

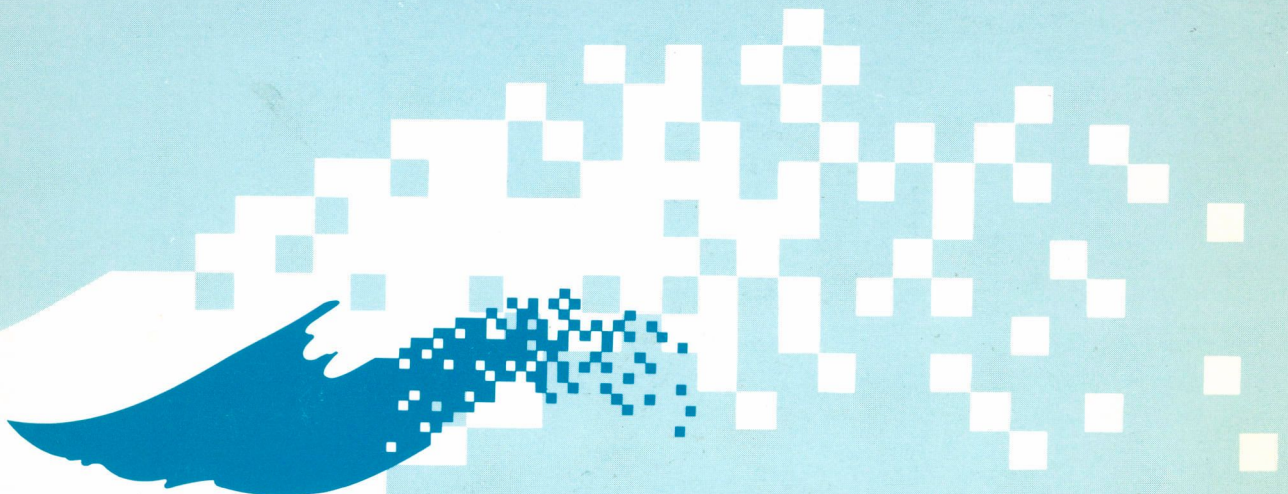
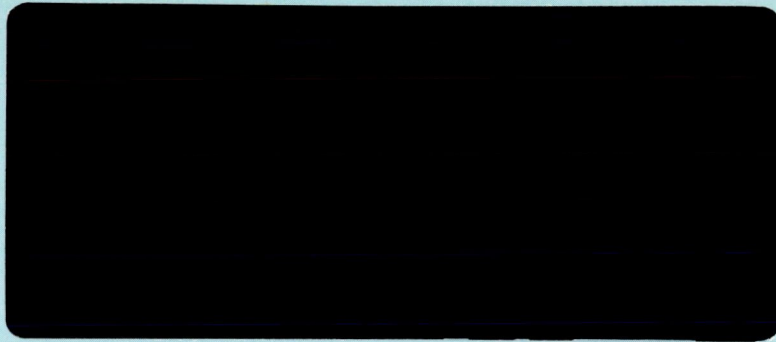


Environnement
Canada

Environment
Canada

Conservation et
Protection

Conservation and
Protection



PLAN D'ACTION SAINT-LAURENT ST. LAWRENCE ACTION PLAN

CENTRE SAINT-LAURENT
ST. LAWRENCE CENTRE

24356

SC1001
028é

SC1001
028^e

CSL 49

Etude de faisabilité sur la
cartographie des rives du
fleuve Saint-Laurent au
moyen de la télédétection

ETUDE DE FAISABILITE
SUR LA CARTOGRAPHIE DES RIVES
DU FLEUVE SAINT-LAURENT
AU MOYEN DE LA TELEDETECTION

réalisée pour

ENVIRONNEMENT CANADA
Conservation et protection

par

OCTOGRAPHE INC.
3645 Boul. Sainte-Anne
Beauport, QC, G1E 3L1

Mars 1989

TABLE DES MATIERES

1.0	INTRODUCTION	4
2.0	CADRE THEMATIQUE ET CONTRAINTES	5
2.1	Région à l'étude	5
2.2	Description de l'inventaire visé	5
2.3	Les objectifs de cartographie	6
2.4	Contraintes liées aux sites d'étude	7
2.5	Contraintes phénologiques	7
2.6	Contraintes hydrologiques	7
2.7	Contraintes liées à la météorologie	8
3.0	PROBABILITE D'ACQUISITION DES IMAGES ET DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES	9
3.1	L'imagerie satellitaire	9
3.2	Télédétection aérienne	12
3.3	La photographie aérienne	12
4.0	CONTENU EN INFORMATION DES DONNEES	13
4.1	L'imagerie satellitaire	13
4.2	L'imagerie multispectrale aérienne	14
4.3	La Photographie aérienne	18
5.0	TRAITEMENT DES DONNEES ET EXTRACTION DE L'INFORMATION	20
5.1	Pré-traitement des images numériques	20
5.2	Analyse des images numériques	21
5.3	Interprétation des photographies aériennes	21
5.4	Numérisation	22
5.5	Travaux de terrain	22
6.0	REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE	25
7.0	RESSOURCES HUMAINES ET EQUIPEMENTS	27

8.0	COUTS	31
8.1	Acquisition des données	31
8.2	Pré-traitement des données	31
8.3	Analyse des données	34
8.4	Travaux de terrain	34
8.5	Présentation des résultats	37
9.0	MODELES D'APPLICATION DES TABLEAUX DE COUTS	40
10.0	AVANTAGES ET DESAVANTAGES RESPECTIFS DES MOYENS D'ACQUISITION DES DONNEES	49
10.1	L'imagerie satellitaire	49
10.2	L'imagerie multispectrale aérienne	51
10.3	La photographie aérienne	52
11.0	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	56
12.0	LITTERATURE CONSULTEE	64
ANNEXE A	TABLEAUX DETAILLES DES RESSOURCES FINANCIERES NECESSAIRES A LA REALISATION DES TRAVAUX PAR PHOTOGRAPHIE AERIENNE.	66
ANNEXE B	TABLEAUX DETAILLES DES RESSOURCES HUMAINES NECESSAIRES A LA REALISATION DES TRAVAUX PAR PHOTOGRAPHIE AERIENNE.	81

1.0 INTRODUCTION

La faisabilité de cartographier les rives du Saint-Laurent au moyen de la télédétection repose sur les critères suivants:

- L'existence des données;
- Le contenu en information;
- Les moyens d'extraction de l'information;
- Les capacités de représentation cartographique;
- Les ressources nécessaires:
 - les ressources financières;
 - les ressources humaines;
 - les ressources matérielles (équipements);
 - les temps de réalisation.

Chacun de ces aspects a été analysé au cours de la présente étude, compte tenu du cadre thématique et des contraintes connues. Les différents paramètres de réalisation ont ainsi été dimensionnés et ils sont exposés succinctement dans le présent rapport.

Les valeurs sont ensuite appliquées à un triple modèle représentant un territoire type aux échelles 1:50 000, 1:20 000 et 1:5 000.

Ces modèles servent de synthèse et permettent de dégager les avantages et désavantages de chaque type de couverture, de même que des recommandations pour l'entreprise d'un projet d'envergure.

2.0 CADRE THEMATIQUE ET CONTRAINTES

2.1 Région à l'étude

Le territoire considéré comprend les rives du fleuve Saint-Laurent de la frontière canado-américaine (Cornwall) à Blanc-Sablon sur la rive nord. Sur la rive sud, elle englobe le pourtour de la Gaspésie, en incluant les Iles-de-la-Madeleine.

Les rives comprennent les milieux humides et les sous bassins versants, ce qui correspond à une bande de terre de quelques kilomètres.

2.2 Description de l'inventaire visé

Il s'agit d'une mise à jour cartographique des milieux humides et des affectations riveraines des terres situées en bordure du fleuve Saint-Laurent. Nous présentons une brève description de ces deux catégories, les milieux humides et les affectations riveraines, ainsi que de leurs constituantes.

2.2.1 Définition des milieux humides

Les milieux humides tels qu'envisagés dans cette étude correspondent à ceux définis par Couillard et Grondin (1986). Selon eux, les milieux humides regroupent l'ensemble des sites saturés d'eau ou inondés pendant une période suffisamment longue pour influencer, dans la mesure où elles sont présentes, les composantes sol et végétation. Comme Gauthier (1977) a précisé que ces milieux sont touchés par des fluctuations périodiques du niveau d'eau, Couillard et Grondin (1986) les divisent en systèmes marégraphique et riverain selon l'origine de cette fluctuation. Ainsi, selon Couillard et Grondin (1986), les milieux humides localisés dans les zones du fleuve Saint-Laurent influencées par le phénomène de la marée, qu'elle soit journalière, bimensuelle (marée de vives eaux) ou saisonnière (marée d'équinoxe), caractérisent le système marégraphique. Par contre, les milieux humides associés à la variation saisonnière d'un plan d'eau douce et présentant une crue printanière suivie d'un étiage en été et d'un occasionnel débordement automnal relèvent du système riverain. La délimitation spatiale de ces deux systèmes au niveau du fleuve Saint-Laurent se conforme à celle de Gauthier (1977). A noter que les tourbières, bien qu'appartenant aux milieux humides selon Couillard et Grondin (1986), sont incluses dans la catégorie des affectations riveraines.

En ce qui concerne les constituantes des milieux humides, il y a 6 classes physionomiques pouvant être localisées, identifiées et caractérisées par télédétection. Celles-ci sont: le marécage, le marais, la prairie humide, l'herbier aquatique, le substrat dénudé et l'eau libre. Ces classes se retrouvent dans les systèmes marégraphique et riverain et correspondent au deuxième niveau de classification de Couillard et Grondin (1986).

Brièvement, l'herbier aquatique caractérise la végétation submergée en permanence. Le marais, qui est périodiquement inondée et caractérisé par une végétation adaptée, comprend une végétation flottante, émergente et même ligneuse. Lorsque le taux de recouvrement de cette matière ligneuse est supérieure à 25%, nous sommes alors en présence d'un marécage. Le substrat dénudé et l'eau libre complètent les classes physionomiques potentielles des milieux humides.

2.2.2 Définition des affectations riveraines potentielles

Les affectations riveraines des terres situées en bordure du fleuve Saint-Laurent peuvent former 5 classes générales: eau turbide, forêt, agriculture, structures anthropiques et tourbières. A l'exception des classes eau turbide et tourbière, les autres possèdent des subdivisions. Ainsi, la classe forêt englobe les peuplements feuillus, résineux et mélangés. Celle de l'agriculture regroupe les pratiques extensives et intensives. Quant aux activités anthropiques, elles comprennent les structures urbaines et l'artificialisation des rives.

2.3 Les objectifs de cartographie

Selon l'importance des sites et selon la capacité des moyens de télédétection, la cartographie pourrait être réalisée aux échelle 1:50 000, 1:20 000 ou 1:5 000.

La précision d'une cartographie thématique se mesure normalement en terme d'aire minimale et de précision de la localisation des éléments (limite entre deux thèmes ou périmètre d'un thème).

L'aire minimale normale en cartographie thématique est d'un centimètre carré sur la carte, soit, sur le terrain:

- 250 000 m² au 1:50 000 (25 ha);
- 40 000 m² au 1:20 000 (4 ha);
- 2 500 m² au 1: 5 000 (0.25 ha).

La norme de précision pour la localisation des éléments est de 1 mm, soit, sur le terrain:

- 50 m au 1:50 000;
- 20 m au 1:20 000;
- 5 m au 1: 5 000.

A cause de la configuration spéciale de certains milieux humides (voir la section suivante) on doit introduire la notion de largeur minimale, soit la plus petite distance entre les deux côtés d'un élément longiforme. Pour des contraintes d'extraction de l'information autant que de représentation cartographique, cette limite est fixée à 2 mm sur le document, soit, sur le terrain:

- 100 m au 1:50 000;
- 50 m au 1:20 000;
- 10 m au 1: 5 000.

2.4 Contraintes liées aux sites d'étude: étendue minimale.

Les milieux humides étant souvent localisés le long des plans d'eau, principalement en bandes longitudinales, ils doivent présenter une étendue spatiale suffisante, dans le sens transversal surtout, pour être d'abord détectés, puis classifiés et représentés cartographiquement.

2.5 Contraintes phénologiques: variables géographiquement.

De Cornwall (Ontario) au lac Saint-Pierre, la période d'observation adéquate s'étend de la mi-juillet à la mi-septembre.

Entre Grondines et Kamouraska, celle-ci va de la mi-juillet à la fin d'août.

Finalement, à l'est de Kamouraska et de Baie Saint-Paul, elle est limitée au mois d'août strictement.

2.6 Contraintes hydrologiques: niveau d'eau et turbidité.

Le niveau d'eau doit être le plus bas possible, en système marégraphique comme en système riverain. Il s'agit d'une condition critique pour l'observation adéquate des marais, des herbiers aquatiques et des algues submergées. Cette condition doit de plus

coïncider avec un passage satellitaire ou aérien.

Egalement, une turbidité trop élevée va nuire à l'identification de la végétation submergée (herbier et algue).

2.7 Contraintes liées à la météorologie: la couverture nuageuse.

Idéalement, une absence complète de nuage et de voile atmosphérique est nécessaire pour ce genre d'inventaire. Toutefois, il est logique de tolérer un faible pourcentage de l'un ou de l'autre tant que cela n'affecte pas la précision de l'inventaire.

