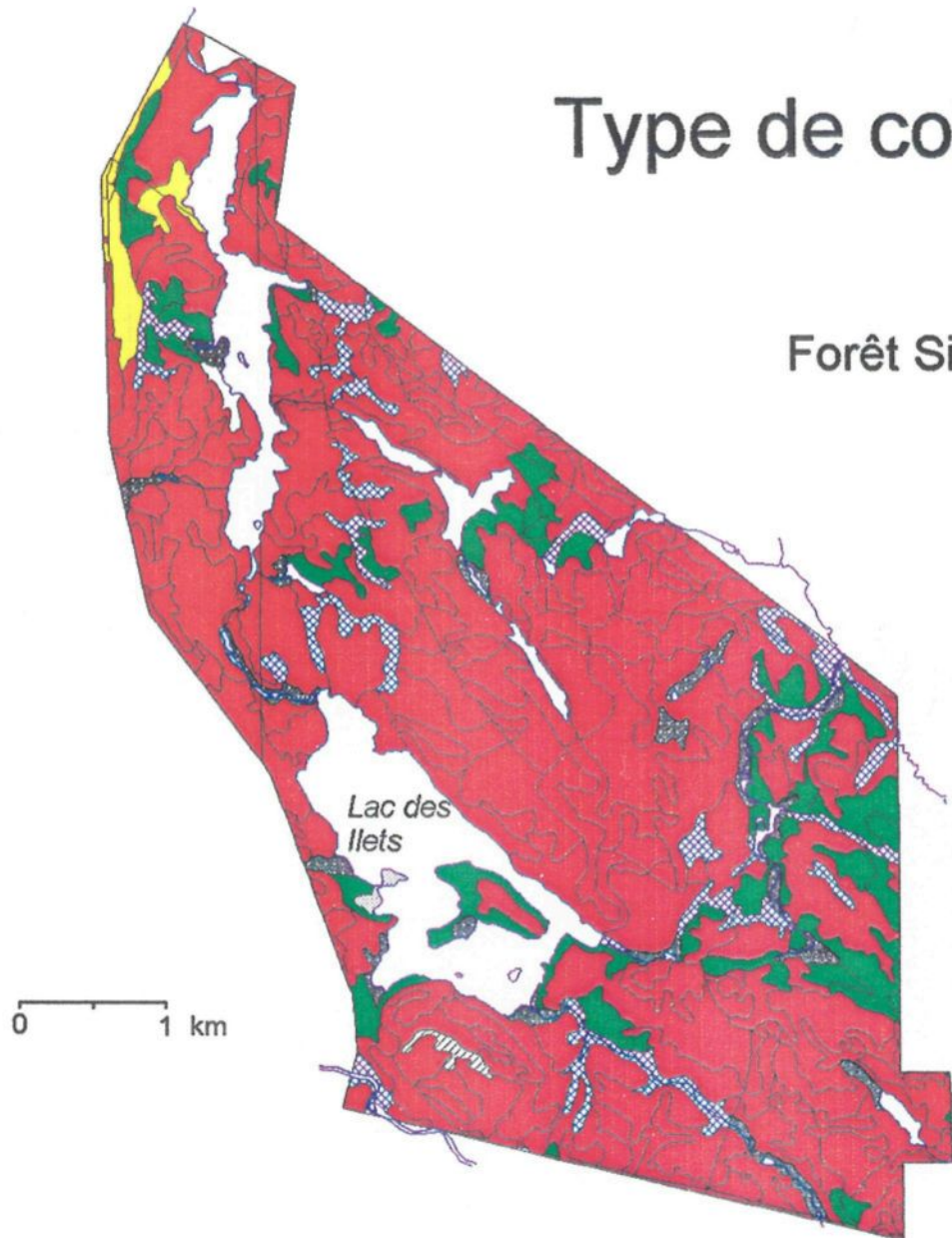
Comme on le sait, un peuplement est classifié comme "résineux" lorsque les essences résineuses occupent plus de 75 pourcent de la surface terrière (MER, 1984).

Par ailleurs, selon que les zones d'entraînement aient été réalisées en tenant compte des relevés au sol en tant que "vérité-terrain", nous constatons que les images produites à partir des capteurs aéroportés (MEIS II et DAEDALUS MSS) nous permettent d'obtenir un niveau d'information qui se rapproche nettement de celui requis pour une cartographie forestière détaillée au 1:20 000 (Matajek, S., 1980).



Type de couvert forestier

Forêt Simoncouche



Type de couvert

■ Résineux	229,85 ha
■ Feuillus	1848,21 ha
■ Mélangés	31,27 ha
■ Aulnaies	127,89 ha
■ Dénudé sec et humide	70,92 ha
■ Espace occupé	3,48 ha
■ Coupe totale	7,45 ha

Source: Ministère des Forêts 1984

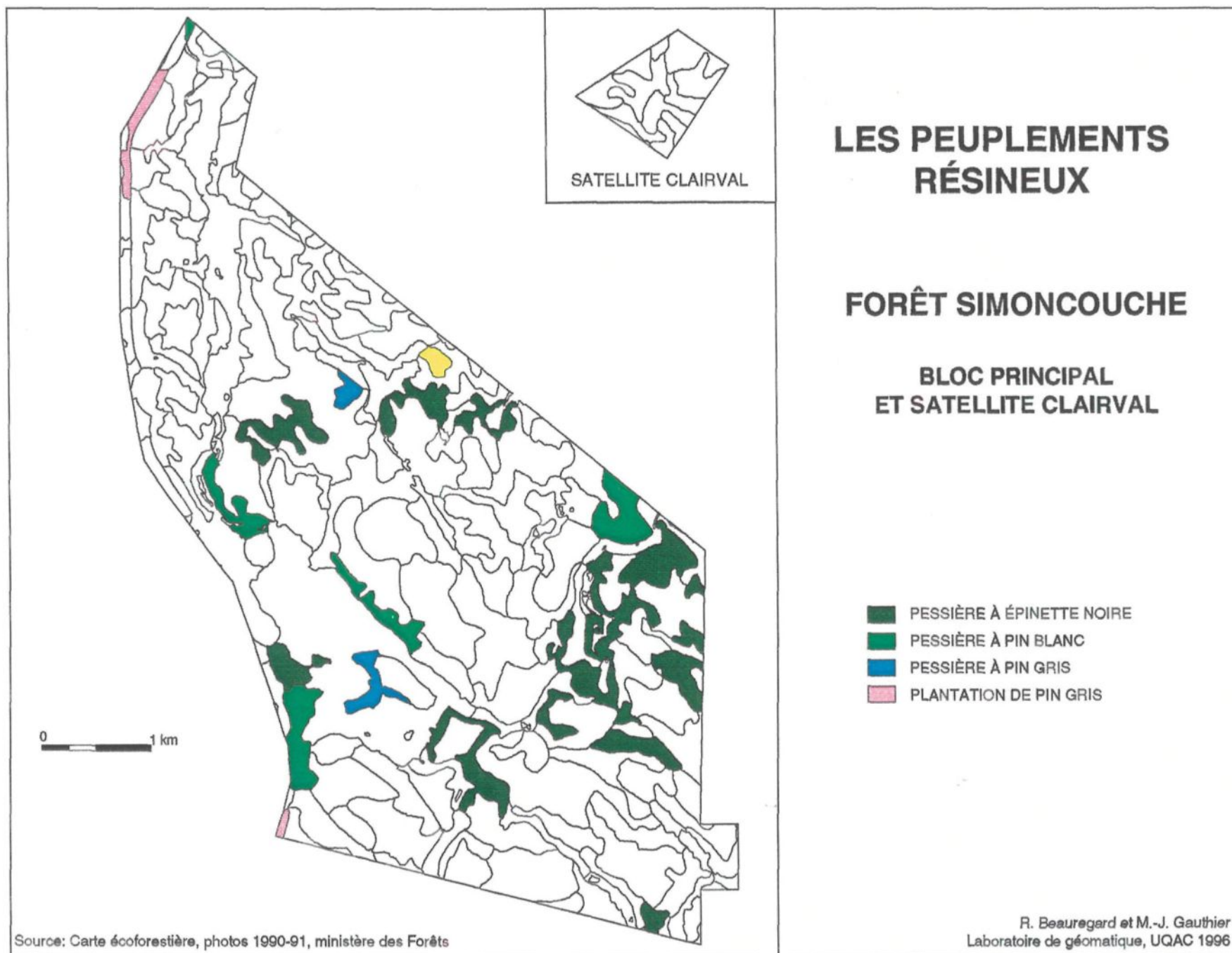
Claude Girard
Laboratoire de géomatique, UQAC 1992

Le fait de cartographier le résultat numérique de chaque pixel nous permet une grande précision au niveau de la localisation exacte sur le terrain de chaque élément structural du territoire à l'étude. Ce qui n'est pas le cas avec les méthodes traditionnelles d'inventaires actuellement utilisées.

En effet, à titre d'exemple, le site constituant la réserve écologique du lac-des-Îlets est révélateur à ce chapitre. La carte 7 du M.F.Q. nous indique la composition des différents types de couverts forestiers comme étant les suivants: le secteur de tourbière est classé "dénudé, sec et humide", le centre de l'île est représenté par du feuillu tandis que le pourtour général de l'île se compose de résineux. Les résineux et les feuillus sont les deux principaux types de couverts forestiers de l'île du lac-des-Îlets. Le document final MEIS II (carte 4), quant à lui, nous donne les compositions suivantes: le centre de l'île est occupé par un espace de tourbière juxtaposé à une superficie d'aulnaie, le centre est aussi occupé par du feuillu et le pourtour de l'île est représenté par la pessière (résineux). À ce niveau-ci, nous obtenons sensiblement les mêmes résultats à la différence près que le milieu humide de l'île est différencié en deux composantes bien distinctes, soit la tourbière et l'aulnaie.

