

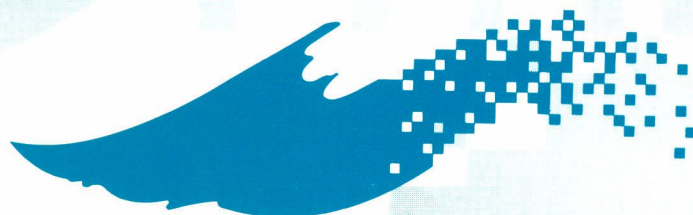


Environnement
Canada

Environment
Canada

Conservation et
Protection

Conservation and
Protection



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

CENTRE SAINT-LAURENT
ST. LAWRENCE CENTRE

243402

SC1001
M68e



Evaluation de la qualité des eaux
des régions de Sorel et de la
Baie Saint-François au moyen de
capteurs aéroportés:
résultats préliminaires

MCS
21 ex

ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX DES RÉGIONS DE SOREL ET DE LA BAIE SAINT-FRANÇOIS AU MOYEN DE CAPTEURS AÉROPORTÉS: RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

Marcelle Grenier¹,
Marie-Catherine Mouchot²,
et
Michel Melançon³

RÉSUMÉ

Suite à l'entente conclue le 8 juin 1989 entre le Centre Saint-Laurent (Environnement Canada) et le Centre canadien de télédétection (Énergie, Mines et Ressources Canada), un projet-pilote a été instauré dans le but d'évaluer la capacité de différents capteurs aéroportés de reconnaître les indicateurs de la qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent. Les capteurs MEIS-II, Daedalus 1260 et FLI ont été utilisés. Un échantillonnage de l'eau et des observations au sol ont été synchronisés avec le passage de l'avion affrété pour la télédétection. La méthodologie employée est basée sur l'étalonnage des images à partir de données obtenues sur le terrain. Le présent article décrit la méthode utilisée et porte sur les résultats préliminaires.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du Plan d'action Saint-Laurent (PASL), une entente de coopération technique et scientifique en matière de télédétection appliquée au fleuve a été conclue entre le Centre canadien de télédétection (CCT) et le Centre Saint-Laurent (CSL) le 8 juin 1989. Cette activité de télédétection au sein d'Environnement Canada constitue un excellent moyen pour atteindre, à moindre coût, l'objectif du programme de Conservation et Protection portant sur la conservation, l'aménagement et la protection du milieu. Le premier volet du programme consiste à évaluer les capteurs existants en télédétection et leur capacité de reconnaître les éléments visés dans les objectifs du PASL. Un projet-pilote a donc été mis sur pied en octobre 1989 pour évaluer la qualité des eaux des régions de Sorel et de la baie Saint-François du lac Saint-Pierre. L'étude portait principalement sur:

- a) la localisation des émissaires,
- b) l'étendue des panaches des rejets industriels, domestiques et des tributaires,
- c) et la localisation et l'évaluation de la superficie occupée par les herbiers.

1. Déléguée scientifique du Centre canadien de télédétection (Énergie, Mines et Ressources Canada) au Centre Saint-Laurent (Environnement Canada), 105 McGill, 4^e étage, Montréal (Québec), H2Y 2E7.

2. Chercheur au Centre canadien de télédétection (Énergie, Mines et Ressources Canada), 1547 Merivale, 4^e étage, Nepean (Ontario), K1A 0Y7.

3. Gestionnaire au Centre Saint-Laurent (Environnement Canada), 1141 route de l'Église, 8^e étage, Québec (Québec), G1V 4H5.

2. SITES DE L'ÉTUDE

Les secteurs étudiés incluent Sorel (site 1) et la baie Saint-François (site 2) de la région du lac Saint-Pierre (figure 1). Le choix de cette région est fondé sur la diversité des éléments à caractériser.