3.0 PROBABILITE D'ACQUISITION DES IMAGES ET DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES.

3.1 L'imagerie satellitaire

Les tableaux 1 et 2 donnent la liste des images TM disponibles pour deux secteurs types, soient les basses-terres du Saint-Laurent et la péninsule gaspésienne. Toutes les bonnes images tombant dans les créneaux d'observation (voir section 2.5) ont été inventoriées de 1984 à 1988, soit sur une période de 5 ans (C.Q.C.T., 1989). Voici les résultats de la compilation sur chaque secteur:

Secteur	Basses-Terres du Saint-Laurent	Péninsule gaspésienne
Nombre de passage par saison	4	2
Nombre de scènes inventoriées	6	6
Nombre de quadrants possibles	480	240
Nombre de quadrants disponibles	104	24
Probabilité d'acqui- sition par passage	22%	10%

Ces résultats, puisqu'ils dépendent essentiellement de la météo, sont aussi applicables au satellite SPOT, sauf que le nombre de passages en visée verticale de ce dernier (période de 26 jours) est de 2 et 1 pour chacune des zones.

Par contre, le satellite SPOT offre la possibilité de dépointage (visée oblique sur demande). Considérant les problèmes de pénétration du signal dans l'eau (d'où une difficulté à détecter la végétation submergée), les problèmes de géocodages en territoire accidenté et les problèmes de programmation du captage, on ne pourra tolérer un écart supérieur à une orbite de part et d'autre de la visée verticale. Cela à quand même pour effet de tripler le nombre de visées sur un site donné, ce qui donne 6 et 3 visées par saison pour chacune des zones décrites ci-haut.

TABLEAU 1

Images TM utilisables en regard du projet entre 1984 et 1988 sur le secteur des basses-terres du Saint-Laurent: 71°W à 75°W; 45°N à 47°N.

Scène	Date d'acquisition	Quadrant			
		1 \	2 \	3 \	4
13-27	01-09-85		X	X	X
	23-07-88	X	X	X	X
13-28	20-07-84			X	
	01-09-85		X	X	
	17-09-85	X		X	
	06-08-87	X	X	X	X
	23-07-88	X	X	X	
	09-09-88	X	X	X	X
14-28	04-08-84	X	X	X	X
	20-08-84	X	X	X	X
	08-09-85		X	X	X
	10-08-86			X	
	26-08-86	X	X	X	X
	13-08-87	X	X	X	X
	30-07-88		X	X	X
	16-09-88	X	X	X	X
14-29	04-08-84	X	X		
	20-08-84	X			
	22-07-85	X			
	08-09-85	X	X		
	26-08-86	X	X		
	13-08-87	X	X		
	30-07-88	X	X		
	16-09-88	X	X		
15-28	27-08-84		X		
	12-09-84	X	X	X	X
	13-07-85	X	X	X	X
	14-08-85	X	X		X
	15-09-85	X	X	X	X
	05-09-87	X	X	X	X
	07-09-88		X	X	X
15-29	13-07-85	X	X	X	X
	14-08-85		X		
	15-09-85	X	X	X	X
	02-09-86			X	
	05-09-87	X	X	X	X
	07-09-88	X	X	X	

TABLEAU 2

Images TM utilisables en regard du projet entre 1984 et 1988 sur le secteur de la péninsule gaspésienne: 64°W à 67°W; 47.5°N à 49.5°N.

Scène	Date d'acquisition	Quadrant			
		1 \	2 \	3 \	4
09-26	23-08-86			X	
09-27	28-08-86	X			
10-26	14-08-86	X	X	X	X
	03-08-88	X	X		
	04-09-88	X	X	X	
10-27					
11-26	30-07-84	X			X
	02-08-85		X	X	X
	18-08-85		X		X
11-27	30-07-84	X	X	X	
	02-08-85	X	X	X	

3.2 Télédétection aérienne

Considérant la disponibilité des équipements (1 seul avion pour desservir tout le Canada) et les contraintes spécifiques concernant l'orientation des lignes de vol par rapport au soleil, on estime à 25% la probabilité de tirer profit des 10 à 12 périodes de 2 heures aptes au captage (dans la région des basses-terres du Saint-Laurent, par saison, sur les 2 mois de créneau).

En utilisant une résolution de 5 m, on couvre environ 600 km² à l'heure, ce qui donne un total par saison de 3 200 km². A une résolution de 1 m, on couvre environ 60 km² à l'heure, ce qui donne une possibilité de 330 km² par saison.

Dans la région de la péninsule gaspésienne, ces possibilités sont de 5 à 10 fois plus faibles (créneau 2 fois plus court, météo 2 fois moins favorable, déplacement vers le site plus long).

3.3 La photographie aérienne

Les statistiques d'acquisition des couvertures photographiques sont basées sur un modèle où l'ensemble du territoire, soit les rives et une bande de terre, représente 50 000 km².

A l'échelle 1:40 000, il faut 2500 clichés pour photographier cette superficie avec un recouvrement stéréoscopique adéquat. A l'échelle 1:15 000, il en faut 16 000.

Dans les deux cas, la couverture est réalisable (avec une probabilité de succès de 95%) sur une période de 3 ans, à l'intérieur des créneaux énoncés en 2.5, en autant que soient prévus des coûts de mise en attente des avions (voir 8.1).

A l'échelle du 5 000 il est réaliste de couvrir une superficie de 3 000 à 5 000 km² sur la même période, avec les mêmes conditions et contraintes et la même probabilité de succès.

4.0 CONTENU EN INFORMATION

Dans cette section, nous traitons du potentiel qu'offrent la télédétection multispectrale (satellitaire ou aérienne) et la photographie aérienne en regard de l'inventaire visé (voir section 2.2). Pour chacun des ces trois moyens d'acquisition des données, nous présentons d'abord une courte revue de littérature démontrant leurs possibilités, ainsi qu'un tableau synthèse qui permettra de mieux cerner chacun d'eux. Ce tableau synthèse indique la capacité de détection et de catégorisation que peut atteindre chaque moyen d'acquisition face à la thématique étudiée. Ainsi, la cote "Très satisfaisant" est attribuée aux données permettant une connaissance optimale de la classe envisagée, tenant compte des exigences des observateurs. Les cotes subséquentes "Satisfaisant", "Moyen" et "Pauvre" correspondent à une aptitude de moins en moins grande vis-à-vis la classe étudiée. Finalement, la cote "Non-applicable" indique soit que les données (satellitaires, aériennes ou photographiques) ne sont pas adaptées à l'observation de ce thème, soit une absence de littérature ou d'expérience connue.

4.1 L'imagerie satellitaire

En parcourant la littérature traitant des recherches où l'imagerie satellitaire est appliquée à l'inventaire des milieux humides, nous constatons que bien que son utilisation vise principalement des objectifs d'évaluation de performance dans un contexte local (Hardisky et al., 1986; Lambert, 1986; Gross et Klemas, 1985; Tomlins et Thompson, 1981), deux inventaires de grande envergure ont été complétés par les données satellitaires (Koeln et al., 1987; Dobson et Bright, 1986).

Les recherches effectuées sur les milieux humides par télédétection montrent que les meilleurs résultats sont obtenus à partir de données acquises par imagerie multispectrale (Lessard et al., 1987). Celle-ci devrait posséder une bande verte (0,4-0,5 μm) sensible à la profondeur d'eau et aux sédiments en suspensions, une bande rouge (0,5-0,6 μm) sensible au sol nu (sans couvert de végétation), une bande du proche-infrarouge (0,7-0,9 μm) sensible à la structure des tissus et à la biomasse et une bande de l'infrarouge moyen (1,5-1,75 μm) sensible à la vigueur des végétaux (décomposition, maladie, etc.). Actuellement, bien que les capteurs aéroportés soient plus utilisés que les satellites en raison de la résolution spatiale fine qu'ils peuvent atteindre (Gross et Klemas, 1985) l'imagerie satellitaire TM possède néanmoins toutes ces longueurs d'onde.

En ce qui concerne les résultats d'expériences, ils montrent que certains constituants des milieux humides sont beaucoup plus facilement détectés que d'autres et que les données et/ou le traitement n'apportent pas toujours les nuances requises pour

séparer une classe spécifique (des milieux humides) d'une autre. A ce sujet, la littérature révèle que les groupements de végétaux les mieux détectés et discriminés sont: les arbres, les herbacés à large feuille, les végétaux de marais inondés et les végétaux de hauts marais (Lessard et al., 1987).

Il est en outre difficilement concevable que l'imagerie satellitaire puisse se rendre à un niveau de détail supérieur à la classe, i.e à l'espèce, sauf si celle-ci occupe un espace vaste et homogène. Quant qu'à la classe marécage, atteinte lorsque le taux d'occupation de la matière ligneuse dépasse 25%, la localisation de la limite inférieure vers le plan d'eau est réalisable. Par contre, celle de la limite supérieure l'est difficilement si un couvert forestier est en continu avec celui-là. Pour la télédétection des milieux humides émergés, il est reconnu que l'utilisation d'une résolution spatiale égale ou supérieure à 30 m est nécessaire (Hardisky et Klemas, 1985; Richardson et West, 1985). Pour l'herbier aquatique les données multispectrales de SPOT pourront être utilisées (Mouchot, 1989). En ce qui a trait aux affectations riveraines à discriminer dans ce type d'inventaire, nous pouvons affirmer que les données issues de l'imagerie satellitaire (Landsat TM et SPOT multispectral) permettent d'obtenir l'information recherchée avec un très bon niveau de précision.

Le tableau 3 présente le contenu en information de l'imagerie satellitaire en fonction de l'inventaire visé. Les cotes sont expliquées à la section 4.0.

4.2 L'imagerie multispectrale aérienne

En regard de l'inventaire des milieux humides, l'imagerie satellitaire fut principalement utilisée dans des zones vastes et homogènes situées en bordure du littoral océanique (Jensen et al., 1986). L'imagerie multispectrale aérienne, de par ses capacités de haute résolution spatiale et spectrale, offre plus de possibilités que l'imagerie satellitaire (Christensen et al. 1988; Jensen et al., 1986). Cependant, bien que l'imagerie multispectrale aérienne soit capable de fournir une résolution spatiale inférieure à un mètre, cela peut aussi causer des problèmes (Christensen et al., 1985, Jensen et al., 1984). Par exemple, selon certaines situations qui nécessitent plus d'un survol pour couvrir un secteur donné, il se peut que "l'assemblage" de ces images (formant des bandes parallèles) ne soit pas parfait i.e que la précision de superposition résultante soit supérieure à un pixel (Christensen et al., 1988). Pour l'imagerie satellitaire, cette contrainte est pratiquement inexistante et la précision de superposition est fréquemment inférieure à un pixel (Christensen et al., 1988).

TABLEAU 3

Contenu en information de l'imagerie satellitaire

	TM	SPOT XS	SPOT XP & TM	SPOT XP & XS
Classe physionomique				
Marécage	3	3	3	3
Marais	2	2	2	2
Prairie humide	3	2	3	2
Herbier submergé	3	2	3	2
Substrat dénudé	1	1	1	1
Eau libre	1	1	1	1
Affectation riveraine				
Eau turbide	1	1	1	1
Forêt	1	1	1	1
Agriculture	1	1	1	1
Activités anthropiques	2	1	1	1
Tourbières	1	2	1	2
Précision géométrique				
Aire minimale (m ²)	10 000	2 500	2 500	625
Localisation (m)	25	12	12	6
Largeur minimale (m)	50	25	25	12
Cote globale				
1:50 000	1	1	1	1
1:20 000	3	2	2	2
1: 5 000	-	-	-	-
1 = Très satisfaisant 3 = Moyen - = Non-applicable 2 = Satisfaisant 4 = Pauvre				

Un autre problème potentiel concerne l'interprétation des données (Christensen et al., 1988). En effet, les techniques d'extraction courantes, les accentuations et les classifications, s'appliquent bien pour des données issues d'imagerie satellitaire mais ne permettent pas toujours d'atteindre le niveau de caractérisation attendu par l'amélioration de la résolution spatiale et spectrale (Bonn, 1988). Une expérience réalisée sur un secteur continental de marais en Caroline du Sud (équivalant à notre système riverain), a démontré que même en utilisant une résolution spatiale de 5.6 m et une multitude de bandes spectrales adaptées à ces milieux, une catégorisation de la végétation en présence était nécessaire pour effectuer la cartographie du secteur (Christensen et al., 1988). Cette catégorisation rejoint sensiblement celle utilisée pour certaines applications effectuées par imagerie satellitaire notamment par Canard Illimitée (Koeln et al., 1987).

Les recherches font également ressortir que la télédétection aérienne présente les meilleures bandes spectrales pour l'étude de la végétation immergée (Grenier, 1988; Lambert et al., 1987). De par une meilleure pénétration dans l'eau, le capteur MEIS-II permet une délimitation plus précise de l'occupation spatiale de cette végétation. Par contre, en utilisant un ensemble de filtres optiques adaptés aux études aquatiques (d'autres filtres sont possibles selon les besoins visés), le MEIS-II ne dispose pas de longueur d'onde sensible au moyen infrarouge pour la discrimination des végétaux émergés comme le DAEDALUS. C'est pour cette raison que l'emploi simultané des capteurs MEIS-II et DAEDALUS est recommandé: le premier permettant d'explorer le milieu aquatique et le second, le milieu terrestre. Cependant, ces deux systèmes d'acquisition peuvent générer près de 20 bandes spectrales; on constate immédiatement la quantité gigantesque de données à traiter et il y aura donc des choix de bandes optimales complémentaires à réaliser pour l'analyse. Nous croyons que choisir 3 bandes situées dans le visible et 3 autres bandes localisées dans le proche et le moyen infrarouge conviendrait.