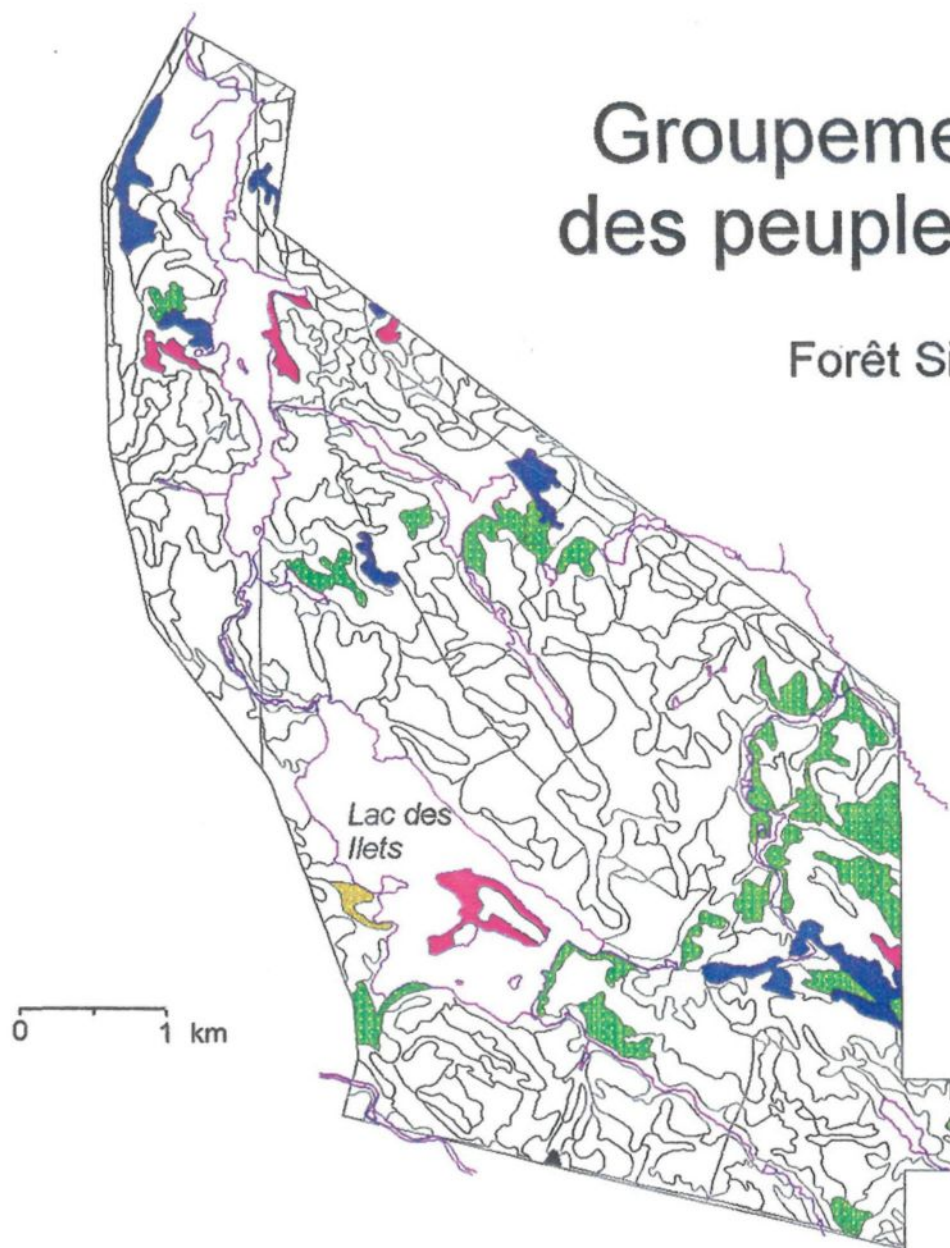
La précision au niveau de l'identification des espèces composant un type de couverts forestiers et la localisation de ces peuplements demeure ici très questionnable. En effet, tandis que la carte 8 écoforestière du MFQ nous indique qu'une partie ouest de l'île du lac-des-Îlets occupée par une pessière à pin gris, la carte 9 de ce même ministère nous indique que cet espace est occupé par une

sapinière à épinette. Il y a, ici, une incohérence évidente relative à la représentation graphique des résultats. Cela induit par le fait même un sérieux doute quant à la fiabilité de ces documents cartographiques notamment au niveau de l'identification et de la localisation des différentes espèces végétales forestières. En poursuivant l'interprétation comparative des documents cartographiques ci-haut mentionnés, nous pouvons mettre en lumière d'autres contradictions concernant l'identification et la localisation des peuplements forestiers. Ainsi, pour le secteur localisé à l'est de la route provinciale et au sud du chemin d'accès conduisant au débarcadère qui donne un accès à la réserve écologique du lac-des-Îlets, la carte 7 nous indique un peuplement feuillu pour ce secteur tandis que la carte 8 nous présente un même espace occupé par une pessière à pin blanc. Par ailleurs, la pointe de la presqu'île du dit secteur est tantôt identifiée comme espace de coupe totale et tantôt comme étant occupée par une pessière à épinette noire. En poussant plus à fond notre comparaison nous trouverions sûrement d'autres points en désaccords cartographiques mais nous serions hors cadre du présent travail.



Groupement d'essences des peuplements résineux

Forêt Simoncouche



Groupement d'essences des peuplements résineux

■ Résineux R	0,81 ha
■ Pessière E(E)	134,44 ha
■ Pessière à pin gris P(Pg)	4,41 ha
■ Pessière à sapin P(S)	54,76 ha
■ Sapinière à épinette S(E)	28,72 ha

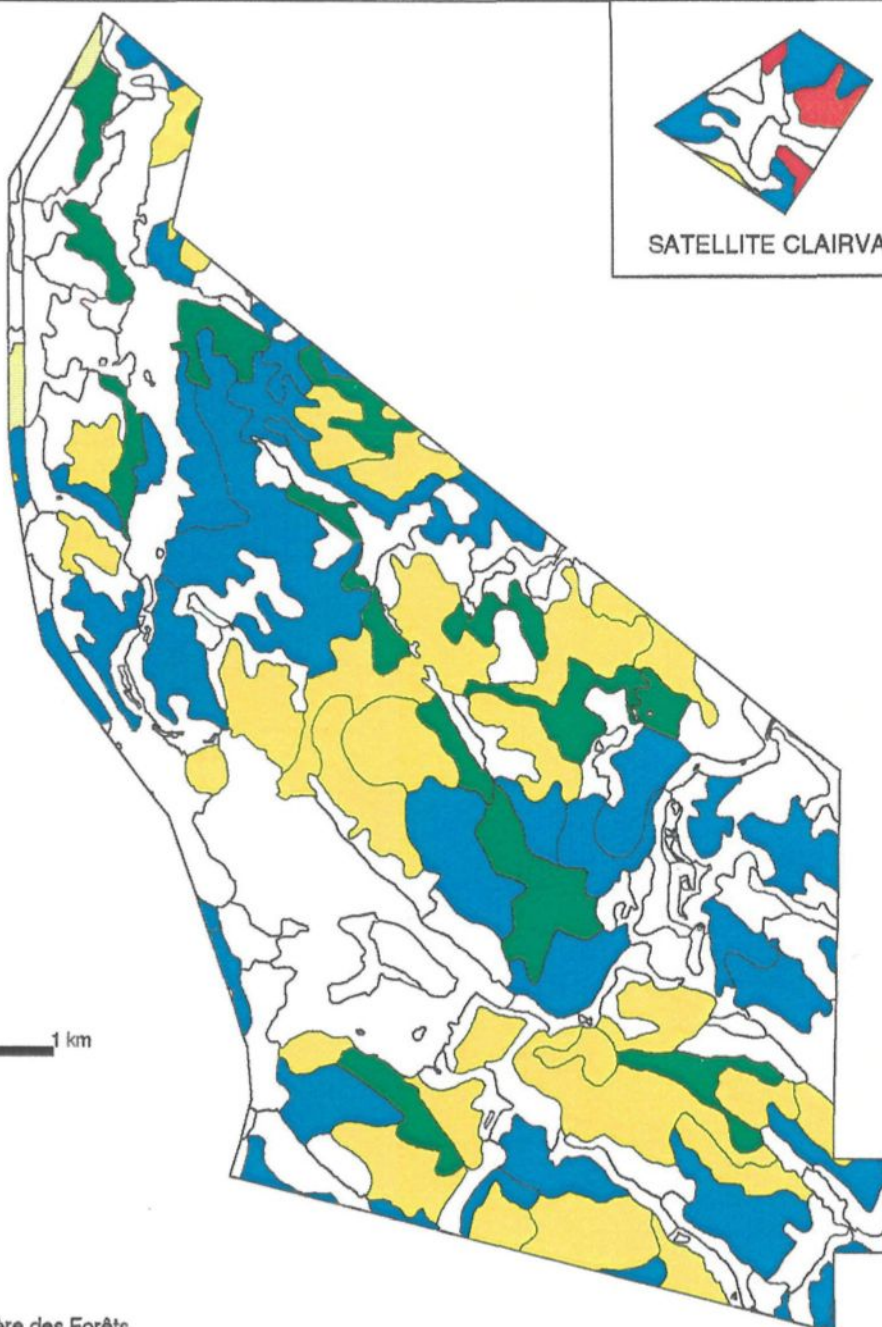
Source: Ministère des Forêts 1984

Claude Girard
Laboratoire de géomatique, UQAC 1992

3.3.2 Les peuplements feuillus

L'inventaire cartographique du ministère des Forêts nous indique que les peuplements de feuillus occupent la majorité de l'espace forestier avec environ 80 pour-cent de la couverture (Gauthier et al, 1993). À cet effet, les cartes 10 et 11 nous montrent la répartition des peuplements feuillus sur le territoire de la station Simoncouche. Tout comme dans le cas des peuplements résineux, la carte 10 n'indique pas la composition des essences qui forment les peuplements feuillus. Toutefois, la carte 11 nous présente les différents groupements d'essences qui forment les peuplements feuillus. Un peuplement est classé "feuillu" lorsque les résineux occupent moins de 25% de la surface terrière (MER, 1984). Ces principaux groupements d'essences identifiés dans les documents cartographiques du ministère des Forêts sont par ordre d'importance selon la superficie: les peupleraies, les feuillus d'essences intolérantes, les bétulaies à bouleaux jaunes, les feuillus avec résineux et les peupleraies avec résineux.

Par ailleurs, les résultats obtenus avec la technique d'analyse de l'imagerie aéroportée nous permettent la reconnaissance des différents types de peuplements du dit territoire forestier. Cependant, tout comme les documents du ministère, notre méthodologie ne donne pas d'indication sur la composition des différents groupements d'essences qui forment les peuplements feuillus du territoire ici à l'étude. Pour effectuer la reconnaissance interspécifique des peuplements de feuillus notre méthode doit, tout comme celle du ministère des forêts, se baser sur les campagnes d'échantillonnage sur le terrain, qui servent



SATELLITE CLAIRVAL

LES PEUPLEMENTS FEUILLUS

FORÊT SIMONCOUCHE

BLOC PRINCIPAL ET SATELLITE CLAIRVAL

- FEUILLUS D'ESSENCES INTOLÉRANTES
- BÉTULAIE À BOULEAU BLANC
- PEUPLERAIE
- ÉRABLIÈRE À BOULEAU JAUNE
- ÉRABLIÈRE À PEUPLIER
- RÉGÉNÉRATION DE FEUILLUS