Au site 1, on retrouve quatre rejets industriels à teneurs élevées en matières en suspension et en métaux lourds (fer, nickel, chrome, cuivre et plomb). La rivière Richelieu transporte également une quantité considérable de substances toxiques provenant par ordre d'importance des rejets urbains, industriels et agricoles (Entraco, 1989). La hauteur de l'eau dans ce secteur atteint entre 10 et 15 mètres. Les macrophytes sont peu abondants et se trouvent surtout à proximité des rives. La vitesse des courants dans le chenal est de 0,6 m/s. Les sédiments de fond du chenal de navigation sont de type argileux (Belles-Isles et coll., 1990).

Au site 2, deux tributaires importants se rencontrent, soit les rivières Yamaska et Saint-François. Ces cours d'eau sont pollués par les rejets industriels, urbains et agricoles qui y sont déversés (Entraco, 1989). Les marais, marécages et macrophytes sont très abondants dans ce secteur et constituent un habitat par excellence pour la nidification (Benoit et coll., 1988). La vitesse des courants à l'entrée du lac est de 1,1 m/s. La profondeur moyenne du lac Saint-Pierre est de 3 mètres, si l'on exclut le chenal maritime qui est dragué jusqu'à une profondeur de 10,7 mètres (Belles-Isles et coll., 1990).

3. DESCRIPTION DES CAPTEURS

Les capteurs utilisés, dans le cadre de ce projet, sont le MEIS-II (Multi-detector Electro-optical Imaging Scanner), le Daedalus 1260 et le FLI (Fluorescence Line Imager). Le tableau 1 fait état des conditions d'acquisition ainsi que des paramètres de prise de vue, et la figure 2 montre les résolutions spectrales des différents capteurs utilisés.

Les capteurs aéroportés, tant au niveau de la résolution spectrale que spatiale, nous semblent adéquats pour ce type d'études; de plus, leur flexibilité permet à l'utilisateur de choisir plus facilement la période d'acquisition des images.

4. MESURES ET OBSERVATIONS AU SOL

L'analyse de la qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent (milieu dégradé) par télédétection est très complexe, car l'ensemble des études est basé sur les propriétés optiques d'un milieu naturel non dégradé (Smith et coll., 1981). Simultanément, au passage de l'avion, on a procédé à la collecte d'échantillons d'eau et effectué des mesures au sol de paramètres avec ou sans propriétés optiques connues, afin de nous aider à mieux connaître le milieu. Les tableaux 2 et 3 font la synthèse des mesures prises au cours des deux jours où ont eu lieu les acquisitions d'images de télédétection.

5. MÉTHODOLOGIE

La partie la plus importante du projet réside dans le choix des paramètres ou indicateurs de la qualité des eaux à analyser par télédétection. Les paramètres doivent répondre à deux critères : a) être un indicateur de la qualité des eaux et b) posséder des propriétés optiques. Bukata et coll. ont évalué en 1985 trois paramètres biologiques et physico-chimiques, soit les teneurs en chlorophylle *a*, en matières en suspension et en carbone organique dissous. Les différentes teneurs, indices de l'état du milieu, font varier les réponses spectrales et permettent donc l'évaluation de la qualité de l'eau par analyse d'images. Plusieurs auteurs ont également démontré qu'il existait une forte corrélation entre la teneur en matières en suspension et la luminance mesurée au capteur (Curran et coll., 1988). Au niveau de la cartographie du milieu, la télédétection est très efficace pour la caractérisation des milieux humides (Lafrance et coll., 1987) et la cartographie quantitative (superficie et biomasse) de la végétation aquatique (Grenier et coll., 1987). Il existe également plusieurs études sur la télédétection des températures et courants de surface dont celle, notamment, de Lavoie et coll. (1985). Tous ces paramètres contribuent à l'obtention d'une évaluation complète de l'écosystème.