L'imagerie multispectrale aérienne, comme l'imagerie satellitaire, ne sera pas capable de bien délimiter la limite supérieure de la classe marécage si un couvert forestier est en continu avec celle-ci.

Finalement, nous pouvons affirmer que les affectations riveraines seront discriminées par les données issues de la télédétection aérienne, permettant d'obtenir l'information recherchée avec un très bon niveau de précision.

Le tableau 4 présente le contenu en information de l'imagerie multispectrale aérienne en fonction de l'inventaire visé. Les cotes sont expliquées à la section 4.0.

TABLEAU 4

Contenu en information de l'imagerie multispectrale aérienne

	MEIS-II		DAEDALUS	
	5 m	1 m	5 m	1 m
Classe physionomique				
Marécage	3	3	3	3
Marais	2	1	1	1
Prairie humide	1	1	1	1
Substrat dénudé	1	1	1	1
Herbier submergé	1	1	3	3
Eau libre	1	1	1	1
Affectation riveraine				
Eau turbide	1	1	1	1
Forêt	1	1	1	1
Agriculture	1	1	1	1
Activités anthropiques	1	1	1	1
Tourbières	1	1	1	1
Précision géométrique				
Aire minimale (m²)	400	16	400	16
Localisation (m)	5	1	5	1
Largeur minimale (m)	10	2	10	2
Cote globale				
1:50 000	1	1	1	1
1:20 000	1	1	1	1
1: 5 000	1	1	1	1
1 = Très satisfaisant	3 = Moyen	- = Non-applicable		
2 = Satisfaisant	4 = Pauvre			

4.3 La photographie aérienne

L'utilité de la photographie aérienne dans l'étude du couvert végétal a depuis longtemps été reconnue par les ingénieurs forestiers (Jacques, 1983). On utilisait principalement l'émulsion panchromatique à petite échelle (1:50 000) pour délimiter les zones d'homogénéité. Avec l'avènement des émulsions couleurs et surtout infrarouge couleurs, le champ d'application s'est étendu aux autres domaines d'études de la végétation, notamment à l'agriculture et à l'écologie (Gagnon, 1974).

Pour l'étude de la végétation émergente, les chercheurs indiquent que l'émulsion infrarouge couleurs est préférable aux émulsions couleurs et panchromatique noir et blanc (Jacques, 1983). Généralement, l'emploi de l'infrarouge couleurs produit un cliché plus clair pour l'analyse de ce type de végétation (Gagnon, 1974). Ce document, permettant un meilleur contraste, améliore la discrimination et la différenciation entre les espèces émergées (Jacques, 1983).

L'inventaire de la végétation submergée par photographie aérienne pose plusieurs difficultés. En effet, dû au faible pouvoir de pénétration dans l'eau de l'émulsion infrarouge couleurs et au faible contraste obtenu par l'émulsion panchromatique noir et blanc, l'émulsion couleurs est supérieure pour la cartographie et l'identification de la végétation submergée (Jacques, 1983).

Finalement, l'on retiendra que la photographie aérienne est à la base de l'établissement du Système national de référence cartographique du Canada et donc de la cartographie de base à différentes échelles (1:50 000 et 1:20 000). Ce système a des équivalents partout dans le monde. Il faut aussi retenir qu'un travail d'inventaire réalisé à partir d'une couverture aérienne suit une procédure qui a fait ses preuves et dispose donc de méthodes bien rodées.

Le tableau 5 présente le contenu en information de la photographie aérienne en fonction de l'inventaire visé. Les cotes sont expliquées à la section 4.0.

TABLEAU 5

Contenu en information des photographies aériennes

N&B = photographie aérienne en noir et blanc
 COU = " " " couleurs
 IRC = " " " infrarouge couleurs

	1:40 000 N&B-COU-IRC			1:15 000 N&B-COU-IRC			1:5 000 N&B-COU-IRC		
Classe Physionomique									
Marécage	3	3	3	2	2	2	2	2	2
Marais	3	3	3	2	1	1	2	1	1
Prairie humide	3	3	3	2	1	1	1	1	1
Herbier submergé	4	3	4	3	1	4	3	1	4
Substrat dénudé	3	1	1	1	1	1	1	1	1
Eau libre	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Affectation riveraine									
Eau turbide	2	2	2	1	1	1	1	1	1
Forêt	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Agriculture	2	2	2	1	1	1	1	1	1
Activités anthropiques	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tourbières	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Précision géométrique									
Aire minimale (m²)	160 000			20 000			2 500		
Localisation (m)	40			15			5		
Largeur minimale (m)	80			30			10		
Cote globale									
1:50 000	1			1			1		
1:20 000	3			1			1		
1: 5 000	-			3			1		
1 = Très satisfaisant	3 = Moyen			-			Non-applicable		
2 = Satisfaisant	4 = Pauvre								

5.0 TRAITEMENT DES DONNEES ET EXTRACTION DE L'INFORMATION

5.1 Pré-traitement des images numériques

Les images numériques satellitaires ou aériennes nécessitent d'être "pré-traitées" avant que ne débute leur analyse. Il existe trois types principaux de pré-traitement que peuvent subir les images numériques en regard de l'application visée:

- une correction radiométrique;
- une correction géométrique;
- un croisement.

La qualité des images produites par les satellites et la télédétection aérienne est constamment influencée par les effets atmosphériques. Le signal mesuré au niveau du capteur est perturbé par l'atmosphère. Il est possible, par une correction radiométrique, de transformer les niveaux de gris en réflectance apparente au niveau du capteur (Charbonneau et al., 1988). Cette correction vise à rendre compatible, pour un même territoire, des images acquises à des dates différentes. Ce critère permettra aussi d'effectuer un monitoring plus objectif d'un même lieu.

Les images numériques utilisées dans cet inventaire seraient achetées en mode géocodé ou subiraient une correction géométrique. En pratique, les images numériques corrigées géométriquement sont rééchantillonnées selon une taille variable de pixel (25 m pour TM, 12,5 m pour SPOT XS et 6,25 m pour SPOT XP), tournées et cadrées pour être compatibles avec le quadrillage Universel Transverse de Mercator (UTM) sur une carte du système national de référence cartographique (Thompson, 1982). Il va sans dire que cela répond à un besoin important du présent inventaire, i.e. la précision de la position spatiale (localisation).

Le croisement constitue une méthode de rehaussement visant à améliorer la qualité visuelle des produits photographiques en vue de faciliter l'interprétation (Charbonneau et al., 1988). Ce type de rehaussement combine la qualité spatiale (précision de localisation) avec la qualité spectrale (richesse d'information permettant la distinction des éléments) des canaux multibandes (Charbonneau et al., 1988; Chavez et al., 1988).

5.2 Analyse des images numériques

On entend ici l'ensemble des méthodes permettant d'extraire l'information des images, de manière à ce qu'elle puisse être représentée cartographiquement. Les méthodes d'extraction de l'information sont généralement de deux types:

- la classification numérique;
- l'interprétation visuelle.

Pour cartographier les rives du Saint-Laurent, un agencement des deux méthodes devra être utilisé. Les classifications numériques sont à privilégier, surtout lorsque plusieurs bandes spectrales sont utilisées (6 bandes avec TM et avec les scanneurs aériens). L'interprétation visuelle servira à éditer ou à interpréter les résultats des classifications numériques. Pour certains thèmes, l'interprétation visuelle sera réalisée directement sur une image accentuée.

Dans tous les cas, des procédés d'accentuation, de classification, d'interprétation et de vectorisation seront réalisés. Les résultats seront tous en format "vecteur": prêts à être intégrés dans un SIG ou à être cartographiés.

5.3 Interprétation des photographies aériennes.

La photo-interprétation, telle qu'envisagée dans cette étude, sera appliquée de façon conventionnelle. Le stéréoscope est la seule pièce d'équipement nécessaire à cette opération.

A titre de rappel, la photo-interprétation se décompose en une série d'opérations distinctes mais reliées: la détection, l'identification, l'analyse, la déduction et la classification (Gagnon, 1974).

Rappelons également que l'interprétation des photographies aériennes s'effectue grâce à la présence simultanée de plusieurs paramètres formant ainsi un objet ou une zone déterminée. Ces paramètres, variant d'un phénomène à un autre, présentent une combinaison illimitée et peuvent être décomposés ainsi: la forme, la taille, la teinte, la texture, l'arrangement, l'ombre, et l'effet stéréoscopique (Gagnon, 1974).

La photo-interprétation comme telle sera suivie du transfert de l'information sur un fond de carte. Une chambre claire (Sketch Master) est utilisée à cette fin. Au cours de la présente filière basée sur la photographie aérienne, cette étape joue le rôle de géocodage. Cela nécessite, il va sans dire, un fond de carte existant à l'échelle appropriée. L'échelle 1:5 000 peut présenter des problèmes car il n'y a pas de couverture systématique à cette échelle.

5.4 Numérisation

La numérisation consiste à transformer en format numérique "vecteur" l'information portée sur un fond de carte lors de l'étape de transfert. Un micro-ordinateur muni d'une table numérisante et d'un logiciel approprié est suffisant pour cette opération.

Note: Un format numérique "vecteur" est formée d'une suite de coordonnées X-Y. En reliant chaque point ainsi donné au suivant, on définit une suite de vecteurs placés bout à bout. Cette suite définit ainsi une ligne ou un polygone représentant un tracé sur la carte. Cette suite de vecteurs est ensuite affichable sur un visuel ou traçable par une traceuse X-Y.

Les coordonnées saisies sont normalement dans le système de référence de la carte (ex.: UTM). Le fond de carte au 1:20 000 étant basé sur un autre système de coordonnées (MTM), il sera nécessaire alors de faire une transformation géométrique de MTM à UTM. Une autre façon de faire consiste à transformer un certain nombre de points de la carte de MTM à UTM et de se servir de ces points de calage pour la numérisation. Dans ce cas, la numérisation est faite directement en UTM.

5.5 Travaux de terrain

L'objectif des travaux de terrain est de permettre une correspondance entre les données de télédétection ou de photographie aérienne et ce que l'on retrouve à la surface du sol (couvert de végétation ou type d'utilisation).

Plus spécifiquement, pour la cartographie résultant de la photo-interprétation, les travaux de terrain servent à deux choses: vérifier un certain nombre de sites afin d'évaluer la précision de l'interprétation; permettre une identification définitive de secteurs problématiques à l'interprétation.

En ce qui concerne la télédétection, satellitaire ou aérienne, ils servent à deux choses: caractériser une zone préalablement aux traitements numériques (classification ou accentuation); évaluer la précision de ces mêmes traitements (pourcentage de réussite et d'erreur); identifier les pixels non classifiés.

Un certain nombre de facteurs d'ordre pratique doivent être considérés préalablement aux travaux de terrain. Ces facteurs sont: le type d'échantillonnage; le type de relevé; les équipements de terrain requis.

L'aspect le plus contraignant d'un inventaire sur le terrain est le choix du type d'échantillonnage. En effet, ce dernier est conditionné par les buts de l'inventaire visé, le territoire à couvrir, le budget, le temps et l'accessibilité des secteurs. Dans la présente étude où la cartographie des milieux humides est visée, nous recommandons que l'emphase de l'échantillonnage de terrain soit portée sur ces derniers. A partir de cette prémisse, nous pouvons réaliser une "stratification" (découpage) du territoire à inventorier. Dans ce cas, le territoire est divisé en unité homogène et ce de façon grossière (habituellement sur une carte ou une photographie aérienne à petite échelle). Ces unités sont fonctions des classes visées par l'inventaire: agriculture, forêt, milieux humides, etc..

Nous recommandons que le choix des milieux humides à inventorier soit déterminé par des documents existants: étude académique ou gouvernementale, carte, photographie aérienne. En ce qui concerne les sites spécifiques à inventorier pour chaque milieu humide, nous préconisons un échantillonnage systématique i.e que la distance entre les sites spécifiques et l'azimut entre ceux-ci soient conservés. Cette approche minimise les biais et la subjectivité lors de l'échantillonnage de terrain et aura une répercussion pour la prochaine étape: le type de relevé.

Afin de relier les observations de terrain aux images de télédétection, on doit procéder sur le terrain par quadrat d'observation pour relever le pourcentage relatif de la végétation, i.e. les principales espèces dominantes et associées en présence. De plus, il serait préférable que les observations de terrain tiennent aussi compte de la structure de la végétation. Nous référons ici à la disposition dans l'espace de la végétation, de la hauteur, de la forme et de la stratification des plantes.

En ce qui regarde la télédétection, un quadrat d'observation devrait correspondre à la résolution spatiale d'une fenêtre de 4 pixels sur 4 pixels. On constate que pour les images TM, dont les pixels sont de 25 m de côté, cela représente un quadrat de 10 000 m² (1 ha) comparativement aux images aériennes où avec une

résolution de 5 m de côté le même quadrat ne couvrirait que 400 m² (0,04 ha).