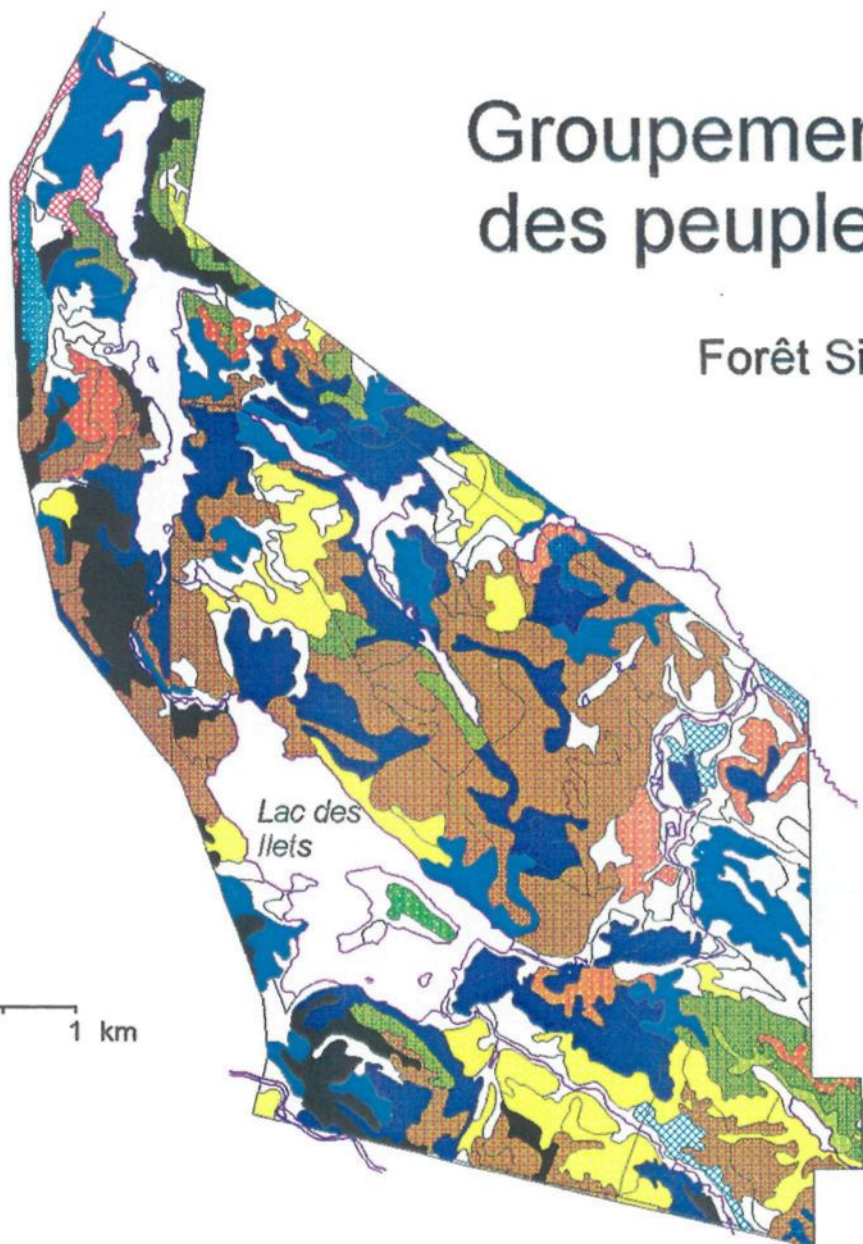
Source: Ministère des Forêts

R. Beauregard et M.-J. Gauthier
Laboratoire de géomatique, UQAC 1996

Groupements d'essences des peuplements feuillus

Forêt Simoncouche

0 1 km



Groupements d'essences des peuplements feuillus

■ Feuillus	140,88 ha
■ Mélangés	16,08 ha
■ Feuillus d'essence intolérante	352,07 ha
■ avec résineux	244,27 ha
■ avec sapin	9,49 ha
■ avec épinette	26,11 ha
■ Bétulaie a bouleaux jaunes	269,69 ha
■ avec sapin	6,89 ha
■ avec épinette	9,05 ha
■ avec résineux	4,16 ha
■ Peupleraie	498,71 ha
■ avec sapin	49,97 ha
■ avec épinette	40,17 ha
■ avec résineux	211,96 ha

Source: Ministère des Forêts 1984

Claude Girard
Laboratoire de géomatique, UQAC 1992

ainsi de vérité-terrain.

En poursuivant notre analyse comparative relativement à la reconnaissance et à la précision au niveau des peuplements de feuillus, nous trouvons également des points de discordance à ce chapitre. En effet, la carte 10 du MFQ n'indique aucun peuplement de feuillus sur l'île du lac-des-Îlets. Pour sa part, la carte 11, du même ministère, indique, quant à elle, un peuplement de feuillus d'essences intolérantes avec sapin localisé au centre est de l'île du lac-des-Îlets. Les résultats de l'imagerie par traitement numérique nous présentent pour le même secteur un peuplement feuillu. Toutefois, la reconnaissance est nettement plus apparente sur l'imagerie MEIS II par rapport à l'image DAEDALUS MSS. Le secteur localisé à l'ouest de l'île du lac-des-Îlets et à l'est de la route provinciale et au sud du chemin menant au débarcadère qui permet un accès à l'île du lac-des-Îlets nous permet de constater un autre exemple d'imprécision au niveau de la représentation plus ou moins fiable des éléments forestiers. En effet, la carte 10 ne montre aucun peuplement de feuillus pour ce secteur sauf pour un certain espace linéaire contigu à la route provinciale. Pour sa part, la carte 11 nous indique que ce secteur est occupé par des peuplements feuillus avec résineux. De plus, la carte 8 nous montre un même secteur occupé principalement par une pessière à pin blanc. Ces écarts de précision relative à la reconnaissance et à la localisation graphique des différentes essences forestières nous permettent un questionnement à cet effet.

Par ailleurs, les résultats obtenus avec les capteurs MEIS II et DAEDALUS

MSS, nous indiquent tous les deux un même espace occupé par un peuplement résineux (pessière), entremêlé ici et là d'essences feuillus. Toutefois, l'identification du feuillu pour ce secteur est plus faible avec la technologie DAEDALUS MSS.

Encore une fois, le fait de réaliser les documents cartographiques sur la base du principe de la généralisation des contours des différentes entités forestières, les documents ainsi produits nous offrent une vue plus généralisée du territoire qui s'avère aussi moins performante au niveau de la précision. En contrepartie, l'imagerie aéroportée nous présente une vision plus réaliste et précise pour certaines sections de territoire forestier.

3.3.3 Les peuplements mélangés

Les peuplements mélangés sont l'un des trois types de couvert forestier reconnu dans les documents cartographiques du ministère des Forêts du Québec. Ainsi, la carte 6 du MFQ localise les peuplements mélangés principalement à l'ouest du lac Simoncouche et au nord-ouest du lac-des-Îlets. Un peuplement est classifié comme "mêlé" lorsque les résineux s'y trouvent dans une proportion de 25 à 75 pour-cent en surface terrière, les feuillus formant l'autre partie du couvert (MER, 1984). Pour sa part, la carte 7 du même ministère nous présente un espace beaucoup plus réduit en terme de peuplements mélangés. En effet, ces derniers sont uniquement localisés en bordure de la route provinciale du côté ouest du lac Simoncouche. La carte 6 nous indique un couvert mêlé sur la partie est de l'île du lac-des-Îlets tandis que la carte 7 nous montre plutôt un type

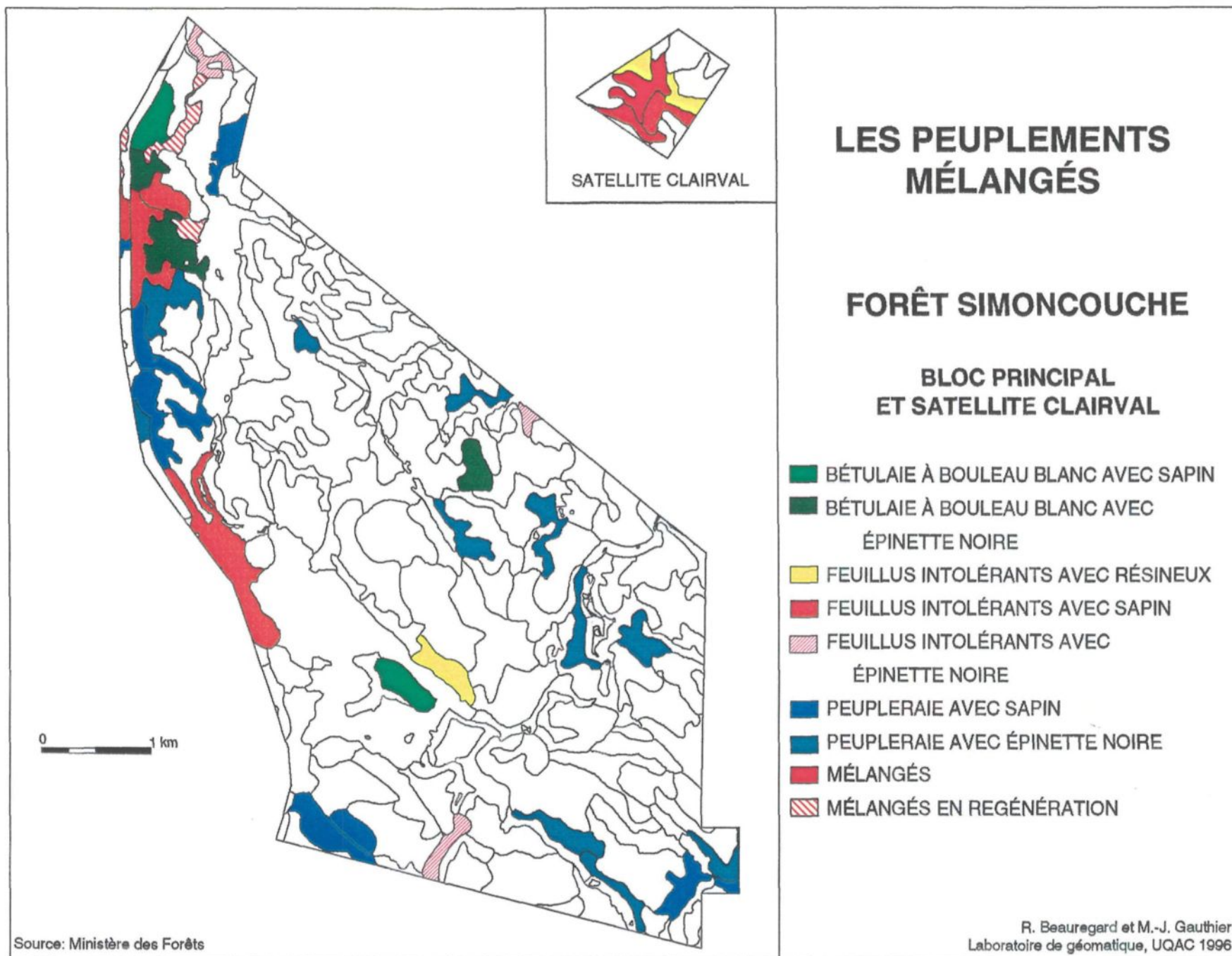
de couvert feuillu non mélangé. Pour sa part, la carte 12 nous présente sensiblement la même répartition de couverts mélangés que la carte 6 mais en spécifiant la composition des différents peuplements mélangés. Encore une fois, il nous faut réaliser une imprécision au niveau de la reconnaissance et de la localisation des essences forestières d'une carte à l'autre du MFQ.

En opposition à ces considérations, l'imagerie finale MEIS II et DAEDALUS MSS, associée aux zones d'entraînement elles-mêmes étroitement jumelées au processus d'échantillonnage "vérité-terrain" ne nous a pas permis d'identifier de peuplements forestiers qui puisse correspondre à la définition d'un peuplement mélangé tel que spécifié dans les normes d'inventaire forestier du MERQ (1984).

3.3.4 Autres éléments du paysage

Les documents cartographiques du ministère des Forêts du Québec considèrent comme faisant partie des autres éléments du paysage forestier, les aulnaies, les espaces dénudés, secs et humides, les espaces occupés et dégagés et certaines superficies de coupe totale. En contre-partie, les documents cartographiques issus de la technologie d'analyse numérique d'images aéroportées nous permettent d'identifier différentes entités forestières telles que l'aulnaie, la tourbière, la végétation aquatique, les espaces ouverts et certains secteurs reliés à l'activité anthropique. Ces secteurs, tant ceux reconnus que ceux identifiés dans les documents produits à l'aide de l'imagerie numérique à haute résolution, font partie des terrains forestiers considérés comme non productifs.

À cet égard, la carte 7 du MFQ nous présente les différents types de



couvert forestier en fonction de leur superficie occupée en hectares. Afin d'établir une base comparative nous avons calculé le pourcentage d'occupation pour les différents types de couvert identifiés dans ce document cartographique. Nous avons obtenu, ainsi les pourcentages suivants:

Résineux:	09,9	%
Feuillus:	79,69	%
Mélangés:	01,35	%
Aulnaies:	05,51	%
Dénudés secs et humides:	01,35	%
Espaces occupés:	01,15	%
Coupe totale:	00,32	%
<hr/>		
TOTAL:	100,00	%

Il est à noter que les surfaces occupées par la classe "eau" sont exclues des pourcentages ci-haut présentés, et qu'elles sont incluses dans le calcul des superficies MEIS II et DAEDALUS MSS.

