

DOCUMENTAIRE BIOPHYSIQUE
SUR
L'ESTUAIRE MOYEN
DU FLEUVE SAINT-LAURENT

réalisé
par
Carrière, Varin, deJocas, David et Ass. Ltée

pour
Environnement-Canada
Direction générale des Eaux intérieures
Région du Québec

mars 1981

REMERCIEMENTS

Carrière, Varin, deJocas, David et Ass. Ltée tient à remercier Monsieur Carroll Bélanger de la Direction des Eaux intérieures, région du Québec, qui l'a aidé dans la réalisation de ce documentaire.

Nous tenons aussi à remercier Monsieur Marcel Fréchette de l'Université Laval pour la partie de travail qu'il avait effectué sur ce documentaire en 1978.

EQUIPE DE TRAVAIL

Huguette Varin, biologiste	Recherche et rapport
Diane Goyer, géo-cartographe	Coordination cartographique
Joanne Imbeault, graphiste	Conception graphique et réalisation technique
François Ducharme, dessinateur	Réalisation technique
Marie-Paule Viau, secrétaire	Dactylographie

T A B L E D E S M A T I E R E S

	<u>Page</u>
1.0 INTRODUCTION.....	1
2.0 LE MILIEU PHYSIQUE.....	3
2.1 La climatologie.....	3
2.1.1 La température.....	3
2.1.2 Les vents.....	8
2.1.3 Les précipitations.....	10
2.2 La morphométrie.....	13
2.3 Les débits fluviaux.....	13
2.4 L hydrodynamique.....	20
2.4.1 Les marées et les courants.....	20
2.4.2 La houle.....	32
2.4.3 Les modèles.....	35
2.5 Les glaces.....	38
2.6 La salinité et la température.....	41
2.7 Les rives.....	50
2.7.1 La géologie.....	50
2.7.2 L'érosion.....	52
2.7.3 L'utilisation.....	53
2.7.3.1 La villégiature et la récréation.....	53
2.7.3.2 La faune.....	56
2.7.4 La protection.....	57
3.0 LE MILIEU CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE.....	62
3.1 Les apports.....	62
3.1.1 Le Saint-Laurent.....	62
3.1.2 Les tributaires.....	62

	<u>Page</u>
3.2 Les rejets.....	67
3.2.1 Les municipalités.....	67
3.2.2 Les industries.....	67
3.2.3 Les hydrocarbures.....	67
3.2.4 Le dragage dans les ports.....	73
3.3 La qualité physico-chimique et bactériologique.....	74
3.3.1 La physico-chimie.....	74
3.3.2 La bactériologie.....	75
3.3.2.1 Les eaux riveraines.....	75
3.3.2.2 Les mollusques.....	77
4.0 LE MILIEU SEDIMENTAIRE.....	82
4.1 La nature des fonds.....	82
4.1.1 La granulométrie.....	82
4.1.2 La géologie.....	97
4.2 La géochimie des sédiments de fond.....	104
4.3 La géochimie des suspensoides et de la phase dissoute.....	107
4.4 La dynamique des sédiments et des suspensoides.....	120
4.5 Les dragages.....	129
4.6 Les zones intertidales.....	130
5.0 LE MILIEU BIOLOGIQUE.	136
5.1 La production primaire.....	136
5.1.1 La production primaire pélagique..	136
5.1.1.1 Composition taxonomique, distribution et biomasse.	136
5.1.1.2 Production, écologie.....	151
5.1.2 Le phytobenthos.....	155
5.1.2.1 Espèces, distribution, biomasse.....	155
5.1.2.2 Production, écologie.....	161

	<u>Page</u>
5.2 La production secondaire.....	169
5.2.1 Le zooplancton.....	169
5.2.1.1 Espèces, distribution et biomasse.....	169
5.2.1.2 Ecologie.....	169
5.2.2 Les organismes benthiques.....	171
5.2.3 Les poissons.....	177
5.3 Les mammifères marins.....	193
5.4 L'avifaune.....	197
 6.0 CONCLUSIONS.....	205
 BIBLIOGRAPHIE.....	207

L I S T E D E S T A B L E A U X

<u>TAB</u> <u>LEAU</u>	<u>DESCRIPTION</u>	<u>PAGE</u>
1	Mesures de températures de l'air (en °C)	4
2	Mesures de température de l'eau de surface (en °C)	7
3	Mesures de précipitations (en mm)	11
4	Mesures de précipitations (en mm)	12
5	Quelques mesures de courants dans l'estuaire (en noeuds)	29
6	Liste des tributaires de la rive sud dont les charges sont les plus importantes	65
7	Liste des tributaires de la rive nord dont les charges sont les plus importantes	66
8	Charges théoriques des municipalités de la rive sud (kg/j)	68
9	Charges théoriques des municipalités de la rive nord (kg/j)	70-71
10	Classement des industries selon les charges	72
11	Terminologie des particules sédimentaires en fonction de leur taille	83
12	Composition des sédiments sableux	108
13	Composition argileuse de la fraction <2µm des suspensions de l'estuaire du St-Laurent	111
14	Composition élémentaire moyenne des suspensions et des sédiments de l'estuaire du St-Laurent	112
15	Composition chimique des suspensions du Saint-Laurent	113
16	Concentration en métaux traces dans les eaux du fleuve et de l'estuaire du St-Laurent	117
17	Superficies, volume et poids maxima de l'accumulation de sédiments à la fin de l'été sur diverses battures de l'estuaire moyen du St-Laurent	131
18	Distribution par ordre d'importance des espèces dominantes durant les trois mois d'échantillonnage en 1973	139
19	Distribution spatiale des espèces observées	141