Quant à la photographie aérienne, la surface requise pour les quadrats d'observation est variable selon l'échelle utilisée pour l'inventaire. Cette surface correspond à l'aire minimale et est présentée au tableau 3 pour les 3 échelles retenues dans cette étude.

Le nombre de sites ou de quadrats à inventorier dépend de la précision que l'on désire obtenir. Cependant, nous croyons que 30 sites relevés selon le découpage géographique des milieux humides au Québec proposé par Couillard et Grondin (1986) serait suffisant. Nous rappelons qu'au niveau du fleuve Saint-Laurent, soit la section du golfe, de l'estuaire et celle sans marée, Couillard et Grondin (1986) identifient 7 ensembles géographiques de milieux humides entraînant donc le relevé de 210 sites.

Finalement, en ce qui à trait aux équipements de terrain requis, nous signalons 3 pièces essentielles: un véhicule automobile ou un camion; un bateau pouvant contenir 3 personnes ayant un faible tirant d'eau et un moteur puissant (60 hp); une remorque pour le transport de ce même bateau. De plus, lors des relevés aquatiques, un système de positionnement du type "LORAN C" serait favorable car il permettrait de localiser l'embarcation et les quadrats d'échantillonnage en coordonnées géographiques (longitude et latitude) en deça de 100 pieds d'erreur.

6.0 REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE

La "représentaion cartographique" comprend l'ensemble des moyens mis en oeuvre pour afficher les résultats d'analyse (des images) ou de photo-interprétation. Les résultats des procédés d'extraction de l'information aboutissent tous en format "vecteur" géocodé de même type:

- l'interprétation assistée par ordinateur donne immédiatement ce format;
- l'analyse de type "raster" (comme une classification numérique) est suivie d'une vectorisation;
- l'interprétation des photographie aériennes est suivie du transfert sur un fond de carte (géocodage) et de la numérisation (mise en format vecteur).

Les procédés d'affichage (ou de représentation cartographique) se divisent en deux grandes classes:

- 1) l'affichage sur un visuel;
- 2) l'affichage sur un document.

On peut également parler d'affichage systématique et d'affichage spécifique.

L'affichage systématique consiste à reproduire sur des documents (une carte à un ou plusieurs feuillets) l'ensemble de l'information résultant d'un projet.

L'affichage spécifique consiste à extraire et à afficher une partie de l'information répondant à des critères précis en terme de thématique et de localisation géographique. C'est normalement le résultat d'une consultation ou d'une requête effectuée au moyen d'un "système d'information géographique" (SIG).

Un SIG devient donc l'aboutissement de l'information obtenue par télédétection ou par photographie aérienne. C'est pourquoi nous divisons la "représentation cartographique" en deux temps:

- l'intégration des données dans un SIG;
- la cartographie comme telle (types 1 et 2).

L'intégration des données dans un SIG comporte les étapes suivantes:

- transférer les données de nature cartographique (l'information extraite des images ou des photographies aériennes en format vecteur) dans les formats appropriés du système;
- transférer les attributs accompagnant déjà ces données (ex.: classe d'appartenance, centroïde, superficie, ...) dans les formats appropriés du système;
- introduire tout autre attribut nécessaire à l'élaboration de la base de données;
- organiser l'information (découpage, assemblage, validation, filtrage, ...) de manière à permettre la consultation ou l'analyse.

La cartographie de "type 1" est une cartographie systématique, faite à une échelle donnée, sur des coupures de dimensions précises et représentant un territoire précis, que l'on appelle feuillet. L'information est normalement rendue par des attributs graphiques de couleur et de trame. Elle est normalement superposée à l'information contextuelle, soit un fond de carte (réseau hydrologique, routier, courbes orographiques, bathymétriques, ...). Pour des besoins d'évaluation dans la présente étude, nous proposons une méthode consistant à fabriquer une image trichrome à partir de toute l'information contenue dans chaque feuillet, à sortir cette image sur film par un procédé de photo-impression (par exemple le FIR du Centre canadien de télédétection) et à reproduire la carte par procédé normal d'impression couleur, tout en l'incorporant à un fond de carte.

La cartographie de "type 2" consiste à tracer l'information au moyen d'une traceuse X-Y. On peut tracer avec des plumes de couleur (normalement 8 couleurs à la fois) et différentes trames peuvent être utilisées pour tracer les lignes ou pour remplir les polygones. Il est également possible de tracer sur des fonds de carte existants, tout en assurant la précision de localisation de l'information thématique par rapport au fond de carte. Ce type de cartographie est normalement utilisé pour des affichages spécifiques, résultant de consultations d'un SIG. Pour des besoins d'évaluation dans la présente étude, nous allons prendre en compte une couverture systématique par feuillets.

7.0 RESSOURCES HUMAINES ET EQUIPEMENTS

Cinq catégories de personnel peuvent intervenir dans les différentes opérations:

- 1) Professionnel sénior (chargé de projet);
- 2) Professionnel junior (spécialiste en télédétection ou thématicien);
- 3) Opérateur interprète;
- 4) Photo-interprète;
- 5) Technicien.

Deux types de systèmes informatisés sont éventuellement nécessaires:

- 1) Système de traitement d'images, muni d'un dérouleur de bandes et d'une table numérisante, avec les logiciels appropriés de correction radiométrique, de correction géométrique, de croisement, de classification, d'accentuation, de filtres post-classification, d'interprétation assistée, de vectorisation et de transfert de données vecteur;
- 2) Système de numérisation, muni d'une table numérisante et d'un logiciel de numérisation.

Les opérations de pré-traitement et d'analyse des images numériques font appel aux catégories de personnel 1,2 et 3, de même qu'au système de traitement d'images.

Le tableau 6 donne la répartition des temps du personnel et du système informatisé pour les opérations de pré-traitement. Le tableau 7 présente les données équivalentes pour les opérations d'analyse. Dans les deux cas, les temps sont applicables à une image type de 10 millions de pixels, peu importe la résolution.

Note: les temps du système informatisé sont donnés à titre indicatif. Ils reflètent la situation pour un système basé sur un micro-ordinateur de haut-niveau. Certains systèmes peuvent être plus rapides, mais leur taux horaire est en conséquence, de sorte que le calcul de coût donne sensiblement le même résultat.

TABLEAU 6

Répartition des temps reliés aux opérations de pré-traitement pour une image type de 10 millions de pixels (en heures).

Opération	Professionnel sénior	Professionnel junior	Opérateur interprète	Système
Correction radiométrique (par bande):	0.2	2.0	-	2.0
Correction géométrique:				
établissement du modèle	0.5	5.0	-	5.0
rééchantil- lonnage (par bande)	-	0.5	2.0	8.0
Croisement (par bande):	0.2	0.5	1.0	4.0

TABLEAU 7

Répartition des temps reliés aux opérations d'analyse des images numériques pour une image type de 10 millions de pixels (en heures).

	Professionnel sénior	Professionnel junior	Opérateur interprète	Système
Temps de base (3 bandes spectrales)	6.0	25.0	40.0	60.0
Bande supplé- mentaire	-	1.0	1.5	2.0

Les catégories de personnel 1, 2, 4 et 5 sont nécessaires aux opérations de terrain et de photo-interprétation des photographies aériennes. Un système de numérisation est également utilisé.

Les tableaux détaillés de l'annexe B donnent la répartition de temps de chaque catégorie de personne et du système informatisé pour ces opérations.

Finalement, le tableau 8 donne les temps relatifs aux opérations reliées à la cartographie des résultats, par feuillet.

TABLEAU 8

Temps reliés à la représentation cartographique pour un feuillet au 1:50 000* (en heures).

Opération	Professionnel sénior	Professionnel junior	Opérateur interprète	Système
Transfert vers un SIG	0.1	1.0	2.0	2.0
Cartographie de type 1	0.5	6.0	2.0	8.0
Cartographie de type 2**	-	0.4	1.0	5.0

* Les temps sont sensiblement les mêmes pour un feuillet au 1:20 000 ou 1:5 000.

** Un système à configuration réduite (un micro-ordinateur, une traceuse X-Y et un logiciel de traçage) suffit pour cette opération. Ajouter 1 heure de système au 1:20 000 ou au 1:5 000.

8.0 COUTS

8.1 Acquisition des données

Le tableau 9 donne les coûts d'acquisition des données pour TM et SPOT, pour les scanneurs aériens (2 résolutions) et pour la photographie aérienne (3 échelles). Dans le cas des images satellitaires, le géocodage est inclus dans les coûts d'acquisition. Cela donne un meilleur rapport qualité-prix comparativement à l'achat des données brutes et du géocodage subséquent.

Les coûts de l'imagerie multispectrale aérienne sont établis en fonction d'un survol au-dessus du Lac Saint-François. Pour des régions éloignées, il faut ajouter les frais de déplacement vers le site au taux de 2.25 \$ le kilomètre.

Pour la photographie aérienne, les prix comprennent l'acquisition, le traitement du film et l'impression d'une copie. Il faut ajouter les frais de mobilisation des appareils en région éloignée. Ces frais sont discutables cas par cas.

8.2 Pré-traitement des données

Les pré-traitements sont applicables aux données numériques. Le tableau 10 donne les coûts reliés à une image type représentée par trois bandes spectrales de 10 Meg chacune (soit 10 millions de pixels). C'est approximativement la taille d'un quadrant TM.

Les coûts d'établissement du modèle de correction géométrique sont proportionnels au nombre de pixels (peu importe le nombre de bandes). Toutes les autres opérations sont proportionnelles au nombre de pixels et au nombre de bandes.

Les taux données au tableau 10 sont applicables à toute résolution spatiale. Le chapitre 9 présente plusieurs exemples d'application.

TABLEAU 9

Coûts d'acquisition des données

Les prix figurant sur cette page sont exprimés en dollars par km².

Imagerie satellitaire (scène géocodée)

TM	(3 bandes spectrales, pixel de 25 m)	0.18
TM	(7 bandes, pixel de 25 m)	0.38
SPOT XS	(3 bandes, pixels de 12.5 m)	1.39
SPOT XP	(panchromatique, 1 bande, pixel de 6.25 m)	1.58

Imagerie multispectrale aérienne

MEIS-II & DAEDALUS	(6 bandes, pixel de 5 m)	12.00
MEIS-II & DAEDALUS	(6 bandes, pixel de 1 m)	134.00

Photographie aérienne

1:40 000	Noir & blanc	5.69
	Couleur & infrarouge couleur	6.18
1:15 000	Noir & blanc	12.12
	Couleur & infrarouge couleur	15.33
1:5 000	Noir & blanc	83.84
	Couleur & infrarouge couleur	111.75

TABLEAU 10

Coûts de pré-traitement pour une image type de 10 millions de pixels

Correction radiométrique:	160 \$/bande
---------------------------	--------------

Correction géométrique:

établissement du modèle	400 \$
-------------------------	--------

rééchantillonnage	400 \$/bande
-------------------	--------------

Croisement*	220 \$/bande
-------------	--------------

* applicable à 10 millions de pixels de sortie.

8.3 Analyse des données

8.3.1 Données numériques

Les méthodes d'analyse sont présentées dans la section 5.2. Les taux du tableau 11 sont reliés à une image type de 10 millions de pixels, comme expliqué ci-haut. L'expérience démontre que les coûts sont quasi indépendants de la méthode d'analyse. De plus, ils varient peu avec l'échelle de sortie. Cela peut paraître paradoxal, mais cela s'explique par le phénomène suivant: à plus grande échelle, on a plus de polygones d'interprétation à extraire et à manipuler, mais à plus petite échelle on a un plus grand effort de généralisation ou de synthèse. Ces deux paramètres ont tendance à se compenser, de sorte que les coûts d'analyse dépendent de la taille du pixel d'entrée plutôt que de l'échelle de sortie.

Le tableau 11 ne ventile pas les différentes opérations, puisque la proportion de chacune peut être variable selon le type de terrain. La somme est plutôt constante d'une situation à une autre.

8.3.2 Interprétation des photographies aériennes

L'annexe A présente divers modèles de couverture aux échelles 1:40 000, 1:15 000 et 1:5 000 en vue d'une représentation cartographique au 1:50 000, 1:20 000 et 1:5 000. Le tableau 12 résume les coûts d'analyse extraits de l'annexe A. Ces coûts comprennent l'interprétation des photographies aériennes, le transfert et la numérisation, de sorte que les résultats sont de même nature que ceux provenant des méthodes numériques.

8.4 Travaux de terrain

L'ampleur des travaux de terrain est fonction de l'échelle visée et de la densité de l'information à extraire, principalement en ce qui concerne les milieux humides.

Nous proposons une grille de taux (tableau 13) à trois échelles et pour trois régions. Cette grille est tirée des tableaux données en annexe (A), où l'on retrouve une ventilation plus détaillée.

Ces taux sont indépendants du type de capteurs, que ce soit la télédétection satellitaire ou aérienne ou la photographie aérienne.

TABLEAU 11

Coûts d'analyse* pour une image type de 10 millions de pixels

Taux de base (3 bandes spectrales): 5 000. \$

Taux par bande supplémentaire: 160. \$

* ensemble des opérations d'accentuation, de classification, d'édition, d'interprétation, de vectorisation et de production de documents de terrain.