Afin de pouvoir effectuer une interprétation valable relative aux différents éléments qui composent le territoire forestier ici à l'étude, il nous faut exclure les classes d'occupations non correspondantes comme les peuplements mélangés, les superficies en eau, la végétation aquatique, les tourbières et la coupe totale.

Les éléments non exclus (pessière⁴, feuillus, aulnaies, espaces dénudés, secs et humides⁵, espace anthropique et espace occupé) peuvent donc servir de base commune de comparaison entre les documents du ministère des Forêts du Québec et les résultats obtenus avec le traitement des images MEIS II et DAEDALUS MSS au niveau calcul des superficies.

D'une façon globale, les cartes 7 et 8 des types de couverts forestiers, nous présentent un patron de répartition des éléments forestiers qui s'établit comme suit. Les principales zones de concentration de peuplements résineux se trouvent concentrés au nord-ouest, au sud-ouest, au sud-est et le long de la rive est du Lac-des-Îlets. On retrouve un secteur résineux au sud-est du Lac-du-Dépôt ainsi que plusieurs superficies plus ou moins éparses de résineux dans la partie sud-est du territoire de la station Simoncouche. Ces documents cartographiques nous indiquent que les résineux occupent environ 9,9 pourcent du terrain forestier.

Pour leur part, les documents cartographiques réalisés à partir du traitement numérique de l'imagerie aéroportée nous présentent une répartition plutôt différente de ces mêmes éléments forestiers. Ainsi, nous retrouvons de grandes surfaces résineuses au nord du lac-des-Îlets et à l'est du lac Simoncouche. La masse résineuse localisée à l'est du Lac-des-Îlets est plus importante sur les images MEIS II et DAEDALUS MSS. Il en est de même pour les secteurs résineux localisés en bordure est du lac-des-Îlets. Les résineux sont également

⁴Le mot pessière ici signifie résineux

⁵Les zones de tourbières sont incluses dans les espaces dénudés humides

plus denses et étalés dans le secteur sud-est du lac-du-Dépôt. Pour sa part, l'image DAEDALUS MSS nous fait voir un peuplement presque uniformément réparti dans la partie de territoire localisée au sud-est du lac-des-Îlets.

Ainsi, globalement, l'espace occupé par les peuplements résineux est plus important sur les documents cartographiques MEIS II et DAEDALUS MSS (cartes 4 et 5). À cet effet, on constate que les résineux occupent environ 25 pourcent de la superficie totale de l'espace forestier apparaissant sur la carte 4, tandis qu'ils occupent une superficie d'environ 37 pourcent avec l'image DAEDALUS MSS (carte 5). Il faut toutefois être prudent en manipulant ces statistiques. Le fait que les surfaces occupées par l'eau soient exclues du calcul des superficies d'occupation du sol forestier dans les documents du MFQ (cartes 6 et 7), et que les limites des espaces forestiers à l'étude soient différentes d'un document à l'autre, nous indiquent la prudence à ce niveau. La même différence relative à la répartition des différents types de couvert feuillus s'observe entre les documents du MFQ et ceux réalisés via l'imagerie aéroportée. Selon les documents du MFQ, les feuillus occupent environ 80 pourcent de tout l'espace forestier de la station Simoncouche tandis que les documents MEIS II et DAEDALUS MSS indiquent respectivement une couverture feuillue de 46,3 et 28,4 pourcent de l'espace forestier couvert par l'imagerie aéroportée. Une telle différence au niveau des pourcentages de recouvrement des feuillus réside dans la façon de classer la répartition des tiges. Selon la méthode traditionnelle, même les gaulis sont considérés comme étant feuillus alors qu'avec la méthode de classification

numérique cela est strictement le résultat de la réflectance associée à chaque essence végétale. De plus, la réflectance varie considérablement selon l'âge des individus chez les végétaux arborescents. Ainsi, selon le degré de réflectance perçu par l'appareillage numérique, chaque type de végétaux localisé dans les pixels donnés, sera classé feuillu ou espace ouvert, dénudé, sec ou aulnaie.

En poursuivant notre comparaison, nous constatons que les documents cartographiques du MFQ nous indiquent des peuplements mélangés localisés à l'ouest du lac Simoncouche en bordure de la route provinciale dans une proportion d'environ 1,3 pourcent. Les documents MEIS II et DAEDALUS MSS excluent totalement ces types de peuplements mélangés.

Par ailleurs, la répartition des superficies en aulnaies, en espaces dénudés, secs et humides, en espaces occupés, espaces ouverts et espaces anthropiques est très difficile à comparer car les "classes" n'indiquent pas nécessairement le même type d'occupation du sol selon qu'il s'agisse d'un document du MFQ ou d'un document MEIS II et/ou DAEDALUS MSS. Toute proportion gardée, il semble que les superficies allouées à ces différentes classes d'occupation de l'espace forestier soient sensiblement équivalentes entre les cartes du ministère des Forêts et celles obtenues par traitement numérique des images aéroportées MEIS II et DAEDALUS MSS. La grande différence entre ces deux types de documents (les cartes du MFQ via les images numériques) réside évidemment au niveau de la précision et de la localisation exacte des principales entités reconnues.

3.4 Autres considérations relatives à l'imagerie aéroportée

Certains types de capteurs satellitaires dont le Landsat TM sont actuellement utilisés avec succès pour tracer les types de couverts forestiers de façon générale, mais ne sont pas utilisables pour une cartographie détaillée de la forêt (Leckie, D.G. in Campeau, 1992). En contre-partie, suite aux résultats obtenus avec les capteurs aéroportés MEIS II et DAEDALUS MSS, nous croyons que ces derniers offrent des avantages par rapport aux capteurs sur satellite et surtout face aux méthodes traditionnelles de réaliser les inventaires forestiers. De par une très haute résolution spatiale et spectrale, ils peuvent fournir des éléments utiles pour des études tels que l'identification des différentes essences végétales et autres entités qui composent un paysage forestier donné. L'évaluation de la condition des tiges d'arbres et l'exploration géobotanique ont été expérimentées avec succès en utilisant les capteurs aéroportés.

Par ailleurs, les résultats obtenus pour l'application opérationnelle de l'inventaire forestier du territoire de la station Simoncouche ne nous a pas permis de faire ressortir l'information complète relative à l'identification des différentes espèces d'un même type de couvert végétal. Une résolution plus élevée telle que 50-75 cm serait nécessaire pour la reconnaissance spécifique. De plus, une résolution comparable mais inférieure à 50 cm à l'échelle de la photographie aérienne conventionnelle noir et blanc pour la cartographie d'inventaire, semblerait être nécessaire pour réaliser ce genre de classification automatisée (Forêt Canada, 1992).

Par ailleurs, cette étude nous apprend qu'il est possible en foresterie d'utiliser les méthodes de classification à hypothèse Gaussienne et par pixel pour classer les images à haute résolution spatiale (4,4 et 12 m) telles que celles obtenues via les détecteurs MEIS II et DAEDALUS MSS. On démontre ainsi que l'on peut obtenir de tels résultats malgré certaines difficultés relatives à la présence de trop de pixels mixtes qui brouillent les signatures. Ces derniers étant soit des pixels de bordure entre deux peuplements forestiers, ou ayant une part de réflectance provenant de l'espèce végétale d'intérêt et une autre d'une espèce secondaire ou autres éléments du milieu forestier. En haute résolution, les signatures sont aussi biaisées par d'autres facteurs tels que des pixels représentant le sous-bois, certaines parties ombragées et illuminées des arbres, des espaces ouverts, etc.

Toutefois, l'utilisation des données à haute résolution issues des systèmes aériens MEIS II et DAEDALUS MSS nous permettent d'effectuer un tracé détaillé de la forêt notamment au niveau des essences forestières (Forêt Canada, 1994). En somme, les "scanners" multibande aériens nous offrent les avantages suivants:

1. haute résolution spectrale
2. haute localisation spatiale
3. haute sensibilité radiométrique
4. acquisition de temps flexible
5. habilité à collecter des données à un angle précis du soleil (heure de la journée)

6. choix de bandes spectrales
7. résolution spatiale variable et
8. dans un avenir rapproché, la visualisation stéréo (Forêt Canada, 1994)

La présente étude met en évidence l'énorme potentiel pour la mise en marché des images cartographiques MEIS II et DAEDALUS MSS pour des applications opérationnelles en inventaire forestier. De plus, certaines études nous montrent l'importance associée à d'autres applications spécialisées des documents MEIS II et DAEDALUS MSS pour les analyses environnementales, la cartographie écologique, la bio-diversité, le suivi des catastrophes (feux de forêt, épidémie d'insectes, pollutions diverses), etc. Ces différents produits ayant une valeur ajoutée correspondante effectivement aux marchés actuels constituent d'excellents outils de gestion environnementale.

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude sont encourageants. De plus, ils nous démontrent que le traitement numérique des informations recueillies par les systèmes aéroportés MEIS II et DAEDALUS MSS sont potentiellement utilisables pour la cartographie rapide des ensembles forestiers.

Par ailleurs, pour remplacer les méthodes actuelles d'acquisition de données (inventaires forestiers traditionnels), l'imagerie numérique se doit de fournir de l'information utile, de meilleure qualité, en plus grande quantité et/ou à un coût inférieur ou encore donner accès à de l'information qu'il est impossible d'obtenir autrement (Leckie (1990) in Cantin, C., 1992). Les capteurs ici utilisés (MEIS II et DAEDALUS MSS) répondent principalement à ce dernier critère en

regard des avantages susmentionnés (résolution spatiale, sensibilité radiométrique, etc). En effet, l'information que les systèmes MEIS II et DAEDALUS MSS permettent d'acquérir est parfois inédite et souvent plus détaillée que celle offerte par d'autres systèmes tels que les inventaires photographiques aériens noir et blanc (Cantin, C., 1992).

Toutefois, les principaux désavantages reliés à l'utilisation de l'imagerie numérique aéroportée ont trait aux coûts élevés d'acquisition des images et à la grande quantité de données à traiter (Cantin, C., 1992). En effet, les systèmes analysés sont des systèmes au stade exploratoire, et donc fort peu utilisables sur une grande échelle, en raison notamment des coûts engendrés.

Il y a donc encore beaucoup de résistance à accepter et à introduire la technologie numérique aéroportée. Pour y arriver, il faudra davantage démontrer son potentiel et surtout développer des nouveaux produits, à valeurs ajoutées, supérieurs, sinon comparables aux anciens.

La possibilité de visualisation en stéréo nous permettrait, entre autres, d'évaluer directement la densité et la taille des différents types de couverts forestiers; ces deux paramètres permettent d'estimer la production de bois à l'hectare. Cette possibilité latente est justement un des apports essentiels qu'il faut développer pour satisfaire les besoins des intervenants en foresterie.

L'intégration des images aéroportées classifiées ou interprétées dans un système d'information géographique (SIG) est une autre avenue intéressante de l'imagerie MEIS II et DAEDALUS MSS. Cela permettrait d'éliminer l'étape de

numérisation manuelle des données; étape longue, fastidieuse et coûteuse. L'utilisation de l'imagerie numérique favorisera assurément l'automatisation des processus de transfert des données et de cartographie, d'où une réduction importante des coûts inhérents à ces opérations (Leckie (1990) in Cantin, C., 1992).