<u>TABLEAU</u>	<u>DESCRIPTION</u>	<u>PAGE</u>
20	Importance relative moyenne des principaux taxons observés au cours des 13 heures d'échantillonnage	152
21	Richesse floristique des groupements étudiés dans le littoral de l'Ile d'Orléans	168
22	Liste des espèces présentées dans l'ichtyoplancton de l'estuaire et du golfe St-Laurent pour 1973 (juin-juillet), 1974 (juin-octobre) et 1975 (juin-septembre)	183-184

L I S T E D E S F I G U R E S

<u>FIGURE</u>	<u>DESCRIPTION</u>	<u>PAGE</u>
1	L'estuaire moyen du Saint-Laurent	2
2	Carte bathymétrique de l'estuaire moyen du Saint-Laurent	14
3	Coupe longitudinale de l'estuaire du Saint-Laurent	15
4	Bassin hydrographique du Saint-Laurent	17
5	Débit du système Saint-Laurent à Pointe-des-Monts	18
6	Variations annuelles moyennes du débit total du fleuve	19
7	Exemples d'enregistrements du niveau de l'eau <u>Septembre 1976</u>	21
8	Les composantes élémentaires de la marée dans le golfe Saint-Laurent A) l'onde semi-diurne lunaire M_2 B) l'onde diurne lunisolaire K_1	23
9	Valeurs de marnages en différents points du Saint-Laurent (1975)	24
10	Profil de l'onde de marée de l'Ile d'Anticosti à Trois-Rivières	25
11	Evolution des surfaces décrites par l'isopycne en un transect reliant 2 points, situés près de Cap-à-l'Aigle et Grosse-Ile	27
12	Localisation des stations de mesure	30
13	Les vitesses résiduelles A) Calcul B) Répartition schématique dans un estuaire idéal	31
14	Les données de courant: A) Direction B) Vitesse C) Profondeur d'eau	33
15	Modèle pour l'étude des marées sur le fleuve Saint-Laurent	36
16	Courants de marée dans l'estuaire du Saint-Laurent-région Québec-St-Siméon	39
17	Courants de marée dans l'estuaire du Saint-Laurent-région St-Siméon-Forestville	40

<u>FIGURE</u>	<u>DESCRIPTION</u>	<u>PAGE</u>
18	Distributions moyennes estivales, estuaire moyen du Saint-Laurent A) température ($^{\circ}\text{C}$) B) salinité ($^{\circ}/\text{oo}$)	43
19	Evolution de la salinité ($^{\circ}/\text{oo}$) (18 février 1963)	44
20	Evolution de la salinité ($^{\circ}/\text{oo}$) (21-24 mai 1963)	45
21	Evolution de la température ($^{\circ}\text{C}$) (Février)	47
22	Evolution de la température ($^{\circ}\text{C}$) (Mai)	48
23	Classification de l'estuaire du Saint-Laurent selon la méthode de Hansen et Rattray (1966)	49
24	Distribution du substrat	51
25	Potentiel récréatif des rives	54
26	Potentiel récréatif des rives (suite)	55
27	Localisation des stations d'échantillonnage de contaminants	63
28	Localisation des stations d'échantillonnage de contaminants (suite)	64
29	Profil longitudinal du pH tel qu'observé dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent au cours de la mission SOUQAR 76-010	76
30	Zones coquillères échantillonnées en 1974	78
31	Relevé d'inventaire de la ressource coquillière de St-Roch-des-Aulnaies à Notre-Dame-du-Portage	79
32	Distribution cumulée de la fréquence de taille des sédiments: Type 1: Chenal laurentien Type 2: estuaire moyen Type 3: plates-formes et pentes des chenaux	84
33	Relation entre le pourcentage de sédiments plus petits que 2μ et le pourcentage de sédiments ayant entre 2 et 16μ	85
34	Distribution générale des sédiments de surface de l'estuaire moyen	87
35	Diagramme "tripolaire" A) sédiments totaux B) fraction sableuse seulement	87a
36	Proportion de sable dans les sédiments de surface d'une section de l'estuaire moyen A) de sable B) de composantes fines et très fines	89