Certains auteurs préconisent l'utilisation de tout le spectre (400 à 700 nm) pour les études d'évaluation de la qualité des eaux, en raison du contexte du milieu dégradé (Bukata et coll., 1985). Toutefois, plusieurs études ont démontré que l'utilisation d'une seule bande spectrale ou d'un seul rapport de bandes offrait des résultats satisfaisants (Curran et coll., 1980; Clarck, 1980).

La méthodologie utilisée dans ce projet est basée principalement sur l'étalonnage des images à l'aide des données recueillies au sol, méthode couramment utilisée en télédétection (Curran et coll., 1988). Dans le cas des images qui nous intéressent, des régressions linéaires ont été calculées à partir des valeurs de luminance apparente mesurées sur chaque bande spectrale des images qui correspondaient aux valeurs mesurées sur le terrain. Les statistiques sont appliquées à chaque bande spectrale et aux rapports de bande, et la régression sert à obtenir le meilleur coefficient de corrélation. L'inverse de l'équation est alors appliqué à l'image. Pour éliminer les effets de l'atmosphère sur les images FLI, il a fallu procéder à leur correction à l'aide de la méthode développée par Sturm (1983) pour le capteur Coastal Zone Color Scanner.

Au moment de la rédaction de cet article, l'étalonnage avait été effectué sur les images FLI seulement. Les images MEIS-II et Daedalus 1260 subissent présentement le même traitement. Des classifications préliminaires ont été effectuées pour les images MEIS-II, Daedalus 1260 ainsi que pour les images FLI (dans un but de comparaison) comme le montre l'organigramme des traitements à la figure 3.

6. RÉSULTATS

Les images des trois capteurs étudiés permettent d'identifier clairement les émissaires et les panaches des rejets industriels ainsi que ceux des tributaires. Les marais et marécages ainsi que les macrophytes apparaissent clairement sur les images, ce qui permet une caractérisation dont la précision dépend de la collecte des données sur le terrain.

Les classifications effectuées pour les images MEIS-II, Daedalus 1260 et FLI dans le but de faire ressortir l'utilisation du sol donnent des résultats intéressants, compte tenu du fait qu'il s'agit d'un traitement préliminaire. Le tableau 4 montre les superficies par classe d'occupation du sol pour chaque capteur. À noter qu'au niveau de la distinction de ces éléments, les capteurs s'équivalent. La voie de navigation apparaît plus turbide sur les images, ce qui est en contradiction avec les études antérieures. Il semble que la quantité importante de pluie tombée durant cette période ait causé des eaux troubles. De plus, la faible profondeur du chenal (11 mètres) et le tirant d'eau des bateaux auraient pour effet de remettre des sédiments en suspension.

L'étalonnage des images FLI à partir des données recueillies au sol donne de bons résultats pour la chlorophylle *a*, *c*, le carbone organique dissous et la turbidité. Le tableau 5 présente une synthèse de l'information provenant des données FLI.

7. DISCUSSION

L'utilisation de la télédétection dans le cadre de l'évaluation de la qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent est très prometteuse. L'intégration des résultats obtenus par l'analyse d'images sur système d'information géographique permet une meilleure connaissance des ressources et facilite les interventions en matière d'environnement. La télédétection constitue un outil privilégié dans le développement d'un plan de suivi environnemental.

RÉFÉRENCES

Belles-Isles, J.-C., J. Roy, G. Pelletier et J. Bérubé (1990). *Création d'aménagements à partir de déblais de dragage et applicabilité du concept au Saint-Laurent*. Centre Saint-Laurent, Conservation et Protection, Environnement Canada, Montréal.

Benoit, J., J.-C. Bourgeois, S. Desjardins et J. Picard (1988). *Plan de conservation et de mise en valeur des habitats et de la faune de la région du lac Saint-Pierre*. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, directions régionales de Montréal et de Trois-Rivières.

Bukata, R.P., J.E. Bruton et J.H. Jerome (1985). *Application of Direct Measurements of Optical Parameters to the Estimation of Lake Water Quality Indicators*. Scientific Series No. 140, Inland Water Directorate, National Water Research Institute, Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Ontario.