Compte tenu des résultats obtenus dans la présente étude, la technologie aéroportée MEIS II et DAEDALUS MSS constitue certainement une alternative intéressante par rapport aux méthodes traditionnelles de réaliser des inventaires forestiers. Les résultats obtenus sont un exemple réel d'application approprié aux inventaires forestiers et à la cartographie à moyenne échelle.

CONCLUSION

L'étude nous montre que les avantages reliés aux systèmes aéroportés d'observation de l'espace terrestre sont à considérer lors des travaux de réalisation des inventaires cartographiques des ressources forestières. Bien qu'elle soit encore considérée comme complémentaire aux méthodes conventionnelles d'inventaires forestiers, la nouvelle technologie aéroportée MEIS II et DAEDALUS MSS nous permet toutefois d'obtenir des documents cartographiques très similaires et constitue de ce fait un outil très intéressant en ce domaine.

L'étude démontre clairement qu'il est possible d'obtenir des résultats très intéressants quant à la classification numérique des peuplements forestiers de la station Simoncouche. Les résultats obtenus avec les capteurs MEIS II et DAEDALUS MSS nous indiquent que l'imagerie aéroportée nous fournit des données supérieures à celles actuellement utilisées pour la réalisation des cartes en foresterie. Le processus de classification supervisé a facilement différencié les couvertures de résineux, de feuillus, d'aulnaie, de tourbière ainsi que les espaces ouverts et les secteurs anthropiques.

Cependant, quoique la technologie aéroportée MEIS II et DAEDALUS MSS nous permette une bonne différenciation des types de couvert forestier basé sur une réflectance spectrale marquée, il existe toujours une certaine impossibilité quant à la reconnaissance interspécifique des espèces qui composent la strate résineuse du territoire forestier étudié. La situation est similaire concernant la différenciation des bouleaux par rapport aux peupliers faux-trembles qui forment

la strate feuillue. Des problèmes de confusion entre la couleur spectrale des différentes essences, qui forment un même type de couvert forestier, expliquent ces limitations relatives à la reconnaissance interspécifique des espèces végétales.

Par ailleurs, les résultats obtenus avec ces deux capteurs sont sensiblement équivalents sur le plan de la reconnaissance des entités forestières. Toutefois, en regard de la différence de résolution des capteurs MEIS II (4,4 m) et DAEDALUS MSS (12 m), nous observons une plus grande précision concernant la reconnaissance des pixels de frontière entre les différents éléments du milieu forestier avec le capteur MEIS II. Les contours limites des peuplements sont mieux définis avec l'imagerie MEIS II. En contrepartie, le système DAEDALUS MSS nous permet de voir un espace forestier plus vaste, dans un rapport 12/4,4 pour des coûts d'utilisation sensiblement identiques.

Pour sa part, l'analyse comparative effectuée avec les documents cartographiques forestiers traditionnels du ministère des Forêts du Québec nous montre un très net avantage des systèmes aéroportés dans le domaine des inventaires forestiers. En plus d'obtenir une cartographie forestière plus détaillée, la technologie aéroportée MEIS II et DAEDALUS MSS nous permet de connaître la disponibilité des stocks ligneux et feuillus avec plus de certitude.

Cependant, malgré les qualités supérieures et de nombreuses caractéristiques désirables des systèmes numériques aéroportés, nous constatons certaines réticences à leur utilisation. En effet, les deux systèmes analysés sont des

systèmes toujours au stade exploratoire, et donc fort peu utilisable sur une grande échelle. Cependant, la principale limitation a trait aux coûts élevés engendrés lors de l'acquisition et du traitement des images numériques MEIS II et DAEDALUS MSS.

Le potentiel énorme de l'imagerie aéroportée est bien réel et pour faciliter une plus grande utilisation de cette nouvelle technologie il faudra démontrer davantage la précision et la fiabilité des résultats, et surtout développer des nouveaux produits comparables ou supérieurs aux anciens.

Compte tenu des résultats obtenus et que les systèmes de captage s'améliorent sans cesse, le jour où la technologie numérique aéroportée remplacera les façons traditionnelles de réaliser les inventaires forestiers n'est peut-être pas si loin que ça. Qui sait?

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUBIEN, et al, 1987, Méthodologie d'accentuation des images TM pour une meilleure discrimination des couverts forestiers, 11ième Symposium Canadien sur la télédétection, Univ. Waterloo, Ontario, 227-237.
- BEAUBIEN, et D. Pilon, 1990, L'interprétation d'images satellites accentuées, Centre foresterie des Laurentides, Forêt Canada, Sainte-Foy, Québec et Centre québécois de coordination de la télédétection, Ministère de l'énergie et des ressources, Sainte-Foy, Québec, 9 p.
- BERTRAND, L., 1984, Cartographie de la végétation forestière actuelle à l'aide de l'imagerie Landsat, Mémoire de baccalauréat, Université Laval, 41 p.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1965, Plant Sociology, (Traduit par G.D. Fuller et H.S. Conrad, Mc Graw-Hill, N.Y.), 439 p.
- BRUNELLE, J., 1991, Contamination de la radiance apparente et extraction de signatures spectrales dans un environnement composé d'un système d'information géographique et d'un système d'analyse d'image, Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, 99 p.
- CANTIN, C., 1992, Évaluation de l'état de la régénération forestière d'un site après coupe à l'aide de l'analyse texturale d'image MEIS II à haute résolution spatiale, Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, 73 p.

- CARIGNAN, M. et J.-P. Létourneau, 1989, Cartographie forestière synthèse au Québec à l'aide de l'imagerie Landsat TM, service de l'inventaire forestier du Québec, Ministère de l'énergie et des ressources, p. 1570-1573.
- CARRIER, M. et D. Bouillon, 1981, analyse comparative entre un inventaire terrestre et un inventaire aérien, Mémoire de baccalauréat, Université Laval, Québec, 66 p.
- CISSE, A., 1989, Étude des images Landsat "TM" utilisées comme supports cartographiques aux échelles du 1:50 000 et plus petites, Thèse de maîtrise, Université Laval, Québec, 95 p.
- ELDRIDGE, N., 1993, The extraction and representation of forest inventory information using continuous density surfaces, Mémoire de maîtrise, Université Laval, 159 p.
- ÉNERGIE, MINES ET RESSOURCES CANADA, 1986, Télédétection et foresterie, Brochure ISBN 0-662-93838, 6 pages
- FORÊTS CANADA, 1992, La télédétection multispectrale aérienne appliquée à la foresterie et à la cartographie, mettant l'accent sur MEIS II, Forum international, 57 p
- FORÊTS CANADA, 1994, Application de la technologie de traitement d'imagerie numérique aux travaux de vérification de la photo-interprétation du couvert végétal, projet no 4024, Sainte-Foy, Québec, 43 p.

- GAGNON, H., 1974, La photo aérienne, son interprétation dans les études de l'environnement et de l'aménagement du territoire, Bibliothèque nationale du Québec, 278 p.
- GAUTHIER, M.-J. et PETICLERC, J., 1996, Plan général d'aménagement forestier: plan d'aménagement intégré des ressources et des activités, Université du Québec à Chicoutimi (rapport en préparation).
- GAUTHIER, M.-J. et al., 1993, L'inventaire forestier de la forêt Simoncouche, description, cartographie et simulation d'exploitation, laboratoire de géomatique et groupe de recherche en productivité végétal, Université du Québec à Chicoutimi, 31 p.
- GAUTHIER, R., 1980, La végétation des tourbières et les sphaignes du Parc des Laurentides, Québec, 634 p.
- GIRARD, C., 1992, Analyse préliminaire de la forêt Simoncouche, laboratoire de géomatique, Université du Québec à Chicoutimi, 33 p.
- GOUGEON, F.A. et T. MOORE, 1998, Classification individuelle des arbres à partir d'images à haute résolution spatiale, Serv. Can.des for. Institut forestier national de Peta Wawa, Ontario, 13 p.
- GRANDTNER, M.M., 1966, La végétation forestière du Québec méridional, Les Presses de l'Univ. Laval, Québec, 216 p. 1 carte.
- GRENIER, M. et Al., 1991, Évaluation de la qualité des eaux du Fleuve Saint-Laurent par télédétection aéroportée, plan d'action Saint-Laurent, Environnement Canada, 36 p.

- GRENON, A., 1991, Projet MEIS 11, Mosaicage des lignes de vol, Centre de télédétection gouvernemental, ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, 13 p.
- JURDANT et al., 1972, Carte écologique de la région du Saguenay Lac-Saint-Jean, Rap. d'information, Centre rech. for. des Laurentides, Rég. de Québec, Tome 1, 22 et 111, 2 cartes
- LABONTÉ, M. et al., 1987, Évaluation préliminaire des données du capteur MEIS II pour la cartographie des surfaces forestières en régénération naturelle après exploitation, 11ième Symposium Canadien sur la télédétection, Université de Waterloo, Ontario, p. 239-246.
- LANGLOIS, L., 1992, Guide d'utilisation du logiciel "DIRIGO", (Traduit de Dirigo, University of Maine Département of Surveying Engineering, 1990), Module de géographie, Univ. du Québec à Chicoutimi, 25 p.
- LECKIE, D.G., 1985, The capabilities of two airborne multispectral sensors for clasifying coniferous forest species, Nineteenth International Symposium on Remote Sensing of Environnement, Michigan, p. 335-342
- LECKIE, D.G., 1987, Advanced airborne électro-optical imager, twenty-first International Symposium of Remote Sensing of Environnement, Michigan, p. 41-46.
- LEMIEUX, Gilles-H., 1982, Inventaire bio-physique préliminaire et esquisse d'aménagement, Station d'enseignement et de recherche. Laboratoire de géographie et de télédétection, UQAC, 86, p. 22

- LÉTOURNEAU, J.-P., et A. Guimond, 1985, La télédétection par satellite et son intégration au système d'inventaire forestier du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec et le Groupe Dryade Ltée, Québec, 9ième Symposium Canadien de télédétection, p. 395-599.
- MATAJEK, S. et al., 1990, Étude des possibilités du capteur MEIS 11 aéroporté pour la cartographie forestière au 1:20 000 Québec, Treizième Symposium Canadien sur la télédétection, Frédéricion, N.B., Canada, p. 283-296.
- MER, 1984, Normes d'inventaire forestier, Gouvernement du Québec, Les pub. du Qué., 177 p.
- MORIN, et al., 1987, Comparaison of Classification and enhancement techniques using Landsat imagery for the northern coniferous forest, Fire Science Centre, University of New-Brunswick, Frédéricion, N.B., p. 197-206.
- ROWE, J.S., 1972, Les régions forestières du Canada, pub. serv. Can. des For. Min. de l'environnement, 172 p.

ANNEXE 1

PHOTOGRAPHIES



Photo No 1: Vue générale du
secteur du Lac-du-Dépôt.



Photo No 2: Vue générale
du secteur du Lac-du-Dépôt.



Photo No 3 A: Vue générale
du secteur du Lac-des-Îlets.



Photo No 3 B: Peuplement de feuillus.
(Quadrats 4, 5 et 6)



Photo No 3 C: Peuplement de feuillus. (Quadrats 4, 5 et 6)



Photo No 4 A: Vue des berges du secteur du Lac-des-Îlets.



Photo No 4 B: Aulnaie dans la
partie Nord du Lac-des-Îlets.



Photo No 4 B: Aulnaie dans la
partie Nord du Lac-des-Îlets.



Photo No 5 A: Vue du secteur
Sud du Lac des Îlets.