<u>FIGURE</u>	<u>DESCRIPTION</u>	<u>PAGE</u>
37.	Etude de la qualité des sédiments entre Québec et Trois-Pistoles (granulométrie de la couche de surface des sédiments de fond)	90
38	Etude de la qualité des sédiments entre Québec et Trois-Pistoles (granulométrie de la couche de surface des sédiments de fond) (suite)	91
39	Stratigraphie de la couche superficielle des sédiments de la région centrale de l'estuaire moyen	93
40	Distribution typique des volumes de particules d'une taille donnée à différentes sections de l'estuaire du Saint-Laurent	94
41	Position des échantillons de sédiments prélevés les 7 et 8 juillet 1975	95
42	Répartitions types des tailles des particules en suspension	96
43	Variation de la taille des suspensoides dans l'estuaire moyen	98
44	Carte géologique de l'estuaire du Saint-Laurent	99
45	Carte géologique sommaire du lit de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent	101
46	Position des moraines et étendue maximum de la mer de Champlain	102
47	Epaisseur (en mètres) des sédiments perméables à un signal acoustique (présumément des sédiments de la mer de Champlain)	103
48	Distribution de mercure total dans les sédiments de surface du golfe Saint-Laurent (1000 ppb = 1 ppm)	105
49	Distribution du CaCO_3 dans les sédiments superficiels	109
50	Variations des concentrations de manganèse, zinc, cadmium et plomb ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dans les particules du haut estuaire du Saint-Laurent	114
51	A) Relation entre le fer total dissous et le manganèse dans l'estuaire du Saint-Laurent B) Variation du manganèse avec la salinité C) Variation du fer total dissous avec la salinité D) Variation de la silice dissoute avec la salinité	115
52	Emplacement des stations d'échantillonnage pour le Cu, le Pb et le Cd	118

<u>FIGURE</u>	<u>DESCRIPTION</u>	<u>PAGE</u>
53	Variations des teneurs moyennes en Cu, Pb et Cd A) teneurs mensuelles au cours de l'été 1972 B) teneurs estivales selon les stations d'échantillonnage	119
54	Carbone total particulaire (mg/m^3) (ppb) (marée basse-automne 1974)	121
55	Cartographie des zones de sédimentation	123
56	Cartographie des zones de sédimentation (suite)	124
57	Distribution des suspensoides dans l'estuaire moyen	125
58	Enveloppe des valeurs de turbidité observées par le CENTREAU	126
59	Distribution verticale de la turbidité	128
60	Localisation des différentes stations et densité moyenne des cellules phytoplanctoniques sur les radiales échantillonnées, selon les trois mois d'observation, juin (J), juillet (J), septembre (S) en 1973	137
61	Stations d'échantillonnage de phytoplancton dans l'estuaire du Saint-Laurent	140
62	Distribution moyenne pour les trois années, de quatre espèces dominantes selon les stations et les différents mois d'échantillonnage	143
63	Nombres totaux de cellules en fonction des stations selon les mois et les années d'échantillonnage	145
64	Station d'échantillonnage de phytoplancton	146
65	Séries temporelles des densités phytoplanctoniques brutes observés à 1 m, 5 m et 10 m.	147
66	Autocorrélation calculée, sur les séries filtrées de densité phytoplanctonique et de température, durant les marées de morte-eau (A,B) et de vive-eau (C,D). Profondeur 5 m. Les lignes pointillées indiquent une corrélation significative, au seuil de 5	149
67	Série temporelle à la station "Écovariété 75" pendant 13 h, les 5 et 6 août A) Phytoplancton (données brutes et tendances) B) température et salinité (tendance)	150

<u>FIGURE</u>	<u>DESCRIPTION</u>	<u>PAGE</u>
68	Fonction spectrale de densité de la fluorescence de la chlorophylle a et de la température pour la première (A,B) et la seconde (C,D) parties de la moyenne d'échantillonnage	153
69	Séries temporelles de la fluorescence de la chlorophylle a et de la température (Fréquence N=4 minutes)	154
70	Autocorrélation de chacune des deux parties de la série du rapport A/B en lumière blanche saturante	156
71	Courbes de réponse photosynthétique du phytoplancton à la lumière, pour différentes heures de la journée	156a
72	Distribution longitudinale des Fucacées	158
73	Distribution des Rhodophycées	159
74	Distribution des Laminariales	160
75	Limites hydrobiologiques, archipel de Montserrat	162
76	Subdivisions des milieux saumâtres et maritimes du Saint-Laurent	163
77	Distribution des marécages à Scirpus americanus	164
78	Distribution des marécages à Spartina	165
79	Coupe schématique d'un marécage intertidal du Saint-Laurent	167
80	Répartition du Mya arenaria	172
81	Distribution de Buccinum undatum	173
82	Distribution de Mytilus edulis	174
83	Distribution de Nereis virens	175
84	Données de marquage d'éperlans, Rivière Boyer, du 26 avril au 2 mai	178
85	Données de marquage d'éperlans, Trois-Pistoles, fin de mai 1957	179
86	Données de marquage d'éperlans, Port-au-Saumon, 9 juillet 1958	180
87	Données de marquage d'éperlans, Rivière-Ouelle, 3 octobre 1956	181
88	Distribution saisonnière et abondance des larves dans l'estuaire et le golfe occidental en 1975	185

<u>FIGURE</u>	<u>DESCRIPTION</u>	<u>PAGE</u>
89	Distribution saisonnière et abondance du hareng dans l'estuaire du Saint-Laurent (stade larvaire)	186
90	Distribution saisonnière et abondance des larves d'éperlan dans l'estuaire du Saint-Laurent	187
91	Taux de croissance larvaire; A: hareng, B: éperlan	189
92	Zones littorales de frai du capelan	190
93	Distribution saisonnière et abondance des larves de capelan dans l'estuaire du Saint-Laurent	191
94	Croissance des larves de capelan dans l'estuaire du Saint-Laurent et le golfe occidental (1974 et 1975). Les lignes verticales minces représentent l'étendue, la ligne horizontale, la moyenne et les traits verticaux gras, la valeur d'un écart-type de part et d'autre de la moyenne	192
95	Distribution et abondance relative du phoque commun dans l'estuaire du Saint-Laurent	194
96	Distribution du Beluga	195
97	Oiseaux pélagiques du golfe Saint-Laurent (aire de reproduction)	198
98	Oiseaux côtiers du golfe Saint-Laurent (aire de reproduction)	199
99	Oiseaux de rivage du golfe Saint-Laurent (aire de reproduction)	200
100	Oiseaux de rivage du golfe Saint-Laurent (aire de reproduction (suite)	201

1.0 INTRODUCTION

Dans le but de circonscrire les lacunes existantes dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent, Environnement-Canada nous a donné le mandat de réaliser un documentaire biophysique constituant une synthèse des études déjà réalisées dans cette région.