TABLEAU 12

Coût d'analyse des photographies aériennes en dollars par km²

Echelle de sortie	Région*		
	1	2	3
1:50 000	2.07	2.07	2.07
1:20 000	15.34	13.86	7.64
1:5 000	134.92	120.31	64.28

* Région 1: Cornwall-Lac-Saint-Pierre

Région 2: Lac-Saint-Pierre-Kamouraska

Région 3: de Kamouraska vers l'est du Québec.

TABLEAU 13

Coûts des travaux de terrain exprimés en dollars par km²

Echelle	1:50 000	1:20 000			1:5 000		
Région*		1	2	3	1	2	3
Plan de sondage	.15	.87	.77	.44	7.88	6.90	3.94
Terrain	1.86	13.62	9.26	5.29	57.74	47.90	27.37
Logistique	.43	8.58	4.56	2.43	49.81	22.22	11.90
Total	2.44	23.07	14.59	8.16	112.43	77.02	43.21

* Région 1: Cornwall-Lac-Saint-Pierre

Région 2: Lac-Saint-Pierre-Kamouraska

Région 3: A l'est de Kamouraska

8.5 Présentation des résultats

Le tableau 14 donne la base de calcul pour les opérations suivantes telles que décrites au chapitre 6:

- transfert des données vers un SIG;
- cartographie de type 1;
- cartographie de type 2.

8.5.1 Transfert des données vers un SIG

Les coûts rattachés à cette opération comprennent essentiellement la transcription de l'information sur des rubans magnétiques, dans un format standard de type SIF (Standard Interchange Format).

Ils ne comprennent pas l'intégration comme telle dans un SIG, pas plus que l'exploitation et la consultation de l'information sur un tel système. Ces tâches seraient normalement réalisées à l'interne chez l'organisme client.

8.5.2 Cartographie de type 1

Les coûts de la cartographie de type 1 varient légèrement en fonction de la taille des feuillets. Les feuillets normalement utilisés aux échelles 1:20 000 et 1:5 000 ont une superficie environ 50% plus grande que celle des feuillets 1:50 000. Les coûts dépendent également du tirage. Le tableau 14 donne les coûts pour 100 exemplaires.

Note: les coûts présentés au tableau 14 sont basés sur le procédé décrit au chapitre 6. Dans un avenir rapproché il sera possible de passer directement de la donnée en format vecteur (dans un SIG) aux planches d'impression. Cela aura une incidence à la baisse sur les coûts de cartographie de type 1, mais il n'est pas possible de l'évaluer présentement.

8.5.3 Cartographie de type 2

La cartographie de type 2 est normalement l'aboutissement d'une consultation sur un SIG et les coûts doivent être absorbés dans les frais d'exploitation du système. Cependant, on peut établir une grille de prix pour une sortie systématique au moyen d'une traceuse X-Y.

TABLEAU 14

Coûts de représentation cartographique

Echelle	1:50 000	1:20 000	1:5 000
Superficie d'un feuillet	1 000 km ²	250 km ²	16 km ²
Transfert vers un SIG:			
par feuillet (\$)	180.	180.	180.
au km ² (\$)	0.18	0.72	11.25
Cartographie de type 1 (100 exemplaires)			
par feuillet (\$)	3 200.	3 600.	3 600.
au km ² (\$)	3.20	14.40	225.
Cartographie de type 2 (1 exemplaire)			
par feuillet (\$)	140.	160.	160.
au km ² (\$)	0.14	0.64	10.0

Le tableau 14 n'inclut aucun montant ni pour la fabrication des cartes de bases pour une échelle donnée, ni pour une numérisation de ces cartes si elles existent, ni pour leur intégration dans un SIG le cas échéant.

Tous les prix du tableau 14 sont indépendants de l'origine de l'information (télédétection satellitaire ou aérienne, photographie aérienne). On présume en effet que, pour une échelle donnée, l'information est de même qualité et de même quantité quelle que soit la provenance.

9.0 MODELES D'APPLICATION DES TABLEAUX DE COUTS

Les modèles suivants sont des exemples d'application des divers tableaux de coûts donnés au chapitre 8. On a choisi un secteur type de 1 000 km² dans la région du lac Saint-Pierre. Cette superficie équivaut à celle d'un feuillet cartographique 1:50 000. C'est celle couverte par une image SPOT géocodée.

Le coût total donné à chaque colonne est celui de l'information prête à être lue par un SIG ou à être cartographiée. Pour chacune des échelles, on n'a conservé que les capteurs ou combinaison de capteurs adaptés à l'échelle en conformité avec les résultats des tableaux 3,4 et 5.

Pour ce qui est des images satellitaires, on suppose dans les tableaux suivants que toute la superficie acquise est effectivement utilisée. En réalité, pour des corridors comme ceux des rives du fleuve Saint-Laurent, il y aura beaucoup de pertes.

Les pertes se répercutent non seulement sur les coûts d'acquisition, mais également sur l'ensemble des pré-traitements et une fraction importante des coûts d'analyse. Les opérations de terrain et de représentation cartographique ne sont pas touchées par ces pertes, sauf la cartographie de type 1.

La figure 1 définit les termes "superficie acquise", "fenêtre traitée" et "superficie utile". Voici les règles permettant de résoudre la situation. On donne ici les opérations dont les taux se calculent en fonction de chacune des 3 superficies.

Superficie acquise: - Acquisition.

Fenêtre traitée:

- Corrections radiométriques;
- Corrections géométriques (s'il y a lieu);
- Croisement;
- 60% de l'analyse (extraction de l'information);
- Cartographie de type 1.

Superficie utile: - 40% de l'analyse;
 - Travaux de terrain;
 - Transfert des données vers un SIG;
 - Cartographie de type 2.

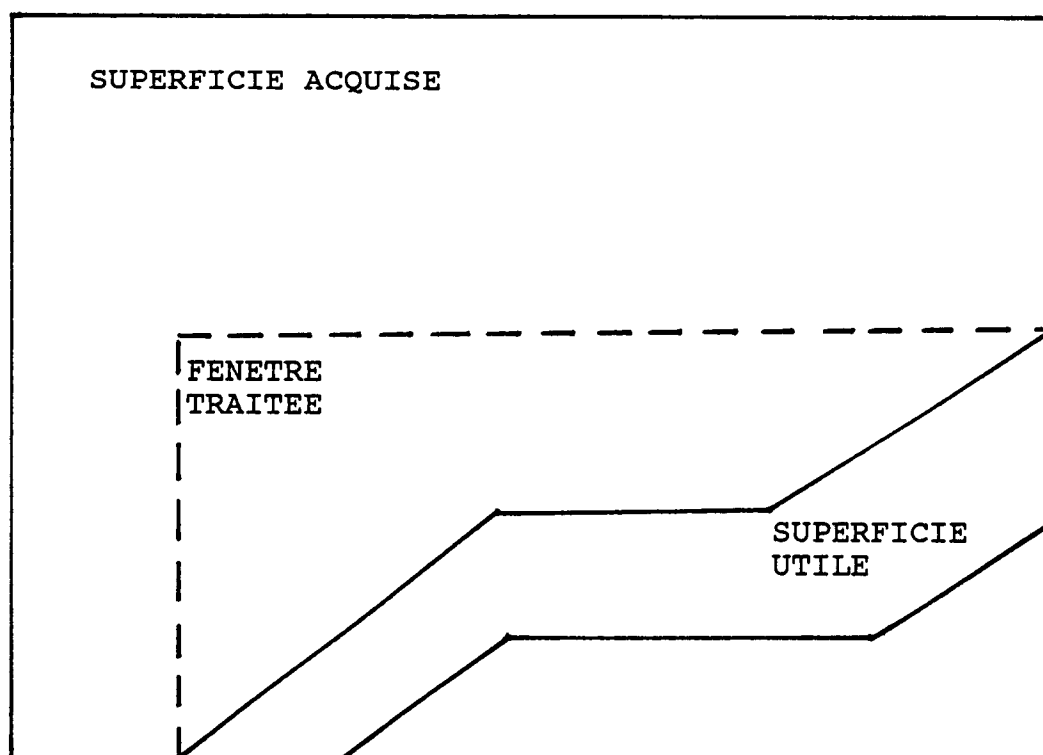


FIGURE 1

TABLEAU 15a

Application à un territoire de 1 000 km² à l'échelle du 1:50 000

	TM	SPOT XS	XP & TM	XP & XS
Nombre de bandes	6	3	1 6	1 3
Résolution à l'entrée (m)	25	12.5	6.25 25	6.25 12.5
Nombre de pixels par bande (Meg)	2	8	32 2	32 8
Acquisition des images géocodées (\$)	380.	1 385.	1 960.	2 965.
Pré-traitement:				
Radiométrique (\$)	190.	380.	700.	890.
Croisement (\$)			1 060.	2 110.
Nombre de bandes			6	3
Résolution résultante (m)			12.5	6.25
Nombre de pixels par bande (Meg)			8	32
Extraction de l'information (\$)	1 150.	3 850.	4 600.	15 360.
Relevés de terrain	2 440.	2 440.	2 440.	2 440.
Transfert des données vers un SIG (\$)	180.	180.	180.	180.
Coût total (\$)	4 340.	8 235.	10 940.	23 945.
Coût au km ² (\$)	4.34	8.24	10.94	23.95

TABLEAU 15b

Application à un territoire de 1 000 km² à l'échelle du 1:50 000

Photographie aérienne 1 :40 000

	Noir et blanc	Couleur	Infrarouge
Nombre de clichés	51	51	51
Acquisition des photographies (\$)	5 690.	6 180.	6 180.
Extraction de l'information (\$)	2 070.	2 070.	2 070.
Relevés de terrain (\$)	2 440.	2 440.	2 440.
Transfert des données vers un SIG (\$)	180.	180.	180.
Coût total (\$)	10 380.	10 870.	10 870.
Coût au Km ² (\$)	10.38	10.87	10.87

TABLEAU 16a

Application à un territoire de 1 000 km² à l'échelle du 1:20 000

	SPOT XS	SPOT XP & TM
Nombre de bandes	3	1 6
Résolution à l'entrée (m)	12.5	6.25 25
Nombre de pixels par bande (Meg)	8	32 2
Acquisition des images (\$)	1 385.	1 960.
Pré-traitement:		
Radiométrique (\$)	380.	700.
Géométrique (\$)		
Croisement (\$)		1 060.
Nombre de bandes		6
Résolution résultante (m)		12.5
Nombre de pixels par bande (Meg)		8
Extraction de l'information (\$)	3 850.	4 600.
Relevés de terrain (\$)	23 070.	23 070.
Transfert des données vers un SIG (\$)	720.	720.
Coût total (\$)	29 405.	32 110.
Coût au km ² (\$)	29.41	32.11

TABLEAU 16b

Application à un territoire de 1 000 km² à l'échelle du 1:20 000

	SPOT XP	& XS	MEIS-II & DAEDALUS
Nombre de bandes	1	3	6
Résolution à l'entrée (m)	6.25	12.5	5
Nombre de pixels par bande (Meg)	32	8	46
Acquisition des images (\$)	2 965.		12 000.
Pré-traitement:			
Radiométrique (\$)	890.		4 440.
Géométrique (\$)			12 840.
Croisement (\$)	2 110.		
Nombre de bandes	3		6
Résolution résultante (m)	6.25		
Nombre de pixels par bande (Meg)	32		
Extraction de l'information (\$)	15 360.		27 200.
Relevés de terrain (\$)	23 070.		23 070.
Transfert des données vers un SIG (\$)	720.		720.
Coût total (\$)	45 115.		82 270.
Coût au km ² (\$)	45.12		80.27

TABLEAU 16c

Application à un territoire de 1 000 km² à l'échelle du 1:20 000

Photographie aérienne 1:15 000

	Noir et blanc	Couleur	Infrarouge
Nombre de clichés	325	325	325
Acquisition des photographies (\$)	12 140.	15 330.	15 330.
Extraction de l'information (\$)	15 340.	15 340.	15 340.
Relevés de terrain (\$)	23 070.	23 070.	23 070.
Transfert des données vers un SIG (\$)	720.	720.	720.
Coût total (\$)	51 270.	54 460.	54 460.
Coût au km ² (\$)	51.27	54.46	54.46

TABLEAU 17a

Application à un territoire de 1 000 km² à l'échelle du 1:5 000

Imagerie multispectrale aérienne
(MEIS-II et DAEDALUS)

Nombre de bandes	6	6
Résolution à l'entrée (m)	5	1
Nombre de pixels par bande (Meg)	46	1 421
Acquisition (\$)	12 000.	134 000.
Pré-traitement:		
Radiométrique (\$)	4 450.	136 400.
Géométrique (\$)	12 840.	397 900.
Nombre de bandes	6	6
Extraction de l'information (\$)	27 200.	818 500.
Relevés de terrain	112 430.	112 430.
Transfert des données vers un SIG (\$)	11 250.	11 250.
Coût total (\$)	168 920.	1 599 230.
Coût au km ² (\$)	168.92	1 599.23

TABLEAU 17b

Application à un territoire de 1 000 km² à l'échelle du 1:5 000

Photographie aérienne 1:5 000

	Noir et blanc	Couleur	Infrarouge
Nombre de clichés	3 108	3 108	3 108
Acquisition des photographies (\$)	83 840.	111 745.	111 745.
Extraction de l'information (\$)	134 920.	134 920.	134 920.
Relevés de terrain (\$)	112 430.	112 430.	112 430.
Transfert des données vers un SIG (\$)	11 250.	11 250.	11 250.
Coût total (\$)	342 440.	370 345.	370 345.
Coût total au km ² (\$)	343.44	370.35	370.35

10.0 AVANTAGES ET DESAVANTAGES RESPECTIFS DES MOYENS D'ACQUISITION DES DONNEES

10.1 L'imagerie satellitaire

10.1.1 Avantages

En conditions optimales, elle peut définir les classes de milieux humides recherchées mais difficilement les caractériser. Par contre, elle offre un cheminement intégré: de la saisie des données, en passant par l'interprétation et jusqu'à la représentation cartographique, tout peut se faire en numérique.