Clark, D.K. (1980). "Phytoplankton Pigment Algorithms for the Nimbus-7 CZCS", *Oceanography from Space*. J. Gower, éd., pp. 227-237.

Curran, P.J. et E.M.M. Novo (1988). "The Relationship Between Suspended Sediment Concentration and Remotely Sensed Spectral Radiance : A Review", *Journal of Coastal Research*. Vol. 4, n° 3, pp. 351-368.

Entraco (1989). *Évaluation de l'apport au fleuve Saint-Laurent des substances toxiques en provenance des tributaires québécois*. Centre Saint-Laurent, Conservation et Protection, Environnement Canada, Montréal.

Grenier, M., J.-M.M. Dubois et A. Royer (1987). "Cartographie quantitative des algues marines à l'aide du capteur MEIS-II", *Symposium canadien sur la télédétection*. Université de Waterloo, Waterloo, Ontario, du 22 au 25 juin 1987, pp. 709-717.

Lafrance, P., J.-M.M. Dubois et F. Bonn (1987). "La télédétection des milieux humides, comparaison des images MSS, TM et Spot", *Le naturaliste canadien*. Vol. 114, n° 4, pp. 433-448.

Lavoie, A., F. Bon et J.-M.M. Dubois (1985). "Structure thermique et variabilité du courant de surface de l'estuaire maritime du Saint-Laurent à l'aide d'images du satellite HCMM", *Canadian Journal of Remote Sensing*. Vol. 11, n° 1, pp.70-84.

Smith, R.C. et K.S. Baker (1981). "Optical Properties of the Clearest Natural Waters (200 - 800 nm)", *Applied Optics*. Vol. 20, n° 2, pp. 177-184.

Sturm, B. (1983). "Selected Topics of Coastal Zone Color Scanner (CZCS) Data Evaluation". *Remote Sensing Applications in Marine Science Technology*. A.P. Cracknell, éd., D. Reidel Publishing Company, pp.137-167.