Ce travail se veut d'abord une rétrospective de la littérature existante sur l'estuaire moyen. C'est pourquoi nous rapportons principalement des conclusions d'études plutôt que de faire l'analyse de données brutes. Nous y avons été parfois forcés cependant quand les études étaient inexistantes sur le sujet. Nous devons de limiter ce documentaire à un volume acceptable, nous référons le lecteur qui désirerait plus de détails ou d'informations sur les différents sujets aux sources mentionnés ainsi qu'à la bibliographie générale à la fin du document.

Précisons avant de commencer que si l'estuaire du Saint-Laurent se divise en trois grandes sections (estuaire maritime, estuaire moyen et estuaire fluvial), la portion de l'estuaire décrite par le présent document est l'estuaire moyen. Il peut nous arriver de décrire des phénomènes de l'estuaire maritime quand nous croyons qu'il peuvent ajouter à la compréhension de l'estuaire moyen. Nous nous sommes servis des limites de l'estuaire moyen données par Dionne (1971a): entre les latitudes nord 47° et $48^{\circ}05'$ et les longitudes ouest $69^{\circ}35'$ et $70^{\circ}45'$ (soit de la pointe est de l'île d'Orléans à l'embouchure du Saguenay) (Figure 1).

Les différents aspects touchés par ce document sont les suivants: milieu physique, milieu chimique et bactériologique, milieu sédimentaire et milieu biologique.

2.0 LE MILIEU PHYSIQUE

Dans la section suivante nous allons décrire l'aspect physique de l'estuaire moyen du St-Laurent. Nous rapporterons uniquement les paramètres déjà étudiés dans la littérature et qui concernent la climatologie, la morphométrie, les débits fluviaux, l'hydrodynamique, les glaces, la salinité et la température, et enfin les rives.

2.1 La climatologie

L'étude de la climatologie étant une science relativement nouvelle au Québec, les renseignements recueillis pour définir l'Estuaire moyen sont davantage des données brutes que des résultats soumis à une interprétation rigoureuse.

Régionalement, l'Estuaire moyen du St-Laurent appartient à un climat de type continental tempéré. Nous analyserons ici trois aspects de ce climat, soit la température, les vents et les précipitations.

2.1.1 La température

Trois sources de renseignements nous ont permis de connaître deux aspects de la température de l'Estuaire, c'est-à-dire la température de l'air et la température de l'eau de surface.

La température de l'air a fait l'objet de nombreuses collectes de données. La plus importante nous vient d'Environnement atmosphérique (1973) qui rapporte un échantillonnage réparti sur 30 ans (1941-1970). Nous avons retenu et reporté au tableau 1 les mesures de 3 stations intéressantes pour l'Estuaire moyen: Québec, LaPocatière et Rivière-du-Loup. L'étude océanographique du fleuve St-Laurent effectuée par Muir (1979a) a permis de compléter ces mesures d'Environnement atmosphérique pour l'été 1977. Muir (1979a) a réalisé son

Tableau 1. Mesures de température de l'air (en °C)

Température moyenne quotidienne

Période Station	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
QUÉBEC												
*Station terrestre	-10.6	-9.1	-3.1	4.1	11.3	16.9	20.1	18.8	14.1	8.0	0.8	-7.8
LAPOCATIÈRE												
*Station terrestre	-11.2	-10.2	-4.4	2.9	9.9	15.6	18.7	17.4	13.1	7.4	0.6	-7.8
***Station sur l'eau	NS	NS	NS	NS	10.3	16.0	19.2	20.1	14.5	9.4	NS	NS
RIVIÈRE-DU-LOUP												
*Station terrestre	-12.3	-11.6	-5.6	1.2	8.4	14.0	17.2	15.7	11.5	5.9	0.7	-8.8
**Station terrestre	-	-	-	4.1	8.5	10.4	12.4	-	-	-	-	-
***Station sur l'eau	NS	NS	NS	NS	8.7	12.3	19.9	15.5	12.2	5.6	NS	NS
****Station sur l'eau	-	-	-	7.9	7.7	10.3	12.4	-	-	-	-	-

* Source : Environnement atmosphérique (1973)
 ** Source : Muir (1979a)
 *** Source : Environnement atmosphérique (1980b)
 **** Source : Muir (1979a)
 NS : non significatif