Spécifiquement:

- une image géocodée est référencée par rapport à un système de coordonnées géographiques (UTM notamment);
- elle permet l'intégration de SPOT XP avec TM et avec SPOT XS (complément de précision);
- elle permet de cartographier les résultats à l'échelle du 1:50 000;
- une image classifiée fournit à la fois la localisation et la superficie des éléments identifiés.

Globalement:

- elle offre la possibilité théorique d'obtenir périodiquement des images d'une même région, soit d'effectuer un monitoring;
- elle permet l'établissement d'une base historique en format numérique;
- une image satellitaire couvre une grande superficie (SPOT 1000 km² et TM 4000 km² en format géocodée);
- elle pourrait identifier les zones d'intérêt nécessitant des images aériennes à haute résolution spatiale et spectrale;
- ce ciblage ainsi réalisé permettrait de réduire le nombre de photographies aériennes requises de même que l'usage des capteurs multispectraux aéroportés;
- elle permet de réaliser un portrait synthèse de bon niveau;

- par le passé, notamment pour certains types de cartographie forestière, l'imagerie satellitaire a démontré qu'elle était à la fois plus rapide et plus économique que les méthodes traditionnelles.

10.1.2 Désavantages

En ce qui concerne l'identification des classes physiologiques et des affectations riveraines potentielles, il faut considérer les désavantages respectifs des satellites TM et SPOT (XS et XP).

Spécifiquement:

- la résolution spatiale de TM (30 m) peut être limitante comparativement à SPOT XS (20 m);
- l'imagerie SPOT XS, ne possédant pas de bande spectrale dans l'infrarouge moyen, peut être contraignante pour la discrimination de la végétation aquatique émergée ou en milieu terrestre;
- la dynamique des images SPOT XS et XP est généralement moins étendue (amplitude) que celle des images TM. Cela diminue le pouvoir de discrimination entre les éléments au sol;
- l'imagerie SPOT XP peut contenir un haut niveau de bruit de fond qui est particulièrement gênant sur les plans d'eau;
- l'acquisition d'images satellitaires SPOT XS en visée oblique est un avantage théorique diminuant par contre la précision des classifications et qui doit encore faire l'objet de travaux de recherche.

Globalement:

- l'imagerie satellitaire en visée verticale n'est disponible que selon un cycle déterminé. TM aux 16 jours et SPOT aux 26 jours. De plus, celle-ci doit coïncider avec un niveau d'eau bas (marée basse et étiage);
- l'imagerie satellitaire s'adresse surtout à des environnements de taille moyenne et plus;
- comme les milieux humides sont fréquemment localisés en bandes parallèles le long des plans d'eau, ceux-ci doivent avoir une étendue spatiale suffisante, sens transversal surtout, pour être identifiés avec précision.

10.2 L'imagerie multispectrale aérienne

10.2.1 Avantages

- Spécifiquement:
- la flexibilité de programmation dépasse celle de l'imagerie satellitaire i.e non soumise à un cycle orbital;
 - offre une haute résolution spatiale (inférieure à un mètre au besoin);
 - une haute résolution spectrale est possible afin de favoriser l'étude plus spécifique (système aquatique notamment);
 - en conditions optimales, le MEIS-II a fait ses preuves de supériorité (identification et superficie) par rapport à la photographie aérienne pour l'étude des laminaires (algues) submergées;
 - le capteur DAEDALUS, oeuvrant dans des bandes spectrales différentes du MEIS-II, moyen infrarouge et thermique, complète ce dernier;
 - possibilité de cartographier à grande échelle i.e du 1:20 000 au 1:5 000.
- Globalement:
- identification des mêmes classes de milieux humides que l'imagerie satellitaire mais avec la possibilité de les caractériser et d'une délimitation spatiale plus précise;
 - étant aussi numérique, elle a les mêmes possibilités d'intégration.

10.2.2 Désavantages

- Spécifiquement:
- les images aériennes peuvent présenter des problèmes d'illumination,
 - possibilité que des corrections radiométriques complexes soient requises,
 - l'adaptation et le développement de techniques et méthodes d'analyse numérique peuvent être nécessaires.
 - malgré la plus grande souplesse d'acquisition

des données comparativement aux images satellitaires, il est nécessaire d'avoir des conditions météorologiques compatibles avec ce type de relevé i.e. le moins de vent possible,

Globalement:

- si une couverture de ce type est réalisée sur une grande surface, cela va entraîner des coûts élevés d'acquisition, de pré-traitement, d'analyse numérique et de représentation cartographique (carte de base à réaliser),
- la superficie couverte par un survol aérien ne correspond qu'à un étroit corridor sur une image satellitaire, tout en générant possiblement une quantité élevée de données.

10.3 La photographie aérienne

Les avantages et désavantages des émulsions noir et blanc (N&B), couleur (COU) et infrarouge couleur (IRC) sont présentés en fonctions des échelles 1:40 000, 1:15 000 et 1:5 000. A l'intérieur de cette section, lorsque l'on discute "globalement" des avantages et des désavantages, cela s'adresse aux échelles et non aux types d'émulsion. Par contre, les avantages et désavantages "spécifiques" à chaque type d'émulsion sont discutés.

10.3.1 Avantages

Echelle 1:40 000

Globalement:

- les mêmes classes que l'imagerie satellitaire pourront être obtenues;
- cette échelle pourra être utile lorsqu'il y aura des images satellitaires manquantes pour des secteurs connus.

Echelle 1:15 000

Globalement:

- permet l'identification des mêmes classes que les satellites et une subdivision des peuplements végétaux;

- la largeur minimale interprétable sur le document est de 2 mm et correspond à 30 m sur le terrain.

Spécifiquement: N&B - distinction de la prairie humide à 3 niveaux;

- distinction de l'herbier aquatique à 3 niveaux dû à une différenciation des patrons de croissance et possibilité de fixer sa limite inférieure,
- bonne identification des classes d'affectations riveraines.

COU - pouvoir supérieur de pénétration dans l'eau;

- herbier aquatique mieux caractérisé;
- possibilité de discriminer des groupements de végétaux émergés du marais;
- a l'avantage de pouvoir permettre de délimiter le marécage de façon plus précise alors qu'en télédétection il y aurait confusion avec la forêt contiguë;
- bonne identification des classes d'affectations riveraines comme le N&B et supérieure même pour l'agriculture (pâturage, foin, et maïs).

IRC - permet une bonne délimitation de la frontière des plans d'eau;

- niveau d'identification des classes d'affectations riveraines égale à l'émulsion couleur.

Echelle 1:5 000

Globalement:

- une précision au niveau du groupement est réaliste et même au niveau de l'espèce si la superficie est suffisante;
- l'échelle ajoute de la précision spatiale;
- l'aire minimale détectable est de 0.25 ha (50 m par 50 m).

Spécifiquement: N&B - à cette échelle, la détermination des espèces végétales permettra d'établir les frontières des différentes classes des milieux humides.

COU - permet un bon pouvoir de pénétration dans l'eau car la perception des nuances de couleur est supérieure aux teintes de gris;

- bonne capacité de fixer la limite inférieure de l'herbier aquatique.

IRC - très bonne localisation de la rive des cours d'eau;

- identification plus facile des groupements végétaux émergés;

- la délimitation des plantes émergentes du marais permettra d'établir assez fidèlement sa limite.

10.3.2 Désavantages

Echelle 1:40 000

Globalement: - à cette échelle, l'humidité de l'air doit être la plus faible possible pour permettre un bon contraste.

Spécifiquement: N&B - permet peu de discrimination dans les milieux humides;

- contient moins d'information que l'imagerie satellitaire sur les milieux humides.

COU - possibilité de diffusion en milieu aquatique et terrestre.

IRC - pas de pénétration dans l'eau à cette échelle.

Echelle 1:15 000

Globalement: - l'extraction de l'information est moins limitative que la représentation cartographique.

Spécifiquement: N&B - limitation des teintes de gris
comparativement à la couleur pour
caractériser la végétation.

IRC - faible pouvoir de pénétration dans l'eau.

Echelle 1:5 000

Globalement: - si l'aire minimale détectable est petite,
cela nécessite par contre 2 fois plus
d'échantillonnage pour chaque classe, 40 fois
plus de temps pour l'interprétation et 2 fois
plus de classes résultantes.

Spécifiquement: N&B - si la végétation est très dense, la limite
entre deux classes sera floue.

- à cette échelle le noir et blanc n'a pas la
souplesse de la couleur et de l'infrarouge.

IRC - faible pouvoir de pénétration dans l'eau.

- plus difficile de distinguer les communautés
végétales et de situer la limite inférieure
de l'herbier.

11.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les tableaux 18, 19 et 20 résument les résultats de la présente étude en terme de rapport qualité-prix pour chacune de échelles de représentation considérées.

Echelle 1:50 000 (tableau 18)

A cette échelle, les données du capteur Landsat TM, à 6 bandes spectrales géocodées en pixel de 25 m, donnent nettement le meilleur rapport qualité-prix.

La teneur de la cartographie résultante se présente comme suit.

Cette cartographie thématique répondra à plus de 80% des besoins en inventaire des milieux humides et des affectations riveraines, tout en possédant la précision géométrique nécessaire pour une représentation cartographique à l'échelle du 1:50 000.

D'une façon plus spécifique, nous pouvons affirmer que les classes "marécage", "prairie humide" et "herbier aquatique", de par la résolution spatiale limitative de TM (pixel de 25 m), sont moins avantagées, à des niveaux différents, que les autres classes de milieux humides et d'affectations riveraines. De plus, il faut ajouter que les classes de milieux humides, sauf exception, ne pourront pas être caractérisées i.e. associées à une espèce plutôt qu'à telle autre.

En effet, la localisation de la limite inférieure de la classe "marécage" est plus facilement réalisable, parce qu'elle dépend de la densité arbustive, comparativement à la limite supérieure qui sera souvent contiguë à un milieu boisé et donc confondue avec celui-ci. D'ailleurs, seuls des relevés de terrain permettraient de localiser avec précision cette dernière.

La classe "prairie humide" devra occuper une aire minimale pour être identifiée par les données satellitaires TM. Bien que la classe "herbier aquatique" fasse face à la même condition, il faut aussi ajouter l'effet perturbateur de l'eau qui limite la possibilité des données TM.

TABLEAU 18

Rapports qualité-prix pour les différentes cartographies
à l'échelle du 1:50 000.

Capteurs	Qualité*	Prix au km ² **	Qualité/prix
TM	82	4.34	18.9
XS	86	8.24	10.5
XP + TM	84	10.94	7.7
XP + XS	86	23.95	3.6
N&B 40 000	70	10.38	6.8
COU 40 000	77	10.87	7.1
IRC 40 000	75	10.87	6.9

TM : Landsat TM à 6 bandes spectrales
 XS : SPOT multibande à 3 bandes spectrales
 XP + TM : Croisement de 6 bandes TM avec SPOT panchromatique
 XP + XS : Croisement de 3 bandes XS avec SPOT panchromatique
 N&B 40 000 : Photographie aérienne noir et blanc au 1:40 000
 COU 40 000 : Photographie aérienne couleur au 1:40 000
 IRC 40 000 : Photographie aérienne infrarouge couleur au 1:40 000.

* Valeur correspondant à la cote globale des tableaux 3,4 et 5.

** Valeur tirée des tableaux 15a et 15b.

TABLEAU 19

Rapport qualité-prix pour les différentes cartographies
à l'échelle du 1:20 000.

Capteurs	Qualité*	Prix au km ² **	Qualité/prix
XS	60	29.41	2.0
XP + TM	65	32.11	2.0
XP + XS	70	45.12	1.6
Aérien (5m)	95	80.27	1.2
N&B 15 000	87	51.27	1.7
COU 15 000	98	54.46	1.8
IRC 15 000	91	54.46	1.7

XS : SPOT multibande à 3 bandes spectrales
 XP + TM : Croisement de 6 bandes TM avec SPOT panchromatique
 XP + XS : Croisement de 3 bandes XS avec SPOT panchromatique
 Aérien (5m) : MEIS-II + DAEDALUS à 6 bandes spectrales et pixels de 5 m
 N&B 15 000 : Photographie aérienne noir et blanc au 1:15 000
 COU 15 000 : Photographie aérienne couleur au 1:15 000
 IRC 15 000 : Photographie aérienne infrarouge couleur au 1:15 000.