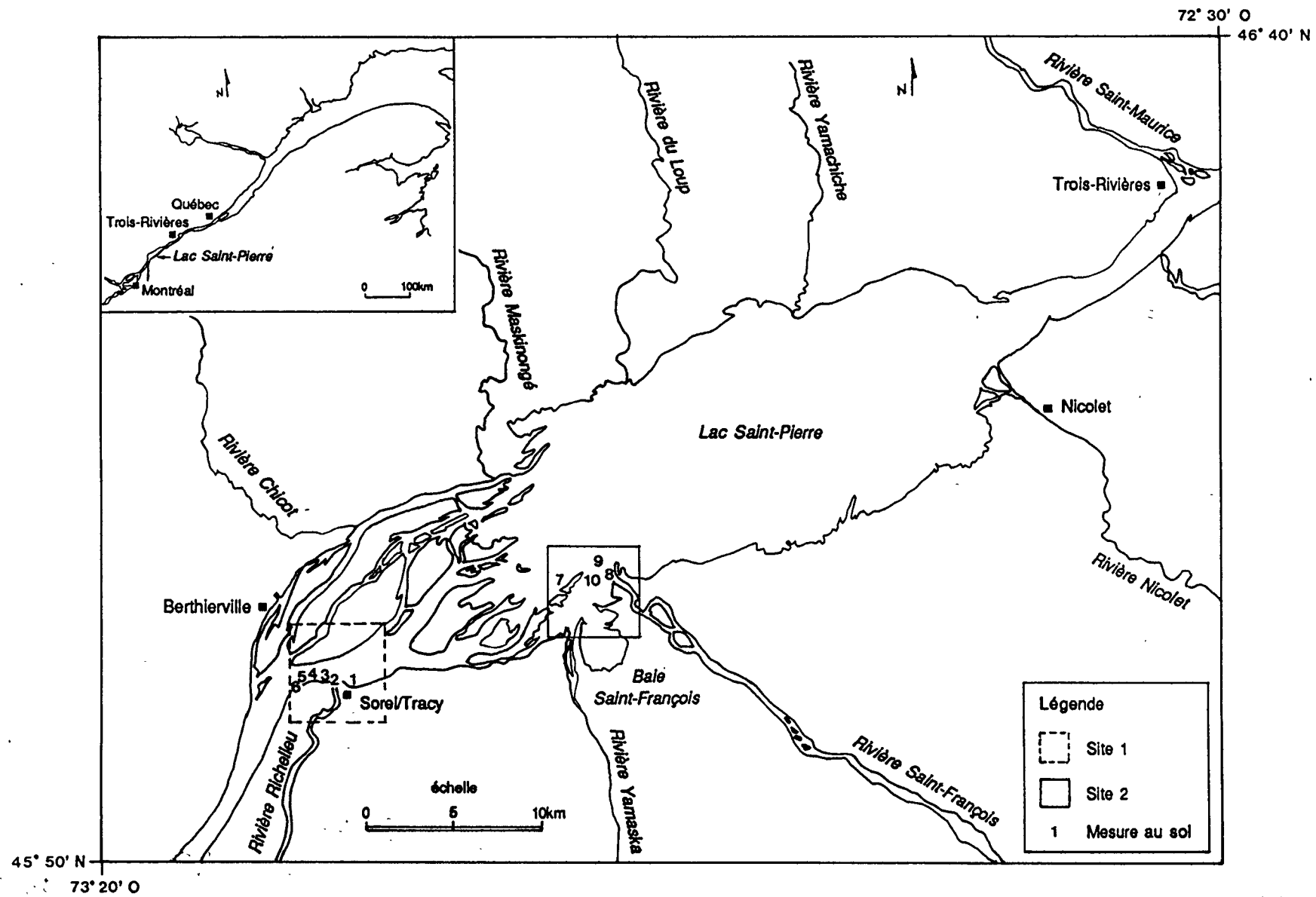


Figure 1
Localisation des sites d'étude

Tableau 1
Paramètres de prise de vue et conditions lors de l'acquisition

	MEIS-II	Daedalus 1260	FLI
Date	30-10-89	30-10-89	14-10-89
Altitude, pieds	20 000	20 000	22 000
Résolution, m	4	8	4
Centre des bandes spectrales, μm	0,448 0,518 0,549 0,597 0,641 0,676 0,751 0,875	0,402 0,432 0,470 0,525 0,572 0,617 0,660 0,730 0,830 (0,865-1,035)	0,505 0,550 0,575 0,612 0,666 0,680 0,711 0,752
Température de l'air, °C	19	19	14
humidité rel, % 8h00 18h00	68 49	68 49	87 24
Vents Vitesse, km/h Direction	5 S.-O.	5 S.-O.	5 N.-E.

Note.- Les données météorologiques du ministère de l'Environnement du Québec.