étude de deux façons: par une série de mesures prises à partir d'une station terrestre située à l'Ile-aux-Lièvres (en face de Rivière-du-Loup) et par une autre série de mesures effectuées à partir d'un bateau navigant dans les environs de l'Ile-aux-Lièvres. Dans le tableau 1, nous associons ces deux stations à la région "Rivière-du-Loup". Les mesures de la station terrestre de Muir (1979a) ont été compilées sous la forme de moyennes (à partir de 102 données pour avril, 744 pour mai, 721 pour juin et 130 pour juillet). Les relevés de Muir (1979a) ont été effectués entre le 26 avril et le 6 juillet 1977. Quant aux mesures prises à partir du bateau, leur moyenne a été réalisée à partir de 7 résultats pour avril, de 169 pour mai, de 155 pour juin et de 11 pour juillet. Finalement des données pour 1978 nous ont été fournies par Environnement atmosphérique (1980b). Des bateaux navigants en face de LaPocatière et de Rivière-du-Loup ont mesuré la température de l'air et ont retransmis leur résultat à Environnement atmosphérique même si leur but premier n'était pas la collecte de données climatologiques. Les résultats compilés au tableau 1 sont la moyenne de 8 échantillons en mai, de 6 en juin, de 10 en juillet, de 8 en août et en septembre et de 5 en octobre pour la station LaPocatière, et la moyenne de 13 échantillons en mai, 6 en juin, 12 en juillet, 9 en août, 13 en septembre et 7 en octobre pour la station Rivière-du-Loup. Les mesures prises en janvier, février, mars, avril, novembre et décembre ne sont pas significatives à cause de leur trop petit nombre.

L'analyse du tableau 1 permet de constater la constance des résultats de température de l'air, peu importe la source de renseignements et l'année de collecte des données. Il nous faut cependant exclure les résultats de Muir (1979a) pour avril et juillet, l'échantillonnage ne représentant qu'une partie minime de chacun de ces mois. On ne peut pas davantage faire une interprétation rigoureuse des mesures de température de l'air effectuées par bateau pour Environnement atmosphérique (1980b) puisque ces bateaux ne sortaient pas nécessairement par mauvais temps, faussant ainsi légèrement les résultats de la moyenne.

Le tableau 1 montre que la moyenne des températures est maximale en juillet pour les trois centres étudiés. Cette température décroît cependant de Québec (20.1°C) à LaPocatière (18.7°C) à Rivière-du-Loup (17.2°C). Quant au minimum de température, il est atteint en janvier dans chacun des centres étudiés passant de -10.6°C à Québec, à -11.2°C à LaPocatière et à -12.3°C à Rivière-du-Loup.

Environnement atmosphérique (1973) donne aussi le maximum extrême et le minimum extrême de température de l'air enregistrés pour la période de 1941 à 1970. Pour la station de LaPocatière, le maximum extrême est de 35°C et le minimum extrême de -36.7°C . Pour la station de Québec, le maximum extrême est de 35°C et le minimum extrême de -36.7°C . Pour la station de Québec, le maximum extrême est de 36.1°C et le minimum extrême de -36.7°C .

Le Tableau 2 présente des mesures de température de l'eau de surface prises par bateau à LaPocatière et à Rivière-du-Loup. Ces mesures proviennent de deux sources. Environnement atmosphérique (1980b) et Muir (1979a). Ils agissent des mêmes bateaux mentionnés précédemment pour les mesures de température de l'air.

L'analyse des résultats montre que la température de l'eau de surface est à son maximum au mois d'août pour la station LaPocatière (19.8°C) et au mois de juillet pour la station Rivière-du-Loup (13.8°C). Nous n'avons pas de mesures significatives pour les données minimales d'hiver. La faible quantité de données nous empêche de prendre en considération les mesures de température extrême.

Notons ici qu'une étude de Ingram (1979), réalisée dans le chenal Laurentien (estuaire maritime), rapporte l'existence d'une couche intermédiaire de température située sous la surface. Cette couche provient des eaux froides du Golfe St-Laurent. Nous n'élaborerons pas davantage puisque cette étude ne touche pas l'Estuaire moyen.

Tableau 2. Mesures de température de l'eau de surface (en °C)

Température moyenne quotidienne

Période Station	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
* LAPOCATIÈRE	NS	NS	NS	NS	7.3	11.3	16.1	19.8	11.5	8.4	NS	NS
RIVIÈRE-DU-LOUP												
*	NS	NS	NS	NS	6.4	8.3	13.8	13.1	8.6	5.6	NS	NS
**	-	-	-	4.2	5.7	7.8	7.3	-	-	-	-	-

* Source : Environnement atmosphérique (1980b)

** Source : Muir (1979a)

NS : Non significatif

Dans leur étude sur le mélange des eaux douces et salées du Saint-Laurent, Ouellet et Cerceau (1976) concluent que les variations extrêmes de température des eaux douces (de quelque °C en hiver à plus de 20°C en été) provoquent des variations sinusoïdales de ce paramètre au cours de la marée. De plus, il y a selon eux des variations transversales de température puisque, en été, les eaux sont plus chaudes vers la rive sud alors qu'en hiver elles y sont plus froides. Ceci serait explicable par l'écoulement préférentiel des eaux douces vers la rive sud et des eaux salées, dont la présence est plus ou moins forte selon le secteur de l'estuaire étudié, vers la rive nord.