* Valeur correspondant à la cote globale des tableaux 3,4 et 5.

** Valeur tirée des tableaux 16a, 16b et 16c.

TABLEAU 20

Rapports qualité-prix pour les différentes cartographies
à l'échelle du 1:5 000.

Capteurs	Qualité*	Prix au km ² **	Qualité/prix
Aérien (5m)	90	180.17	0.50
Aérien (1m)	95	1 610.48	0.05
N&B 5 000	91	342.44	0.27
COU 5 000	98	370.35	0.26
IRC 5 000	91	370.35	0.25

Aérien (5m) : MEIS-II + DAEDALUS à 6 bandes spectrales et pixels de 5 m
Aérien (1m) : MEIS-II + DAEDALUS à 6 bandes spectrales et pixels de 1 m
N&B 5 000 : Photographie aérienne noir et blanc au 1:5 000
COU 5 000 : Photographie aérienne couleur au 1:5 000
IRC 5 000 : Photographie aérienne infrarouge couleur au 1:5 000.

* Valeur correspondant à la cote globale des tableaux 3,4 et 5.

** Valeur tirée des tableaux 17a et 17b.

En ce qui concerne les classes "marais", "substrat dénudé" et "eau libre", la bande du moyen infrarouge devrait démontrer son utilité pour les identifier et les localiser.

Finalement, pour ce qui est des classes d'affectations riveraines, celles-ci seront également identifiées et localisées en respectant les niveaux requis de précision thématique et pourraient même être subdivisées au besoin.

Pour l'échelle 1:50 000, il est donc recommandé:

- d'utiliser Landsat TM dans la mesure de l'existence de données;
- d'utiliser les données multispectrales de SPOT comme relève en cas d'absence des données TM;
- d'utiliser la photographie aérienne couleur au 1:40 000 en cas d'absence d'images satellitaires.

Echelle 1:20 000 (tableau 19)

A cette échelle, les données XS et XP + TM donnent le meilleur rapport qualité-prix, mais la qualité apparaît marginale.

La photographie couleur saisie au 1:15 000 donne un rapport qualité-prix un peu plus bas, mais une qualité bien supérieure. La teneur de la cartographie thématique résultant de cette filère se présente comme suit.

Cette cartographie thématique répondra à plus de 95% des besoins en inventaire des milieux humides et des affectations riveraines, tout en satisfaisant aux exigences géométriques d'une représentation cartographique à l'échelle du 1:20 000.

La délimitation de la limite supérieure de la classe "marécage" est encore ici la seule contrainte de ce moyen d'acquisition d'information mais à un degré moindre évidemment que les données satellitaires TM.

Il est même réaliste d'envisager une caractérisation des diverses classes de milieux humides au niveau du groupement végétal et dans certains cas au niveau de

l'espèce si la superficie est suffisante. Cette affirmation concerne particulièrement les classes "prairie humide" et "marais".

Egalement, ce type d'émulsion, en comparaison avec l'infrarouge couleur et le noir et blanc, maximise les chances d'établir la limite inférieure de l'herbier aquatique par sa bonne capacité de pénétration dans l'eau.

Finalement, les classes d'affectations riveraines pourront être caractérisées à un niveau beaucoup plus détaillé que celui requis: type de forêt, de culture ou de structure anthropique.

Nous avons étudié des variantes autour de la télédétection multispectrale aérienne. Une saisie avec pixel de 7.5 m donnerait une cote de qualité de 85, un coût au km² de 50\$ et un rapport de 1.7. Ce rapport se rapproche de celui de COU 15 000, mais la qualité apparaît moindre. Il ne semble pas pratique de retenir cette filière comme relève, vu la disponibilité d'équipements de saisie bien plus faible que celui de la photographie aérienne.

On remarque au tableau 3 que les données SPOT XS (multibandes) ont de très bonnes cotes pour ce qui est des affectations riveraines. La précision géométrique est également satisfaisante pour XS seul, mais elle devient très satisfaisante pour le croisement XP + XS (SPOT multibande et panchromatique).

En conséquence, pour l'échelle du 1:20 000, il est recommandé:

- d'utiliser la combinaison XP + XS si on doit couvrir de larges territoires où il y a peu de milieux humides;
- d'utiliser les données SPOT multibande (XS) comme relève de cette combinaison dans les cas où il est impossible d'effectuer un croisement;
- d'utiliser la photographie aérienne couleur 1:15 000 pour l'inventaire des milieux humides (couverture complète ou couverture complémentaire).

Echelle 1:5 000 (tableau 20)

A cette échelle, la télédétection multispectrale aérienne à 5 m apparaît comme le meilleur compromis. La teneur de la cartographie résultante se présente comme suit.

La carte thématique issue de l'utilisation de l'imagerie multispectrale aérienne avec des pixels de 5 m satisfera à plus de 90% des exigences thématiques envers les milieux humides et des affectations, tout en satisfaisant aux exigences géométriques d'une représentation cartographique à l'échelle du 1:5 000.

L'utilisation "en tandem" des capteurs MEIS-II et DAEDALUS permettrait principalement la caractérisation des milieux humides et une meilleure délimitation spatiale de ceux-ci. De plus, l'avantage du numérique sera conservé. Le point fort de la télédétection aérienne est qu'elle offre à la fois le maximum de potentiel pour l'inventaire des végétaux submergés et des autres classes de milieux humides grâce aux bandes spectrales optimales.

A cette résolution (5m), les classes de milieux humides devront avoir 10m de largeur transversale pour être parfaitement "individualisées" sur l'imagerie aérienne. Pour ce qui est de la classe "marécage", l'imagerie aérienne rencontre les mêmes problèmes que l'imagerie satellitaire: confusion de la limite supérieure avec la forêt contiguë.

Au niveau des affectations riveraines, la télédétection aérienne sera en mesure de combler tous les besoins thématiques requis et même de les raffiner si nécessaire: type de forêt, de culture ou de structure anthropique.

Nous avons considéré les deux variantes suivantes:

- Saisie à 5m,

Rééchantillonnage à 3 m

Qualité: 90

Prix: 239\$/km²

Rapport: 0,37

- Saisie et rééchantillonnage à 3 m

Qualité: 92

Prix: 280\$/km²

Rapport : 0.33

De la même façon, une diminution de l'échelle de la photographie aérienne (entre 1:5 000 et 1:8 000) ferait descendre les coûts sans trop diminuer la qualité.

A l'échelle du 1:5 000, il est donc recommandé:

- d'utiliser dans la mesure des capacités d'acquisition la télédétection aérienne multispectrale (combinaison MEIS-II et DAEDALUS à 6 bandes spectrales) avec une résolution entre 3 m et 5 m.
- d'utiliser la photographie aérienne couleur à une échelle entre 1:5 000 et 1:8 000 comme technique de relèvement.

Représentation cartographique

Dans tous les cas, il est recommandé que les données soient livrées dans un format "vecteur" standard, aptes à être introduites dans un SIG (système d'information géographique). En plus de permettre la "représentation cartographique", un tel système permet différentes formes d'exploitation comme l'analyse spatiale, la combinaison de l'information avec des données spatiales d'autres sources, la consultation spécifique avec des critères thématiques ou spatiaux, etc.

12.0 LITTERATURE CONSULTEE

- Bonn, F., 1988. Instrumentation moderne en télédétection et évolution des applications. Exposé prononcé dans le cadre d'une rencontre de l'A.C.S.G.C., Sherbrooke.
- Charbonneau, L. Perras, S., Bonn, F. et R. Brochu, 1988. Analyse et interprétation d'images SPOT d'un secteur urbain et agroforestier de la région de Sherbrooke. Journal canadien de télédétection, vol. 14, no. 2, pp. 92-103.
- Chavez, P.S. and J.A. Bowell, 1988. Comparison of the spectral information Content of Landsat Thematic Mapper and SPOT for three different sites in the Phoenix, Arizona region. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54, no. 12. pp. 1699-1708.
- Christensen, E.J., Jensen, J.R. and R.R. Sharitz, 1985. Remote sensing of wetlands at the Savannah River Plant. Proceedings of the Fifth Department of Energy Environmental Protection Information Meeting. Albuquerque, New Mexico, pp. 607-619.
- Christensen, E.J., Jensen, J.R., Ramsey, E.W. and H.E. Mackey, 1988. Aircraft MSS data registration and vegetation classification for wetland change detection. International Journal of Remote Sensing, vol. 9, no.1, pp. 23-38.
- Couillard, L. et P. Grondin, 1986. La végétation des milieux humides du Québec. Edition Les publications du Québec, Québec, 399 p.
- C.Q.C.T., 1989. Communication personnelle.
- Dobson, J.E. and E.A. Bright, 1986. Remote sensing of coastal wetlands. Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, 22 p.
- Gagnon, H., 1974. La photo aérienne son interprétation dans les études de l'environnement et de l'aménagement du territoire. Les Editions HRW ltée, Montréal, 278 p.
- Gauthier, B., 1977. Recherche des limites biologiques du Saint-Laurent. Thèse de doctorat, Faculté des sciences, de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Québec, 233 p.
- Gross, M.F. and V. Klemas, 1985. The airborne imaging spectrometer (ais) as a tool for discrimination of vegetation types and estimation of biomass in coastal wetlands. University of Delaware, College of marine studies, Newark, 36 p.
- Hardisky, M.A., Gross, M.F. and V. Klemas, 1986. LANDSAT TM, SPOT, and imaging spectrometers will enhance remote sensing research on wetlands. Bioscience, vol. 36, no. 7, pp. 453-460.

- Jacques, D., 1983. La végétation aquatique et riveraine du Haut Richelieu. Photo-interprétation couleurs et infrarouge couleurs. Etudes écologiques no. 8, Laboratoire d'écologie forestière, Université Laval, Québec, 321 p.
- Jensen, J.R., 1986. An Introduction to Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Jensen, J.R., Christensen, E.J. and R.R Sharitz, 1984. Non-tidal wetland mapping in South Carolina using airborne multispectral scanner data. Remote Sensing of Environment, vol. 19, pp. 1-12.
- Koeln, G.T., Wesley, D.E. and P.J. Caldwell, 1987. Ducks Unlimited's wetland inventory program. Proceedings of the National Wildlife and Wetlands Conference. October.
- Lambert, E., Dubois, J.M.M., Lavoie, A. et M. Grenier, 1987. La télédétection des macrophytes marins. Revue Photo-Interprétation, no, 1987, fascicule 1, pp.1-8.
- Lambert, E., 1986. L'analyse d'images Thematic Mapper appliquée à la cartographie des végétaux marins immergés. Centre canadien de télédétection. Rapport 86-2.
- Lessard, G.L., Dubois, J.M.M., Lavoie A. et M. Grenier, 1987. Revue bibliographique et évaluation des techniques de télédétection en milieu côtier. Environnement Canada-Parcs. Rapport 87-R-04. 123 p.
- Mouchot, M.C., 1980. Communication personnelle.
- Tomlins, G.F. and K.P.B. Thomson, 1981. Toward an operational, satellite-based, wetland monitoring program for the Fraser River estuary, British Columbia. 7th Canadian Symposium on Remote Sensing, Winipeg, Manitoba, pp. 74-82.
- Thompson, M.D., 1982. Utilisation de LANDSAT pour observer les changements géographiques au Canada. Centre canadien de télédétection, 84 p.

ANNEXE A

TABLEAUX DETAILLES DES RESSOURCES FINANCIERES NECESSAIRES
A LA REALISATION DES TRAVAUX PAR PHOTOGRAPHIE AERIENNE.