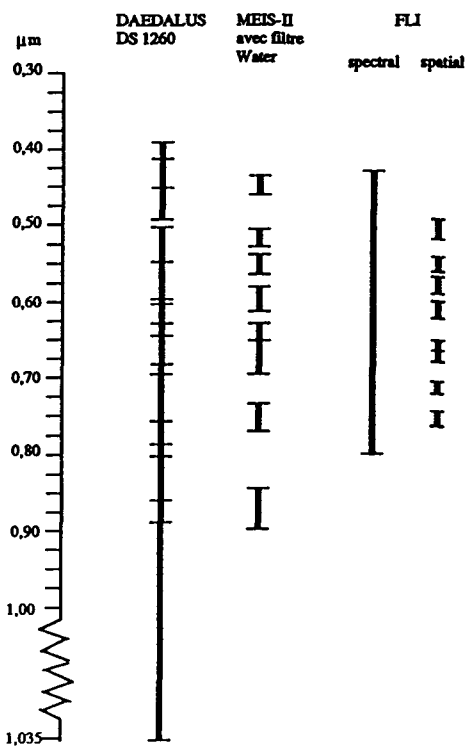


Figure 2
Résolution spectrale des capteurs aéroportés utilisés

Tableau 2
Mesures et observations au sol effectuées le 14 octobre 1989

Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Position long. lat.	73°06'15,1" 46°03'06,8"	73°07'31,2" 46°02'49,5"	73°07'37,2" 46°03'00,4"	73°08'21,5" 46°02'56,5"	73°08'51,4" 46°02'34,2"	73°09'24,4" 46°02'09,7"	72°57'27,7" 46°07'07,6"	72°55'20,6" 46°07'06,5"	72°55'42,0" 46°07'30,8"	72°56'10,3" 46°06'56,0"
Heure	13h30	13h54	14h10	14h36	15h00	15h43	16h54	17h26	17h36	17h51
Temp., °C	11,576	9,945	11,839	11,844	12,046	11,911	11,732	9,641	10,330	11,218
conduct. ms/cm	249 - 332	156 - 216	264 - 348	260 - 342	260 - 342	260 - 342	253 - 334	171 - 240	210 - 290	224 - 303
pH	9,28	8,93	9,06	7,96	9,33	8,21	8,01	8,26	7,92	7,75
O ₂ diss. mg/l	4,74	3,30	4,65	4,36	6,83	7,28	13,70	13,14	13,24	6,22
Secchi,m	1,60	1,65	1,45	2,50	2,10	2,90	1,90	1,00	0,95**	1,15**
Prof.,m	4,25	10,95	10,20	12,45	2,48	8,10	12,00	4,00	3,4	2,75
Nature du fond	limoneux argileux	rocheux	sableux	sableux limoneux	argileux graveleux	limoneux	sableux	argileux	argileux	argileux
Salinité ppm	0,157	0,104	0,170	0,167	0,169	0,167	0,163	0,115	0,138	0,146
MeS, mg/l	7	4	4	2	3	2	5	5	5	4
Couleur*	5	8	13	10	5	7	6	42	20	13
Turbidi. UTN	5,5	3,4	4,7	2,8	3,3	3,0	4,8	5,2	5,2	5,7
Chloro.a µg/l	2,7	3,7	1,6	1,4	2,6	2,2	2,3	5,1	4,2	2,7
Chloro.b	1,5	0,9	0,3	0,2	1,4	0,7	1,1	1,0	1,0	0,8
Chloro.c	2,4	3,9	3,8	2,6	2,1	2,6	2,3	7,1	4,9	2,7
C.O.D. mg C/l	2,4	3,9	3,8	2,6	2,1	2,6	2,3	7,1	4,9	2,7

*. Les valeurs du tableau correspondent à une quantité de matières dissoutes dans 50,0 ml d'eau distillée
Couleur X 0,1 = Solution ex: couleur 9 = solution de 0,9