2.1.2 Les vents

Trois sources nous ont donné des renseignements sur les vents dans l'estuaire moyen ou du moins à proximité de l'estuaire moyen. Ce sont Environnement atmosphérique (1975a), Muir (1979a) et Environnement atmosphérique (1980b). Nous avons déjà mentionné les conditions de prise de données pour les deux dernières sources (section sur la température). Quant à Environnement atmosphérique (1975a), on y rapporte des mesures de fréquence de direction et de vitesse des vents pour Québec, LaPocatière et Rivière-du-Loup. Ces mesures ont été prises de 1955 à 1972. Ces renseignements provenant de stations situées sur terre ont une valeur limitée pour l'analyse des vents sur l'eau.

D'après Environnement atmosphérique (1975a) les vents proviennent le plus fréquemment de OSO (15%), ENE (14%) et SO (13%) pour la ville de Québec. Dans ces trois directions la vitesse moyenne annuelle des vents est:

OSO : 11.46 noeuds

ENE : 10.94 noeuds

SO : 10.94 noeuds

Pour la ville de LaPocatière, la provenance des vents la plus fréquemment observée est le SO (35%), suivi du NE (15%), du N (13%) et du SE (12%). La vitesse moyenne des vents y est de:

SO : 11.38 noeuds
 NE : 8.16 noeuds
 N : 6.95 noeuds
 SE : 5.82 noeuds

Enfin, pour la Ville de Rivière-du-Loup les provenances les plus souvent observées sont le S (14%), le SO (11%), le SSO (10%) et le N (10%). On y remarque les vitesses moyennes suivantes:

S : 8.16 noeuds
 SO : 9.03 noeuds
 SSO : 9.55 noeuds
 N : 8.08 noeuds

Nous pouvons donc remarquer que chacune des trois stations subit des vents de direction et de vitesse fort différentes.

Nous ne retiendrons de Muir (1979a) et Environnement atmosphérique (1980b) que les maxima rapportés dans leurs mesures prises sur l'eau. Environnement atmosphérique (1980b) rapporte une vitesse de vent de 30 noeuds dans une direction NNE (7°) (par bateau) dans les environs de l'Ile d'Orléans. Muir (1979a) parle aussi d'une vitesse de 30 noeuds dans une direction NO (310°) prise par bateau situé à proximité de l'Ile-aux-Lièvres. Nous ne pouvons comparer ces dernières sources avec Environnement atmosphérique (1975) étant donné le petit nombre de mesures prises par ces sources.

Différents auteurs ont parlé dans leurs études de l'influence des vents. Selon Neu (1970) les vents exercent un stress sur la surface de l'eau, stress qui influence la circulation estuarienne. Ils produisent donc un transport net d'eau, tout en générant des vagues. Ces dernières vont augmenter l'intensité du mixage vertical. La circulation estuarienne se comporte comme une cellule tournant dans le sens des aiguilles d'une montre (Murty et Taylor, 1970). Ce modèle n'est cependant pas valable pour les mois d'hiver puisqu'il ne tient aucunement compte de la couche de glace. Dans leur étude sur le mouvement et la

dispersion des nappes d'huile, Aubin et al (1979) considèrent la durée de vent comme un facteur primordial du mouvement et des nappes d'huile. El-Sabh et al (1979), dans leur étude sur les mouvements des eaux, induits par la marée et le vent, montrent que le vent intensifie l'amplitude de l'onde de marée M_2 .

2.1.3 Les précipitations

Le régime des précipitations, selon son importance, joue un rôle sur le débit fluvial. Environnement-Canada (1975b et 1980a) maintient des stations d'échantillonnage en quatre points de l'estuaire moyen, c'est-à-dire Québec, Montmagny, LaPocatière et Rivière-du-Loup. Nous avons rassemblé aux tableaux 3 et 4 les mesures de précipitations (pluie et neige) prises à ces stations et les avons classées en deux périodes, avant et après 1970. Cette distinction de date n'a pas été faite à des fins de comparaison, mais plutôt pour éviter de confondre les sources de renseignements.

Au tableau 3, nous remarquons que la hauteur de pluie moyenne est moins importante à mesure que nous nous éloignons de la station de Québec (à l'exception de la station Montmagny, en juin). Pour chacune des stations, les mois davantage pluvieux sont juin, juillet, août et septembre.

Le tableau 4, indiquant la précipitation moyenne de neige, montre aussi un certain écart entre ces précipitations à Québec et aux stations plus éloignées. Cet écart ne va toutefois pas dans le même sens que les précipitations de pluie. Si l'on regarde uniquement les mois de décembre, janvier et février, il y a similitude dans la régression des précipitations de neige et de pluie à mesure que l'on s'éloigne de Québec vers La Pocatière et Rivière-du-Loup (exception pour Montmagny). Les précipitations de neige en mars, avril, mai et octobre vont dans le sens opposé, c'est-à-dire que l'on note une augmentation de ces précipitations en s'éloignant de Québec (Montmagny faisant une fois de plus exception). Le mois de novembre ne répond à aucune de ces analyses. Les mois les plus enneigés sont janvier pour les stations de Québec et de Montmagny, et

Tableau 3. Mesures de précipitation (en mm)
(Environnement-Canada 1975bet 1980a)