Photo No 5 B: Peuplement de
résineux au sud du Lac-des-
Îlets. (Quadrats 1, 2 et 3)



Photo No 6: Vue générale du
secteur Est du Lac-des-Îlets.



Photo No 7: Peuplement de
feuillus au Sud-Est du Lac-
des-Îlets. (Quadrats 7, 8 et 9)



Photo No 8 A: Rivière Siriac à
l'Ouest de la route Provinciale.



Photo No 8 B: Rivière Siriac à
l'Est de la route Provinciale.



Photo No 9: Espace ouvert.
(Quadrats 15 et 16)



Photo No 10 A: Aulnaie et Milieu
humide (Rivière Siriac à
l'Ouest de la route Provinciale.)



Photo No 10 B: Aulnaie (Rivière Siriac
à l'Ouest de la route Provinciale.)



Photo No 11 A: Espace ouvert
à l'ouest du Lac-des-Îlets.



Photo No 11 B: Espace ouvert à
l'Ouest du lac des Îlets (suite)



Photo No 11 C: Espace ouvert à
l'ouest du Lac-des-Îlets. (suite)



Photo No 12 A: Peuplement de
résineux entourant un peuplement
de feuillus. (Quadrats 17 et 18)



Photo No 12 B: Peuplement de
feuillus entouré de résineux.
(Quadrats 20 et 21)



Photo No 13 A: Peuplement de résineux.
(Quadrats 17 et 18)



Photo No 13 B: Peuplement de
résineux. (Quadrat 19)



Photo No 14: Peuplement de
feuillus et milieu humide.
(Quadrats 22 et 23)



Photo No 15: Vue générale d'un
peuplement de feuillus.



Photo No 16: Autre vue générale
d'un peuplement de feuillus.

THE FOLLOWING MATERIAL HAS BEEN REMOVED DUE TO COPYRIGHT
RESTRICTIONS.

PLEASE CONTACT THE UNIVERSITY LIBRARY.

LE MATERIEL SUIVANT A ETE ENLEVE DUE AU DROIT D'AUTEUR.

S.V.P. CONTACTER LA BIBLIOTHEQUE DE L'UNIVERSITE.

NATIONAL LIBRARY OF CANADA
CANADIAN THESES SERVICE

BIBLIOTHEQUE NATIONALE DU CANADA
LE SERVICE DES THESES CANADIENNES

Gouvernement du Québec, Ministère de l'énergie et des ressources,
Service de la cartographie (pgs. 130-131)

ANNEXE 2

RELEVÉS DE VÉGÉTATION
STATION SIMONCOUCHE

IMAGE: SUD-EST

DATE: août 1992

PEUPLEMENT: Mélangé(feuillus + épinette noire)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	5.7	EPN	3.0	BOB	3.7
EPN	5.8	EPN	3.4	BOB	3.8 ^M
EPN	7.5	Total EPN	115.3	BOB	1.8
EPN	5.2	SAB	1.6	BOB	3.5 ^M
EPN	4.7	SAB	1.6	BOB	3.3
EPN	3.8	SAB	1.1	BOB	2.3 ^M
EPN	5.7	SAB	2.0	BOB	4.0
EPN	4.0	Total SAB	6.3	BOB	3.0
EPN	5.4	BOB	2.1	BOB	2.5
EPN	4.9	BOB	2.3	BOB	2.6 ^M
EPN	3.5	BOB	2.6	BOB	2.9
EPN	3.7	BOB	3.7	BOB	2.5
EPN	8.6	BOB	3.4	BOB	4.4
EPN	6.7	BOB	3.5	BOB	1.8 ^M
EPN	1.9	BOB	1.5	BOB	3.6
EPN	6.7	BOB	1.9	BOB	3.5
EPN	2.0	BOB	1.6	BOB	1.2
EPN	5.6	BOB	3.6	Total BOB	71.1
EPN	3.2	BOB	1.6	CET	5.0
EPN	2.8	BOB	2.0 ^M		
EPN	5.2	BOB	3.1		
EPN	6.3	BOB	3.8		

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 70%
 -feuillus 15%
 -ouvert 10%

Régénération: EPN(Marcotte) 5%(faible)

PEUPLEMENT: pessière noire

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	4.2	EPN	5.6	BOB	1.7 ^M
EPN	3.0	EPN	8.7	BOB	2.4
EPN	3.8	EPN	8.3	BOB	3.5
EPN	3.2	EPN	3.3	BOB	1.4
EPN	4.7	Total EPN	107.5	BOB	2.0 ^M
EPN	5.5	SAB	6.4	BOB	3.3
EPN	6.0	SAB	7.8	BOB	2.9 ^M
EPN	6.6	SAB	6.2	BOB	3.3 ^M
EPN	5.0	SAB	7.6	BOB	5.5 ^M
EPN	2.2 ^M	SAB	6.3	BOB	3.8 ^M
EPN	5.6	SAB	4.8	BOB	5.0 ^M
EPN	2.4	SAB	4.9	BOB	1.4
EPN	2.7	SAB	5.1	BOB	5.6 ^M
EPN	2.1 ^M	SAB	4.8	BOB	2.1 ^M
EPN	4.2	SAB	4.5 ^M	BOB	2.0 ^M
EPN	1.2 ^M	SAB	5.9	BOB	3.2 ^M
EPN	2.4	SAB	6.5	BOB	1.5
EPN	3.4	SAB	2.8	BOB	3.3
EPN	2.3	SAB	3.5	BOB	2.5
EPN	3.5	Total SAB	72.6	BOB	3.7
EPN	6.9	BOB	3.3	BOB	2.1 ^M
EPN	6.2	BOB	2.3	Total BOB	25.6

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 65%
 -feuillus 10%
 -ouvert 25%

Régénération: EPN(Marcotte) 1%(faible)

IMAGE: SUD-EST

DATE: août 1992

PEUPLEMENT: Mélangé(feuillus + résineux)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	4.5	SAB	5.6	BOB	2.8 ^M
EPN	4.4	SAB	7.8	BOB	2.3
EPN	3.7	SAB	2.7 ^M	BOB	3.2
EPN	6.4	SAB	7.6	BOB	2.8
EPN	2.0 ^M	SAB	3.0	BOB	5.4
EPN	2.6	SAB	3.1	BOB	2.0 ^M
EPN	3.8	SAB	3.1	BOB	2.2
EPN	5.5	SAB	6.3	BOB	2.0 ^M
EPN	3.5	Total SAB	51.8	BOB	4.0
EPN	7.5	BOB	3.2	BOB	3.9
EPN	3.0	BOB	2.0	BOB	3.1
EPN	3.9	BOB	3.0	BOB	3.5
EPN	7.2	BOB	2.4 ^M	BOB	2.1
EPN	2.8	BOB	2.8	BOB	2.2 ^M
Total EPN	58.8	BOB	3.3	BOB	2.7 ^M
SAB	1.0	BOB	5.2	Total BOB	65.1
SAB	1.7	BOB	3.3	CET	4.2
SAB	1.0	BOB	2.7		
SAB	7.3	BOB	2.9		
SAB	1.3	BOB	4.2		
SAB	1.3	BOB	2.9 ^M		
SAB	1.7	BOB	2.3 ^M		

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 60%
 -feuillus 15%
 -ouvert 25%

Régénération: EPN(Marcotte) 5% faible, SAB 10% faible

IMAGE: SUD-ESTDATE: août 1992PEUPLEMENT: peupleraie(pe)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	ESSENCE
EPN	2.1	PET	6.6	BOB	3.3 ^M
EPN	3.5	PET	7.0	BOB	3.7
Total EPN	5.6	PET	7.6	BOB	2.4
SAB	3.5	PET	7.1	Total BOB	6.1
SAB	2.5	PET	5.5		
SAB	1.8	PET	6.2		
SAB	2.0	PET	5.3		
SAB	7.1	PET	10.0		
SAB	4.0	PET	7.8		
SAB	1.3	PET	6.8		
SAB	3.6	PET	5.1		
SAB	1.9	PET	4.9		
Total SAB	27.7	PET	5.8		
PET	3.1	PET	7.2		
PET	4.0	PET	5.7		
PET	6.2	PET	7.3		
PET	4.8	PET	7.5		
PET	7.0	Total PET	162.8		
PET	5.0	ERR	1.4		
PET	7.8				
PET	6.5				
PET	5.0				

M: Les arbres morts sont exclus

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 15%
 -feuillus 70%
 -ouvert 15%

Régénération: Sab 20% moyenne, Err 80% forte

IMAGE: SUD-EST

DATE: août 1992

PEUPLEMENT: peupleraie(pe)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	1.6	SAB	1.8	Total PET	143.5
EPN	1.8	Total SAB	38.1	BOB	2.4
EPN	3.3	PET	5.2 ^M	BOB	1.8
EPN	1.8	PET	10.4	BOB	3.1
EPN	1.5	PET	7.2	BOB	3.0
Total EPN	10.0	PET	8.6	BOB	3.0
SAB	1.7	PET	7.7	BOB	2.5 ^M
SAB	2.6	PET	4.7	BOB	2.2
SAB	1.3	PET	6.4	BOB	1.7
SAB	1.3	PET	10.7	BOB	2.4
SAB	2.9	PET	5.2	BOB	1.5
SAB	1.4	PET	6.3	BOB	1.9
SAB	2.9	PET	10.2	BOB	3.0
SAB	2.1	PET	9.1	BOB	2.1
SAB	3.7	PET	6.1	BOB	2.7
SAB	1.3	PET	5.4	BOB	1.9 ^M
SAB	4.9	PET	8.6	BOB	2.4
SAB	1.6	PET	4.4	BOB	1.5
SAB	1.5	PET	8.3	Total BOB	34.7
SAB	2.4	PET	11.0		
SAB	2.9	PET	7.4		
SAB	1.3	PET	5.8		

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 10%
 -feuillus 80%
 -ouvert 10%

Régénération: Sab moyenne, Epn(Marcotte) faible

IMAGE: SUD-EST

DATE: août 1992

PEUPLEMENT: peupleraie(pe)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
ERR	4.7	BOB	2.4		
SAB	3.8	BOB	2.2		
SAB	4.5	BOB	4.4		
SAB	1.7	BOB	4.7		
SAB	1.2	BOB	1.7		
SAB	2.8	BOB	2.0		
Total SAB	14.0	BOB	3.3		
ERR	1.4	BOB	2.9		
PET	6.1	Total BOB	33.0		
PET	5.5 ^M				
PET	10.6				
PET	2.9				
PET	6.0				
PET	5.5				
PET	3.7				
PET	3.4				
PET	7.6				
PET	6.0				
Total PET	51.8				
BOB	2.9				
BOB	2.5				
BOB	4.0				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 15%
 -feuillus 75%
 -ouvert 10%

Régénération: Sab moyenne, Err faible

IMAGE: SUD-ESTDATE: août 1992PEUPLEMENT: peupleraie(pe)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
SAB	4.4	PET	2.5		
SAB	3.0	PET	2.1		
Total SAB	7.4	PET	2.4		
PET	2.8	PET	3.6		
PET	3.9	PET	2.8		
PET	1.8	PET	1.4		
PET	3.3	PET	1.7		
PET	2.8	PET	2.1		
PET	2.5	Total PET	66.2		
PET	3.1	BOB	4.2		
PET	1.9	BOB	2.4		
PET	2.7	BOB	2.2		
PET	2.3	BOB	1.6		
PET	1.6	BOB	1.6		
PET	1.2	BOB	1.3		
PET	3.2	BOB	1.8		
PET	2.5	BOB	2.1		
PET	2.0	Total BOB	17.2		
PET	3.1				
PET	2.3				
PET	2.6				
PET	2.0				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 5%
 -feuillus 80%
 -ouvert 15%