** Ces données peuvent être erronées étant donné la hauteur du soleil à cette heure.

Tableau 3
Mesures et observations au sol effectuées le 30 octobre 1989

Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Position long. lat.	73°06'15,1" 46°03'06,8"	73°07'31,2" 46°02'49,5"	73°07'39,6" 46°03'00,2"	73°08'11,9" 46°02'57,4"	73°08'53,9" 46°02'31,8"	73°09'24,4" 46°02'09,7"	72°57'27,7" 46°07'07,6"	72°55'20,6" 46°07'06,5"	72°55'45,0" 46°07'42,5"	72°56'10,3" 46°06'56,0"
Heure	13h50	14h15	14h32	14h45	15h11	15h30	16h15	16h38	17h05	16h50
Temp., °C	11,063	10,845	11,550	11,332	11,932	11,434	11,234	11,714	11,500	11,580
Conduct. ms/cm	210 - 284	167 - 225	267 - 356	257 - 345	264 - 348	257 - 345	249 - 336	156 - 207	221 - 292	285 - 383
pH	-----	6,58	6,65	7,07	7,04	7,65	7,31	7,95	7,97	8,97
O ₂ diss. mg/l	3,99	8,97	9,93	10,40	11,25	11,40	3,96	2,57	2,61	3,39
Secchi, m	1,22	1,20	1,35	2,25	1,60	2,00	1,40	0,80	0,50**	0,40**
Prof. m	3,8	10,9	10,8	14,5	2,6	8,95	13,11	3,52	4,9	3,5
Nature du fond	limoneux	sable grossier	limoneux sableux	graveleux	argileux macrophytes	sableux rocheux	argileux sableux	argileux graveleux	argileux	macrophytes sableux
Salinité ppm	0,135	0,109	0,171	0,167	0,169	0,167	0,162	0,100	0,143	0,185
MeS, mg/l	9	12	6	3	3	2	8	7	8	16
Couleur*	15	14	16	10	9	9	10	48	42	31
Turbidi. UTN	4,0	3,6	4,4	1,5	2,1	1,5	2,9	6,1	6,6	13
Chloro.a µg/l	5,3	6,9	3,9	4,0	5,0	4,4	5,3	7,7	8,5	9,3
Chloro.b	4,3	4,7	3,0	2,5	3,4	2,7	3,5	4,6	3,7	3,4
Chloro.c	9,4	13	7,9	6,4	9,1	8,5	9,8	12	8,3	8,0
C.O.D., mg C/l	3,5	4,1	2,3	3,7	3,0	2,8	3,6	7,5	7,0	6,7

* Les valeurs du tableau correspondent à une quantité de matières dissoutes dans 50,0 ml d'eau distillée
Couleur X 0,1 = Solution ex: couleur 9 = solution de 0,9