Hauteur de pluie moyenne

Période Station	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
QUÉBEC												
-avant 1970	20.3	8.4	28.4	64.0	92.7	111.8	120.9	113.3	109.0	86.6	76.2	29.7
-de 1970 à 1979	27.6	13.3	39.6	42.2	106.9	118.6	130.7	135.4	129.1	97.8	59.6	31.2
MONTMAGNY												
-avant 1970	6.1	6.6	20.9	47.5	75.6	76.9	107.0	102.5	95.8	79.6	81.2	27.0
-de 1970 à 1979	17.7	11.1	31.8	47.9	90.7	82.1	127.8	118.5	126.5	116.8	57.6	18.0
LAPOCATIÈRE												
-avant 1970	9.1	7.4	17.5	45.2	66.0	95.3	99.1	89.7	97.3	68.6	51.8	19.1
-de 1970 à 1979	15.0	13.0	24.5	41.8	83.2	69.8	90.1	107.6	87.7	68.8	31.9	15.7
RIVIÈRE-DU-LOUP												
-avant 1970	4.6	0.5	5.6	35.3	55.4	86.9	70.6	89.9	81.0	63.0	29.0	9.4
-de 1970 à 1979	6.8	5.1	16.8	33.7	72.1	62.8	68.8	106.4	91.3	69.6	25.0	7.5

Tableau 4. Mesures de précipitation (en mm)
(Environnement-Canada 1975bet 1980a)

Précipitation moyenne de neige

Période Station	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
QUÉBEC												
-avant 1970	72.9	66.3	42.7	16.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	29.5	70.9
-de 1970 à 1979	77.2	72.5	57.9	26.8	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	33.2	91.6
MONTMAGNY												
-avant 1970	61.7	49.7	35.9	2.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	24.7	46.6
-de 1970 à 1979	61.1	66.9	52.1	15.6	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	33.5	98.4
LAPOCATIÈRE												
-avant 1970	65.5	66.0	47.5	18.5	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	31.5	59.9
-de 1970 à 1979	59.5	58.7	55.9	27.3	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	38.9	103.9
RIVIÈRE-DU-LOUP												
-avant 1970	43.7	55.4	47.5	20.8	4.3	0.0	0.0	0.0	0.5	8.1	16.3	39.9
-de 1970 à 1979	65.2	60.4	55.7	34.1	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	36.2	98.9

février pour La Pocatière et Rivière-du-Loup.

2.2 La morphométrie

De Portneuf à Québec, le fleuve présente une largeur à peu près constante d'environ 1 à 2 km. Au niveau de l'estuaire moyen, d'une longueur de 195 km, se poursuit le processus d'élargissement. La largeur du fleuve passe en effet de près de 10 km en aval de l'Ile d'Orléans à une trentaine de km près du Saguenay. Il y a encore élargissement dans l'estuaire maritime où le fleuve atteint une largeur d'une quarantaine de km dans la région de Pointe-des-Monts.

La topographie sous-marine est caractérisée par de faibles profondeurs à l'ouest du Saguenay et par des profondeurs de plus de 300 m dans l'estuaire maritime. La profondeur du fleuve augmente progressivement de Portneuf à Québec, passant de près de 10 m à environ 50 m; au niveau de l'Ile d'Orléans, le fond remonte à 8 m. L'estuaire moyen, tout en ayant une profondeur moyenne comprise entre 8 et 50 m, présente quelques grandes fosses (St-Irénée: 113 m, Cap-à-l'Aigle: 120 m) bordées au sud par un talus peu profond (de moins de 20 m) occupant la moitié du lit du fleuve (Figure 2).

Si, à l'embouchure du Saguenay, la profondeur n'est que d'environ 25 m, la situation évolue rapidement à partir de Tadoussac. C'est en effet dans cette région que se creuse le chenal laurentien, tranchée dont la profondeur atteint 350 m. près des Escoumins (Figure 3). Cette dépression se retrouve dans la moitié nord de l'estuaire, pour cette région; elle occupera une position plus centrale au niveau de Pointe-des-Monts. Sa profondeur, entre la péninsule de la Gaspésie et l'Ile d'Anticosti, atteint jusqu'à 400 m. On en retrouve une première branche entre la Côte Nord et l'Ile d'Anticosti (chenal d'Anticosti) et une seconde branche (chenal Esquimaux) entre la Basse Côte-Nord et Terre-Neuve.

2.3 Les débits fluviaux

Le Saint-Laurent, et ses tributaires drainent un territoire relativement grand soit $1,400,000 \text{ km}^2$ (Jordan, 1973). Environ les deux tiers de cette superficie se situent en amont de Portneuf