Régénération: Sab moyenne

PEUPLEMENT: peupleraie(pe)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	4.8	PET	0.9	PET	1.7
EPN	2.4	PET	2.2	PET	1.2
EPN	2.8	PET	0.5 ^M	PET	1.3
EPN	1.9	PET	2.6	PET	1.1
EPN	2.7	PET	1.5	PET	2.6
EPN	3.0	PET	2.4	PET	2.9
EPN	2.3	PET	1.7	PET	2.7
EPN	1.5	PET	1.5	PET	1.4
EPN	3.2	PET	1.6	PET	1.3
EPN	1.7	PET	1.4	PET	1.5
EPN	2.2	PET	2.7	Total PET	62.9
EPN	1.8	PET	2.0	BOB	4.6
Total EPN	30.3	PET	1.6	BOB	4.7
SAB	4.2	PET	2.0	BOB	4.5
SAB	2.0	PET	2.1	BOB	3.2
Total SAB	6.2	PET	1.8	BOB	2.2 ^M
PET	1.0	PET	2.2	Total BOB	17.0
PET	1.8	PET	2.0		
PET	1.8	PET	2.1		
PET	1.0	PET	1.5		
PET	0.8 ^M	PET	1.0		
PET	0.6 ^M	PET	2.8		

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 5%
 -feuillus 75%
 -ouvert 20%

Régénération: Sab moyenne

PEUPLEMENT: Bétulaie à bouleaux jaunes (BJ)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
SAB	1.5				
SAB	1.2				
SAB	1.9				
SAB	1.0				
SAB	1.0				
SAB	2.0				
SAB	1.6				
SAB	1.8				
Total SAB	12.0				
BOB	5.7				
BOB	2.9				
Total BOB	8.6				
BOJ	6.6				
BOJ	6.7				
BOJ	5.2				
BOJ	4.5				
BOJ	5.3				
Total BOJ	28.3				
PET	17.2				
CET	4.7 ^M				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 20%
 -feuillus 50%
 -ouvert 30%

Régénération: Sab moyenne

PEUPELEMENT: peupleraie(pe)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
SAB	2.5	PET	3.7		
		PET	7.5		
CET	2.8	PET	17.4		
		PET	9.9		
BOB	2.5	Total PET	73.4		
BOB	5.4				
BOB	3.5				
BOB	4.4				
BOB	3.3				
BOB	6.2				
Total BOB	25.3				
BOJ	8.5				
BOJ	1.6				
BOJ	4.2				
Total BOJ	14.3				
PET	6.4				
PET	8.7				
PET	3.7				
PET	2.6				
PET	2.2 ^M				
PET	7.1				
PET	6.4				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 1%
 -feuillus 75%
 -ouvert 24%

Régénération: Sab moyenne

PEUPELEMENT: Bétulaie à bouleaux jaunes (BJ)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
SAB	3.8	PET	10.0		
SAB	7.1	PET	9.6 ^M		
SAB	2.2	PET	9.8		
SAB	3.2	PET	7.4		
SAB	5.8	PET	12.9		
SAB	5.3	Total PET	40.1		
SAB	6.1				
SAB	2.3				
Total SAB	35.8				
BOB	2.5				
BOB	4.1				
BOB	4.4				
Total BOB	11.0				
BOJ	6.4				
BOJ	5.0 ^M				
BOJ	11.7				
BIJ	11.1				
BOJ	7.4				
BOJ	11.7				
BOJ	8.3				
Total BOJ	56.6				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux
 -feuillus
 -ouvert

Régénération: Sab forte(≈ 40 ind.)

PEUPLEMENT: Bétulaie à bouleaux jaunes(BJ)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
SAB	4.8	PET	9.9		
SAB	4.7	PET	15.0		
SAB	3.9	PET	5.6		
SAB	1.9	Total PET	30.5		
SAB	1.7				
Total SAB	17.0	CET	5.6		
BOB	7.3				
BOB	5.4				
Total BOB	12.7				
BOJ	7.1				
BOJ	10.3				
BOJ	3.6				
BOJ	6.6				
BOJ	5.5				
BOJ	2.6 ^M				
BOJ	11.4				
BOJ	4.2				
BOJ	7.8				
BOJ	2.1				
Total BOJ	58.6				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 15%
 -feuillus 60%
 -ouvert 25%

Régénération: Sab moyenne(≈ 30 ind.)

PEUPLEMENT: Pessière noire(E)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	2.3	BOB	2.5		
EPN	5.3	BOB	1.7		
EPN	2.5	Total BOB	4.2		
EPN	4.0				
EPN	4.4				
EPN	4.5				
EPN	3.1				
EPN	4.7				
EPN	6.8				
EPN	2.1				
EPN	2.0				
EPN	6.0				
EPN	7.9				
EPN	4.4				
EPN	5.2				
EPN	6.9				
EPN	1.6				
EPN	3.0				
EPN	4.9				
EPN	5.5				
Total EPN	87.1				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 70%
 -feuillus 1%
 -ouvert 29%

Régénération: Epn forte(Marcotte) Drageon

PEUPLEMENT: Pessière noire(E)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	3.8	EPN	4.7		
EPN	3.4	EPN	6.4		
EPN	3.3	EPN	6.1		
EPN	4.9	EPN	3.0		
EPN	4.7	EPN	2.8		
EPN	3.0	EPN	7.0		
EPN	1.9	EPN	8.0		
EPN	4.2	EPN	2.6		
EPN	3.1	EPN	1.9		
EPN	4.5	EPN	5.5		
EPN	4.1	Total EPN	141.9		
EPN	2.7				
EPN	6.8				
EPN	5.8				
EPN	6.2				
EPN	7.0				
EPN	4.6				
EPN	4.7				
EPN	4.2				
EPN	3.6				
EPN	5.3				
EPN	2.1				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 80%
 -feuillus 0%
 -ouvert 20%

Régénération: Epn forte, Sab moyenne

PEUPLEMENT: Pessière noire(E)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	3.2	EPN	5.5		
EPN	3.5	Total EPN	110.5		
EPN	4.7	BOB	3.1		
EPN	4.9	BOB	1.2		
EPN	3.3	Total BOB	4.3		
EPN	4.1				
EPN	3.2				
EPN	2.6				
EPN	3.5				
EPN	3.4				
EPN	4.5				
EPN	4.9				
EPN	5.8				
EPN	7.0				
EPN	7.3				
EPN	4.2				
EPN	4.7				
EPN	6.2				
EPN	6.3				
EPN	7.0				
EPN	8.1				
EPN	2.6				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 85%
 -feuillus 1%
 -ouvert 14%

Régénération: Epn(Marcotte) moyenne

PEUPLEMENT: Pessière noire(E)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	3.3	EPN	9.0		
EPN	4.8	EPN	2.5		
EPN	4.6	EPN	4.5		
EPN	3.1	Total EPN	14.7		
EPN	4.2				
EPN	3.6				
EPN	5.4				
EPN	5.7				
EPN	2.3				
EPN	4.2				
EPN	4.6				
EPN	6.5				
EPN	6.4				
EPN	7.1				
EPN	4.6				
EPN	3.6				
EPN	3.0				
EPN	2.2				
EPN	6.5				
EPN	3.2				
EPN	2.7				
EPN	7.1				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 85%
 -feuillus 0%
 -ouvert 15%

Régénération: Epn(Marcotte) faible

PEUPLEMENT: Pessière noire(E)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	5.5	SAB	1.1		
EPN	3.2	SAB	3.6		
EPN	9.4	SAB	1.4		
EPN	7.2	SAB	1.4		
EPN	9.0	SAB	3.4		
EPN	6.3	Total SAB	10.9		
EPN	1.5	BOB	2.7		
EPN	2.3	BOB	3.4		
EPN	7.6	BOB	3.1		
EPN	5.4	BOB	4.0		
EPN	6.1	BOB	1.9		
EPN	4.4	BOB	4.2		
EPN	4.5	Total BOB	19.3		
EPN	2.6				
EPN	6.0				
EPN	7.0				
EPN	5.1				
EPN	2.6				
EPN	7.8				
Total EPN	103.5				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 75%
 -feuillus 5%
 -ouvert 20%

Régénération: Sab moyenne

PEUPLEMENT: Pessière noire(E)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	4.4	BOB	2.0		
EPN	5.3	BOB	1.9		
EPN	8.9	BOB	3.4		
EPN	7.6	BOB	2.8		
EPN	4.4	BOB	3.9		
EPN	7.7	BOB	2.5		
EPN	8.7	BOB	3.3		
EPN	2.2	BOB	4.6		
EPN	4.2	BOB	4.1		
EPN	3.2	Total BOB	36.6		
EPN	4.6	PET	6.0		
EPN	7.9	PET	7.9		
EPN	2.2	Total PET	13.9		
EPN	6.9				
Total EPN	78.2	CET	4.5		
SAB	5.0				
SAB	5.4				
SAB	8.0				
SAB	3.3				
SAB	5.8				
SAB	2.2				
Total SAB	29.7				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 80%
 -feuillus 10%
 -ouvert 10%

Régénération: Sab moyenne

PEUPLEMENT: Sapinière(S)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	4.8	SAB	1.6		
EPN	1.7	SAB	2.1		
EPN	4.4	SAB	1.0		
EPN	5.2	Total SAB	51.6		
EPN	4.5				
Total EPN	20.6	BOB	5.7		
SAB	2.4				
SAB	2.3				
SAB	4.3				
SAB	2.2				
SAB	3.8				
SAB	4.4				
SAB	5.7				
SAB	3.1				
SAB	3.0				
SAB	2.1				
SAB	2.1				
SAB	2.7				
SAB	2.5				
SAB	1.0				
SAB	1.8				
SAB	3.5				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 90%
 -feuillus 1%
 -ouvert 9%

Régénération: Sab forte

PEUPLEMENT: Peupleraie(pe)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
SAB	5.0	PET	9.7		
SAB	8.7	PET	10.5		
SAB	1.7	PET	14.7		
SAB	5.7	PET	5.9		
Total SAB	21.1	PET	3.3		
BOB	2.4	Total PET	44.1		
BOB	5.2				
BOB	3.1	CET	3.2		
BOB	3.3				
BOB	2.1				
BOB	2.4				
BOB	2.3				
BOB	3.0				
BOB	4.3				
BOB	2.2				
Total BOB	30.3				
BOJ	4.3				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 15%
 -feuillus 70%
 -ouvert 15%

Régénération: Sab moyenne

PEUPLEMENT: Peupleraie(pe)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
SAB	5.1	PET	8.9		
SAB	3.8	PET	6.2		
SAB	4.2	PET	5.3		
SAB	7.1	PET	7.9		
Total SAB	20.2	PET	7.6		
BOB	3.4	PET	8.1		
BOB	3.2	PET	5.4		
BOB	3.1	PET	6.0		
BOB	3.3	Total PET	55.4		
BOB	4.0				
BOB	1.6	ERR	3.6		
BOB	3.2				
Total BOB	21.8				
BOB	3.8				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 10%
 -feuillus 75%
 -ouvert 15%