** Ces données peuvent être erronées étant donné la hauteur du soleil à cette heure.

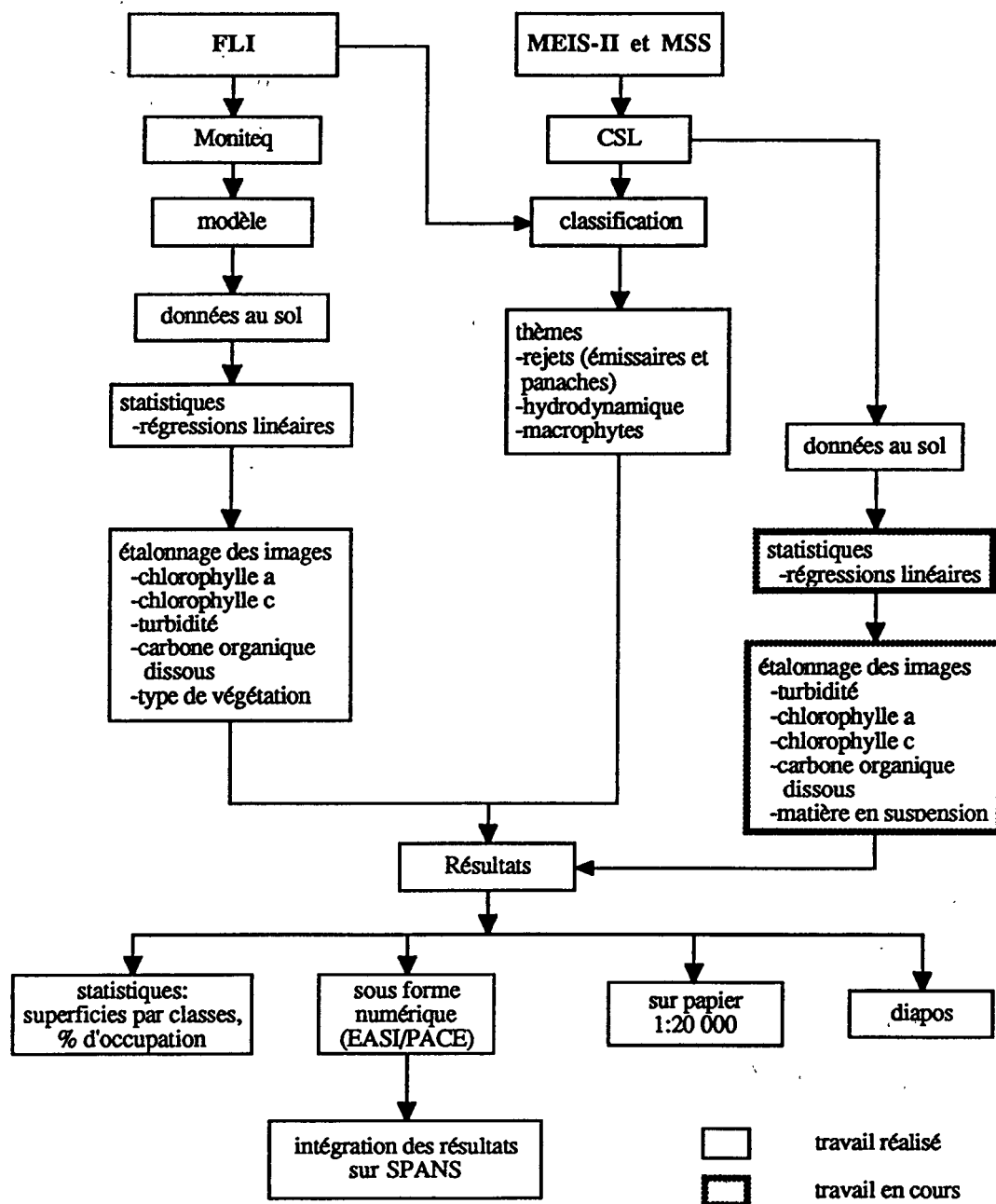


Figure 3
Organigramme de la méthodologie utilisée pour le traitement des données

Tableau 4
Résultats des classifications

Sorel (site 1)		
	MEIS-II	FLI
superficie totale	17 km	12 km
terre	9,7	8,4
panache rejet blanc	0,1	0,2
panache, rejet noir	1,6	1,2
chenal de navigation	5,0	2,0
zone d'eau turbide	0,4	---
rivière Richelieu	0,2	0,2
Baie Saint-François (site 2)		
	MEIS-II	Daedalus 1260
superficie totale	17 km	27 km
rivière Saint-François	1,0	1,7
rivière Yamaska	0,6	0,4
milieux humides	3,1	1,7
herbiers	1,9	2,6
zone d'eau profonde	2,8	2,2
chenal de navigation	1,4	1,1
macrophytes	2,6	3,3
zone d'eau peu profonde	1,4	---
non classée	2,2	14

Tableau 5
Résultats de l'étalonnage des images FLI

	Sorel (site 1)	Baie Saint-François (site 2)
Chlorophylle a	< 2,0 µg/l 2,1 à 3,0 3,1 à 4,0 4,1 à 5,0 5,1 à 6,0 6,1 <	< 3,0 µg/l 3,1 à 4,0 4,1 à 5,0 5,1 <
Chlorophylle a	< 3,0 µg/l 3,1 à 4,0 4,1 à 5,0 5,1 à 6,0 6,1 <	< 3,0 µg/l 3,1 à 4,0 4,1 à 5,0 5,1 à 6,0 6,1 <
Carbone organique dissous		< 3,0 µg/l 3,1 à 4,0 4,1 à 5,0 5,1 à 6,0 6,1 <
Turbidité	< 3 UTN 3,1 à 4,0 4,1 à 5,0 5,1 à 6,0 6,1 à 7,0 7,1 <	
Type de végétation		vég. submergée vég. flottante vég. émergente marais peu prof. marécage arbust. marécage arbor. paturages