Region des secteurs sans image
 Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
 Echelle des photos 40000 couleur ou infra rouge

Couts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	110.00	350.00	2100.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	165.00	105.00	90.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	1100.00	1750.00	1500.00	0.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	110.00	700.00	600.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	105.00	0.00	1250.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	600.00	500.00	0.00	400.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	1485.00	3010.00	4890.00	1850.00	0.00	400.00

Couts variables						
Gite et couvert	666.67					
Vehicules	333.33					
Materiel de rep.	0.00					
Chaloupes	0.00					

Couts fixes						
Acquisition des photos	12360.00					

Cout total: 24995.00
 Cout au km2: 10.69

Region des secteurs sans image
 Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
 Echelle des photos 40000 noir et blanc

Couts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	110.00	350.00	2100.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	165.00	105.00	90.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	1100.00	1750.00	1500.00	0.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	110.00	700.00	600.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	105.00	0.00	1250.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	600.00	500.00	0.00	400.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	1485.00	3010.00	4890.00	1850.00	0.00	400.00

Couts variables	
Gite et couvert	666.67
Vehicules	333.33
Materiel de rep.	0.00
Chaloupes	0.00

Couts fixes	
Acquisition des photos	11380.00

Cout total: 24015.00
 Cout au km2: 10.27

Region du lac St-Francois ou St-Pierre
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
Echelle des photos 15000 couleur ou infra rouge

Couts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	88.00	280.00	1680.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	132.00	84.00	72.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	880.00	1400.00	1200.00	1000.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	88.00	560.00	480.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	84.00	0.00	1000.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	480.00	400.00	0.00	320.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	1188.00	2408.00	3912.00	2500.00	0.00	320.00

Couts variables						
Gite et couvert	755.56					
Vehicules	266.67					
Materiel de rep.	200.00					
Chaloupes	1600.00					

Couts fixes						
Acquisition des photos	4720.00					

Cout total: 17670.22
Cout au km2: 53.74

Region du lac St-Francois ou St-Pierre
 Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
 Echelle des photos 15000 noir et blanc

Couts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	88.00	280.00	1620.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	132.00	84.00	72.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	880.00	1400.00	1200.00	1000.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	88.00	560.00	480.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	84.00	0.00	1000.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	480.00	400.00	0.00	320.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	1188.00	2408.00	3912.00	2500.00	0.00	320.00

Couts variables						
Gite et couvert	755.56					
Vehicules	266.67					
Materiel de rep.	200.00					
Chaloupes	1600.00					

Couts fixes						
Acquisition des photos	3740.00					

Cout total: 16690.22
 Cout au km2: 50.76

Region de Quebec
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
Echelle des photos 15000 couleur ou infra rouge

Couts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	77.00	245.00	1470.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	115.50	73.50	63.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	770.00	1225.00	1050.00	0.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	77.00	490.00	420.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	73.50	0.00	875.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	420.00	350.00	0.00	280.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	1039.50	2107.00	3423.00	1325.00	0.00	280.00

Couts variables						
Gite et couvert	466.67					
Vehicules	233.33					
Materiel de rep.	0.00					
Chaloupes	800.00					

Couts fixes						
Acquisition des photos	4720.00					

Cout total: 14394.50
Cout au km2: 43.78

Region de Quebec
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
Echelle des photos 15000 noir et blanc

Couts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	77.00	245.00	1470.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	115.50	73.50	63.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	770.00	1225.00	1050.00	0.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	77.00	490.00	420.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	73.50	0.00	875.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	420.00	350.00	0.00	280.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	1039.50	2107.00	3423.00	1325.00	0.00	280.00

Couts variables						
Gite et couvert	466.67					
Vehicules	233.33					
Materiel de rep.	0.00					
Chaloupes	800.00					

Couts fixes						
Acquisition des photos	3740.00					

Cout total: 13414.50
Cout au km2: 40.80

Region du golfe
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
Echelle des photos 15000 couleur ou infra rouge

Couts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	44.00	140.00	340.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	66.00	42.00	36.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	440.00	700.00	600.00	0.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	44.00	280.00	240.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	42.00	0.00	500.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	240.00	200.00	0.00	160.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	594.00	1204.00	1956.00	800.00	0.00	160.00

Couts variables	
Gite et couvert	266.67
Vehicules	133.33
Materiel de rep.	0.00
Chaloupes	400.00

Couts fixes	
Acquisition des photos	4720.00

Cout total: 10234.00
Cout au km2: 31.13

Region du golfe
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
Echelle des photos 15000 noir et blanc

Couts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	44.00	140.00	840.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	66.00	42.00	36.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	440.00	700.00	600.00	0.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	44.00	280.00	240.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	42.00	0.00	500.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	240.00	200.00	0.00	160.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	594.00	1204.00	1956.00	800.00	0.00	160.00

Couts variables						
Gite et couvert	266.67					
Vehicules	133.33					
Materiel de rep.	0.00					
Chaloupes	400.00					

Couts fixes						
Acquisition des photos	3740.00					

Cout total: 9254.00
Cout au km2: 28.14

Region du lac St-Francois ou St-Pierre
 Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
 Echelle des photos 5000 couleur ou infra rouge

Couts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	88.00	280.00	1680.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	132.00	84.00	72.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	440.00	840.00	720.00	0.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	88.00	560.00	480.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	84.00	0.00	1000.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	480.00	400.00	0.00	320.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	748.00	1848.00	3432.00	1500.00	0.00	320.00

Couts variables		
Gite et couvert	311.11	
Vehicules	160.00	
Materiel de rep.	150.00	
Chaloupes	1200.00	

Couts fixes		
Acquisition des photos	3600.00	

Cout total: 13119.11
 Cout au km2: 359.10

Region du lac St-Francois ou St-Pierre
 Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
 Echelle des photos 5000 noir et blanc

Couts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	88.00	280.00	1680.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	132.00	84.00	72.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	440.00	840.00	720.00	0.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	88.00	560.00	480.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	84.00	0.00	1000.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	480.00	400.00	0.00	320.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	748.00	1848.00	3432.00	1500.00	0.00	320.00

Couts variables		
Gite et couvert	311.11	
Vehicules	160.00	
Materiel de rep.	150.00	
Chaloupes	1200.00	

Couts fixes		
Acquisition des photos	2700.00	

Cout total: 12219.11
 Cout au km2: 334.46

Region de Quebec
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
Echelle des photos 5000 couleur ou infra rouge

Coûts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	77.00	245.00	1470.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	115.50	73.50	63.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	385.00	735.00	630.00	0.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	77.00	490.00	420.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	73.50	0.00	875.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	420.00	350.00	0.00	280.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	654.50	1617.00	3003.00	1325.00	0.00	280.00

Coûts variables		
Gite et couvert	272.22	
Vehicules	140.00	
Matériel de rep.	0.00	
Chaloupes	400.00	

Coûts fixes		
Acquisition des photos	3600.00	

Coût total: 11291.72
Coût au km²: 309.08

Region de Quebec
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
Echelle des photos 5000 noir et blanc

Couts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	77.00	245.00	1470.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	115.50	73.50	63.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	385.00	735.00	630.00	0.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	77.00	490.00	420.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	73.50	0.00	875.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	420.00	350.00	0.00	280.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	654.50	1617.00	3003.00	1325.00	0.00	280.00

Couts variables	
Gite et couvert	272.22
Vehicules	140.00
Materiel de rep.	0.00
Chaloupes	400.00

Couts fixes	
Acquisition des photos	3740.00

Cout total: 11431.72
Cout au km2: 312.91

Region du golfe
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
Echelle des photos 5000 couleur ou infra rouge

Couts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	44.00	140.00	840.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	66.00	42.00	36.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	220.00	420.00	360.00	0.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	44.00	280.00	240.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	42.00	0.00	500.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	240.00	200.00	0.00	160.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	374.00	924.00	1716.00	800.00	0.00	160.00

Couts variables	
Gite et couvert	155.56
Vehicules	80.00
Matériel de rep.	0.00
Chaloupes	200.00

Couts fixes	
Acquisition des photos	3600.00

Cout total: 8009.56
Cout au km2: 219.24

Region du golfe
 Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)
 Echelle des photos 5000 noir et blanc

Couts variables						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordin.
Preparation des photos	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Photo-int. prel.	44.00	140.00	340.00	0.00	0.00	0.00
Plan de sondage	66.00	42.00	36.00	0.00	0.00	0.00
Terrain	220.00	420.00	360.00	0.00	0.00	0.00
Photo-int. finale	44.00	280.00	240.00	0.00	0.00	0.00
Transfert	0.00	42.00	0.00	500.00	0.00	0.00
Numerisation	0.00	0.00	240.00	200.00	0.00	160.00
Rapport	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL:	374.00	924.00	1716.00	800.00	0.00	160.00

Couts variables		
Gite et couvert	155.56	
Vehicules	30.00	
Materiel de rep.	0.00	
Chaloupes	200.00	

Couts fixes		
Acquisition des photos	2700.00	

Cout total: 7109.56
 Cout au km2: 194.60

ANNEXE B

TABLEAUX DETAILLES DES RESSOURCES HUMAINES NECESSAIRES
A LA REALISATION DES TRAVAUX PAR PHOTOGRAPHIE AERIENNE.

Region des secteurs sans image
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 40000 couleur ou infra rouge

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	2.0	10.0	70.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	3.0	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0
Terrain	20.0	50.0	50.0	0.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	2.0	20.0	20.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	3.0	0.0	50.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	20.0	20.0	0.0	20.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Temps variables (jrs)

Gite et couvert	13
Vehicules	6
Materiel de rep.	0
Chaloupes	0

Region des secteurs sans image
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 40000 noir et blanc

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	2.0	10.0	70.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	3.0	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0
Terrain	20.0	50.0	50.0	0.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	2.0	20.0	20.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	3.0	0.0	50.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	20.0	20.0	0.0	20.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Temps variables (jrs)	
Gite et couvert	13
Vehicules	6
Materiel de rep.	0
Chaloupes	0

Region du lac St-Francois ou St-Pierre
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 15000 couleur ou infra rouge

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	1.6	8.0	56.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	2.4	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0
Terrain	16.0	40.0	40.0	40.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	1.6	16.0	16.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	2.4	0.0	40.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	16.0	16.0	0.0	16.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Temps variables (jrs)	
Gite et couvert	15
Vehicules	4
Materiel de rep.	4
Chaloupes	4

Region du lac St-Francois ou St-Pierre
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 15000 noir et blanc

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	1.6	8.0	56.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	2.4	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0
Terrain	16.0	40.0	40.0	40.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	1.6	16.0	16.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	2.4	0.0	40.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	16.0	16.0	0.0	16.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Temps variables (jrs)

Gite et couvert	15
Vehicules	4
Matériel de rep.	4
Chaloupes	4

Region de Quebec
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 15000 couleur ou infra rouge

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	1.4	7.0	49.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	2.1	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0
Terrain	14.0	35.0	35.0	0.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	1.4	14.0	14.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	2.1	0.0	35.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	14.0	14.0	0.0	14.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Temps variables (jrs)	
Gite et couvert	9
Vehicules	4
Materiel de rep.	0
Chaloupes	2

Region de Quebec
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 15000 noir et blanc

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	1.4	7.0	49.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	2.1	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0
Terrain	14.0	35.0	35.0	0.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	1.4	14.0	14.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	2.1	0.0	35.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	14.0	14.0	0.0	14.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Temps variables (jrs)

Gite et couvert	9
Vehicules	4
Materiel de rep.	0
Chaloupes	2

Region du golfe
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 15000 couleur ou infra rouge

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	0.8	4.0	28.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	1.2	1.2	1.2	0.0	0.0	0.0
Terrain	8.0	20.0	20.0	0.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	0.8	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	1.2	0.0	20.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	8.0	8.0	0.0	8.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Temps variables (jrs)	
Gite et couvert	5
Vehicules	2
Materiel de rep.	0
Chaloupes	1

Region du golfe
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 15000 noir et blanc

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	0.8	4.0	28.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	1.2	1.2	1.2	0.0	0.0	0.0
Terrain	8.0	20.0	20.0	0.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	0.8	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	1.2	0.0	20.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	8.0	8.0	0.0	8.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Temps variables (jrs)

Gite et couvert	5
Vehicules	2
Matériel de rep.	0
Chaloupes	1

Region du lac St-Francois ou St-Pierre
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 5000 couleur ou infra rouge

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	1.6	8.0	56.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	2.4	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0
Terrain	8.0	24.0	24.0	0.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	1.6	16.0	16.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	2.4	0.0	40.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	16.0	16.0	0.0	16.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Temps variables (jrs)						
Gite et couvert	6					
Vehicules	3					
Materiel de rep.	3					
Chaloupes	3					

Region du lac St-Francois ou St-Pierre
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 5000 noir et blanc

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	1.6	8.0	56.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	2.4	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0
Terrain	8.0	24.0	24.0	0.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	1.6	16.0	16.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	2.4	0.0	40.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	16.0	16.0	0.0	16.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Temps variables (jrs)	
Gite et couvert	6
Vehicules	3
Matériel de rep.	3
Chaloupes	3

Region de Quebec
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 5000 couleur ou infra rouge

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	1.4	7.0	49.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	2.1	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0
Terrain	7.0	21.0	21.0	0.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	1.4	14.0	14.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	2.1	0.0	35.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	14.0	14.0	0.0	14.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Temps variables (jrs)	
Gite et couvert	5
Vehicules	2
Materiel de rep.	0
Chaloupes	1

Region de Quebec
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 5000 noir et blanc

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	1.4	7.0	49.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	2.1	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0
Terrain	7.0	21.0	21.0	0.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	1.4	14.0	14.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	2.1	0.0	35.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	14.0	14.0	0.0	14.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Temps variables (jrs)	
Gite et couvert	5
Vehicules	2
Materiel de rep.	0
Chaloupes	1

Region du golfe
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 5000 couleur ou infra rouge

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	0.8	4.0	28.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	1.2	1.2	1.2	0.0	0.0	0.0
Terrain	4.0	12.0	12.0	0.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	0.8	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	1.2	0.0	20.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	8.0	8.0	0.0	8.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Temps variables (jrs)	
Gite et couvert	3
Vehicules	1
Materiel de rep.	0
Chaloupes	0.5

Region du golfe
Travail par photo-interpretation (sur 100 photos)

Echelle des photos: 5000 noir et blanc

Temps variables (hres)						
	Prof. sn	Prof. jn	Ph.-int.	Tech.	Secret.	Ordinat.
Preparation des photos	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Photo-int. prel.	0.3	4.0	28.0	0.0	0.0	0.0
Plan de sondage	1.2	1.2	1.2	0.0	0.0	0.0
Terrain	4.0	12.0	12.0	0.0	0.0	0.0
Photo-int. finale	0.3	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0
Transfert	0.0	1.2	0.0	20.0	0.0	0.0
Numerisation	0.0	0.0	8.0	8.0	0.0	8.0
Rapport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Temps variables (jrs)						
Gite et couvert	3					
Vehicules	1					
Materiel de rep.	0					
Chaloupes	0.5					