Régénération: Sab moyenne

PEUPLEMENT: Peupleraie(pe)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	3.0	PET	4.4		
EPN	5.0	PET	3.2		
Total EPN	8.0	PET	3.1		
SAB	5.6	PET	2.2		
SAB	3.8	PET	3.6		
SAB	5.7	PET	4.9		
SAB	2.7	PET	2.5		
SAB	2.8	PET	1.5		
SAB	2.2	PET	4.3		
Total SAB	22.8	PET	3.3		
BOB	1.5	PET	4.0		
BOB	3.6	Total PET	62.7		
BOB	2.7				
BOB	1.6				
Total BOB	9.4				
PET	4.6				
PET	3.9				
PET	3.9				
PET	3.5				
PET	1.5				
PET	4.5				
PET	3.8				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 10%
 -feuillus 70%
 -ouvert 20%

Régénération: Sab forte

PEUPLEMENT: Peupleraie(p)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
SAB	2.3	PET	3.7	PET	5.4
SAB	1.8	PET	1.4	Total PET	113.2
SAB	1.7	PET	5.0		
SAB	1.8	PET	4.5		
SAB	1.5	PET	4.0		
Total SAB	9.1	PET	4.0		
BOB	1.8	PET	4.7		
BOB	1.5	PET	2.8		
BOB	3.2	PET	3.9		
BOB	1.0	PET	3.3		
BOB	1.0	PET	4.5		
BOB	3.2	PET	3.7		
BOB	3.7 ^M	PET	1.9		
BOB	1.5	PET	3.0		
Total BOB	13.2	PET	4.4		
PET	4.8	PET	4.6		
PET	3.0	PET	4.9		
PET	3.0	PET	3.2		
PET	3.6	PET	4.7		
PET	3.9	PET	1.9		
PET	4.3	PET	5.1		
PET	2.8	PET	3.2		

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 10%
 -feuillus 75%
 -ouvert 15%

Régénération: Sab forte

PEUPLEMENT: Pessière noire(E)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	6.3	SAB	1.0		
EPN	7.7				
EPN	2.3	BOB	2.4		
EPN	4.8	BOB	1.9		
EPN	6.0	BOB	2.7 ^M		
EPN	5.6	Total BOB	4.3		
EPN	5.1				
EPN	5.5				
EPN	4.0				
EPN	3.6				
EPN	5.5				
EPN	6.0				
EPN	4.8				
EPN	5.3				
EPN	4.2				
EPN	4.5				
EPN	5.0				
EPN	4.2				
EPN	1.8 ^M				
Total EPN	90.4				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 90%
 -feuillus 1%
 -ouvert 9%

Régénération: NIL

PEUPLEMENT: pessière noire(E)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	4.5	EPN	4.6		
EPN	3.8	EPN	1.9 ^M		
EPN	4.1	EPN	2.4 ^M		
EPN	2.1	EPN	3.2		
EPN	3.2	EPN	1.7 ^M		
EPN	5.6	EPN	5.1		
EPN	5.1	EPN	6.0		
EPN	2.4	EPN	6.4		
EPN	2.5	EPN	3.8		
EPN	3.4	EPN	6.7		
EPN	5.0	EPN	4.0		
EPN	3.0	Total EPN	117.9		
EPN	6.0				
EPN	4.9	SAB	4.4		
EPN	5.0				
EPN	3.3	BOB	2.6 ^M		
EPN	4.4	BOB	3.5		
EPN	2.7	Total BOB	3.5		
EPN	4.2				
EPN	2.6 ^M				
EPN	1.7 ^M				
EPN	2.9				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 90%
 -feuillus 1%
 -ouvert 9%

Régénération: Sab faible

PEUPLEMENT: pessière noire(E)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	5.7	EPN	2.0 ^M		
EPN	3.2	EPN	3.7 ^M		
EPN	7.0	EPN	3.9		
EPN	4.9	EPN	4.2		
EPN	2.0 ^M	EPN	5.3		
EPN	5.7	Total EPN	102.8		
EPN	2.6				
EPN	5.7	SAB	11.0		
EPN	4.8	SAB	1.2		
EPN	3.4	Total SAB	12.2		
EPN	1.7 ^M				
EPN	4.0	BOB	1.3		
EPN	4.0	BOB	1.7		
EPN	6.5	BOB	1.0		
EPN	1.2	BOB	1.1 ^M		
EPN	3.3	BOB	3.0		
EPN	4.2	Total BOB	7.0		
EPN	3.2				
EPN	6.5				
EPN	7.0				
EPN	2.2				
EPN	4.3				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 85%
 -feuillus 5%
 -ouvert 10%

Régénération: Sab faible

PEUPLEMENT: pessière noire(E)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
EPN	4.8	EPN	6.0		
EPN	6.4	Total EPN	109.0		
EPN	4.2				
EPN	4.0				
EPN	2.2				
EPN	4.7				
EPN	5.1				
EPN	5.7				
EPN	5.6				
EPN	6.3				
EPN	3.1 ^M				
EPN	5.0				
EPN	6.0				
EPN	4.8				
EPN	2.8 ^M				
EPN	3.7				
EPN	5.9				
EPN	4.3				
EPN	7.0				
EPN	5.9				
EPN	5.5				
EPN	5.9				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 80%
 -feuillus 0%
 -ouvert 20%

Régénération: Epn(Marcotte) moyen

IMAGE: NORD-ESTDATE: 26 septembre 1992PEUPLEMENT: peupleraie(Pe)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
SAB	3.2	PET	6.3		
SAB	1.1	PET	9.0		
SAB	0.8	PET	7.2		
SAB	1.3	PET	5.5		
SAB	3.6	PET	4.0		
SAB	5.2	PET	4.8		
SAB	1.3	PET	5.6		
SAB	1.6	PET	5.9		
SAB	4.0	PET	3.8		
SAB	2.9	PET	6.2		
SAB	2.3	PET	4.7		
SAB	4.7	PET	5.1 ^M		
Total SAB	32.0	PET	5.5		
BOB	4.2	PET	6.6		
BOB	4.0	PET	7.2		
BOB	2.8	Total PET	98.8		
BOB	4.4				
BOB	4.0				
Total BOB	19.4				
PET	5.3				
PET	7.3				
PET	3.9				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 15%
 -feuillus 70%
 -ouvert 15%

Régénération: Sab moyenne

PEUPLEMENT: Bétulaie à bouleaux jaunes(Bb)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
SAB	1.4	BOB	4.8		
SAB	1.0	BOB	5.0		
SAB	3.8	BOB	6.9		
SAB	4.1	BOB	6.1		
SAB	1.4	BOB	4.1		
SAB	3.0	BOB	3.7		
Total SAB	14.7	BOB	3.6		
BOB	5.9	BOB	3.5		
BOB	5.9	BOB	4.1		
BOB	3.4	BOB	4.4		
BOB	7.0	Total BOB	22.1		
BOB	5.0				
BOB	6.4				
BOB	3.9				
BOB	4.0				
BOB	4.6				
BOB	5.0				
BOB	3.7				
BOB	5.0				
BOB	5.8				
BOB	4.5				
BOB	5.8				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 2%
 -feuillus 75%
 -ouvert 23%

Régénération: Sab moyenne, Ere moyenne

PEUPLEMENT: Bétulaie à bouleaux jaunes (Bb)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
ERR	4.0	PBT	9.0		
SAB	1.6				
BOB	6.4				
BOB	5.6				
BOB	3.7				
BOB	3.0				
BOB	11.0				
BOB	8.3				
BOB	11.5				
BOB	7.1				
Total BOB	56.6				
BOJ	5.4				
BOJ	3.1 ^M				
BOJ	6.8				
BOJ	7.4				
BOJ	6.7				
Total BOJ	26.3				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 5%
 -feuillus 75%
 -ouvert 20%

Régénération: Sab forte, ERR moyenne

PEUPLEMENT: Feuillus intolérants (Fi)

ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP	ESSENCE	DHP
SAB	2.0	PTE	10.7		
SAB	3.3	PET	8.3		
SAB	2.9	PET	8.8 ^M		
Total SAB	8.2	PET	10.5		
		PET	8.0		
BOB	7.2	PET	10.0		
BOB	5.8	Total PET	47.5		
BOB	7.6				
BOB	7.5				
BOB	10.0				
BOB	5.0				
BOB	3.9				
Total BOB	47.0				
BOJ	5.7				
BOJ	2.7				
Total BOJ	8.4				

M: Les arbres morts sont exclus des calculs

% de recouvrement de la Canopée: -résineux 5%
 -feuillus 70%
 -ouvert 25%

Régénération: Sab moyenne, ERR faible






ANNEXE 3

STATISTIQUES DES AIRES CLASSIFIÉES
MEIS 11 ET DEADALUS MSS








Statistiques des aires classifiées - MEIS

165









Secteur Nord-est

	Class	Pixels	Hectares	% Area	Accuracy%
	Unclassified	6663	2.932	2.542	
	EAU	14874	6.545	5.674	96.785
	AULNAIE	22443	9.875	8.561	49.843
	PESSIÈRE	86295	37.970	32.919	65.721
	FEUILLUS	131869	58.022	50.304	76.631









Secteur Nord-ouest

	Class	Pixels	Hectares	% Area	Accuracy%
	Unclassified	3554	1.564	1.356	
	EAU	15028	6.612	5.733	96.761
	AULNAIE	46809	20.596	17.856	83.333
	PESSIÈRE	64881	28.548	24.750	73.388
	FEUILLUS	119344	52.511	45.526	96.131
	ESPACE OUVERT	9564	4.208	3.648	57.781
	ANTHROPIQUE	2964	1.304	1.131	94.118

Secteur Sud-est









	Class	Pixels	Hectares	% Area	Accuracy%
	Unclassified	10855	4.776	4.141	
	AULNAIE	1587	0.698	0.605	37.813
	PESSIÈRE	53815	23.679	20.529	96.968
	FEUILLUS	107591	47.340	41.043	86.022
	ANTHROPIQUE	2244	0.987	0.856	64.547
	EAU	76815	33.799	29.303	97.902
	VÉG. AQUATIQUE	2329	1.025	0.888	50.877
	TOURBIÈRE	6908	3.040	2.635	59.796

Secteur Sud-ouest










	Class	Pixels	Hectares	% Area	Accuracy%
	Unclassified	7388	3.251	2.818	
	EAU	8959	3.942	3.418	96.445
	AULNAIE	6375	2.805	2.432	76.857
	VEGETATION AQUA.	569	0.250	0.217	90.323
	PESSIÈRE	73150	32.186	27.905	96.452
	FEUILLUS	127517	56.107	48.644	91.048
	ANTHROPIQUE	1702	0.749	0.649	82.301
	ESPACE OUVERT	36484	16.053	13.918	92.582

Statistiques des aires classifiées - DAEDALUS

Secteur Nord

	Class	Pixels	Hectares	% Area	Accuracy%
	Unclassified	10802	13.502	4.121	
	EAU	9802	12.252	3.739	100.000
	AULNAIE	87709	109.636	33.458	29.688
	PESSIERE	64638	80.798	24.657	87.619
	FEUILLUS	82357	102.946	31.417	87.894
	VEGE. AQUA.	603	0.754	0.230	72.928
	ESPACE OUVERT	4725	5.906	1.802	53.053
	ANTHROPIQUE	1508	1.885	0.575	81.633

Secteur Sud

	Class	Pixels	Hectares	% Area	Accuracy%
	Unclassified	7708	9.635	2.940	
	eau	11528	14.410	4.398	87.832
	AULNAIE	3283	4.104	1.252	61.194
	PESSIERE	130299	162.874	49.705	70.492
	FEUILLUS	66608	83.260	25.409	63.766
	ESPACE OUVERT	30492	38.115	11.632	83.607
	ANTHROPIQUE	1849	2.311	0.705	72.340
	TOURBIERE	8281	10.351	3.159	95.455
	VEGET. AQUA.	2096	2.620	0.800	90.909