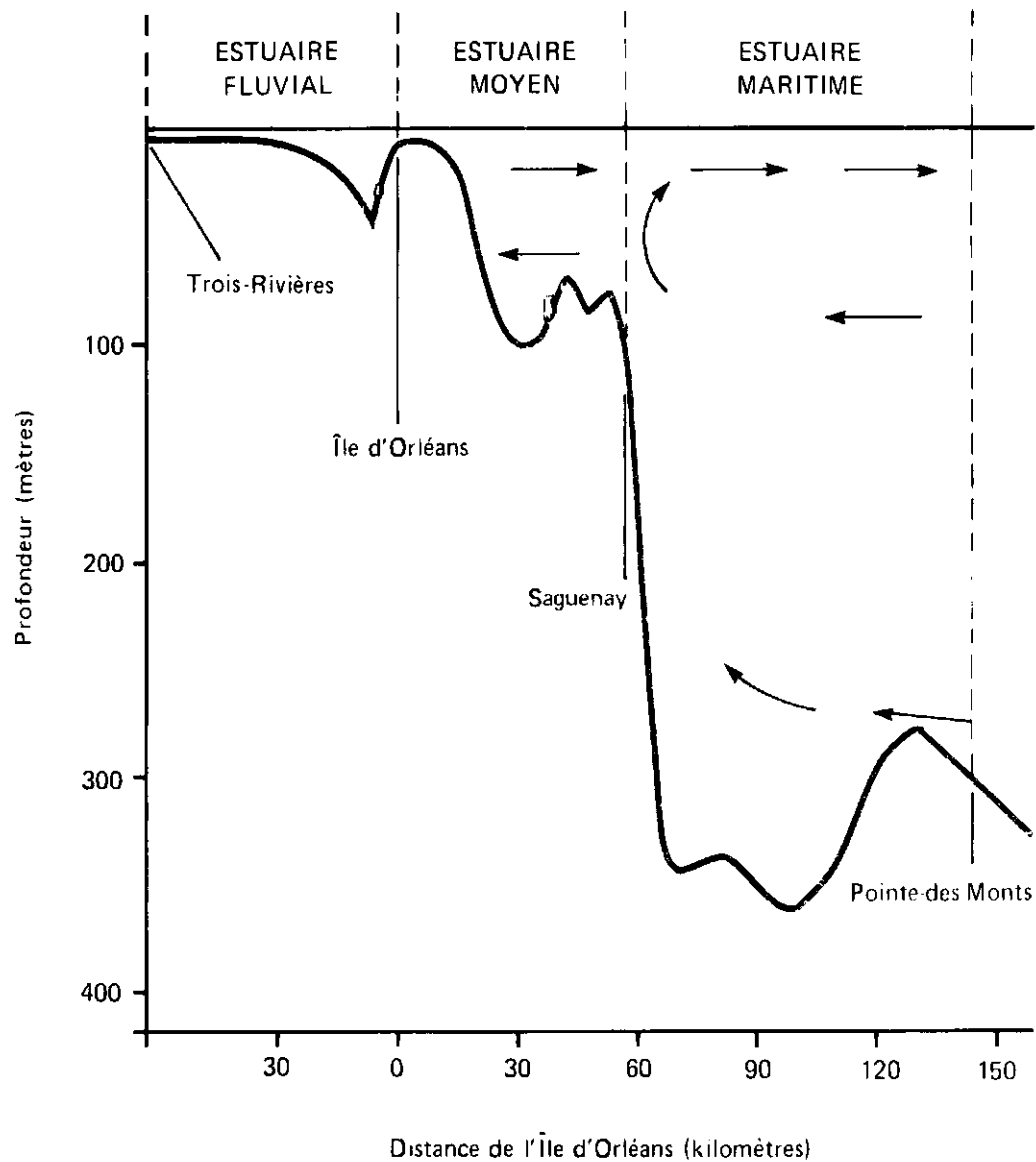


Figure 3. Coupe longitudinale de l'estuaire du Saint-Laurent faisant ressortir la profondeur de chacun des trois secteurs de l'estuaire.
(LEGENBRE et al, 1973)

(figure 4). Un total de $1,130,500 \text{ km}^2$ est drainé à Tadoussac, dont $94,300 \text{ km}^2$ provient du bassin de la rivière Saguenay. Le régime des précipitations ainsi que la grandeur des superficies impliquées influencent les débits et l'amplitude des variations annuelles imposées par le climat.

L'addition des eaux de l'Outaouais, dont le débit annuel moyen est de $1945 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, des eaux du Saint-Maurice ($733 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, UNESCO, 1972) et l'apport d'autres affluents moins importants viennent gonfler les eaux du fleuve, dont le débit annuel moyen passe de $6430 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à Cornwall (UNESCO, 1972), à $11,300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ au niveau de Montmagny (Llambàs et Triboulet, 1977).

Le débit du fleuve est sujet à une régulation d'une part naturelle, à cause de l'effet tampon des Grands Lacs sur les eaux de fonte, et d'autre part artificielle, due à différents ouvrages destinés à la production d'énergie hydroélectrique (la Centrale électrique de Beauharnois, par exemple).

L'impact des ouvrages de harnachement est représenté à la Figure 5. Jordan (1973) y compare le débit des eaux continentales à Pointe-des-Monts avec un estimé de ce qui serait observé en l'absence de toute régulation artificielle. De plus, on peut constater l'importante diminution de l'amplitude des variations du débit relativement aux conditions naturelles, c'est-à-dire que les crues printanières sont considérablement atténuées, alors que les débits hivernaux subissent une forte augmentation. Cette Figure 5 permet aussi de soupçonner la présence d'un cycle de période assez longue. Ce cycle, aussi mis en évidence par El Sabh (1973b), est de l'ordre d'une dizaine d'années dans le débit annuel des eaux douces (Figure 6). Ces valeurs se rapportent à l'ensemble du Saint-Laurent.

Etant donné le rôle d'intermédiaire joué par l'Estuaire entre les eaux fluviales et la mer, Neu (1976) et Sutcliffe (1973) ont analysé les effets des variations de débit (environ $10,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ selon la figure 5) sur la dynamique estuarienne. Neu (1976) estime que les conséquences immédiates de la régularisation des débits

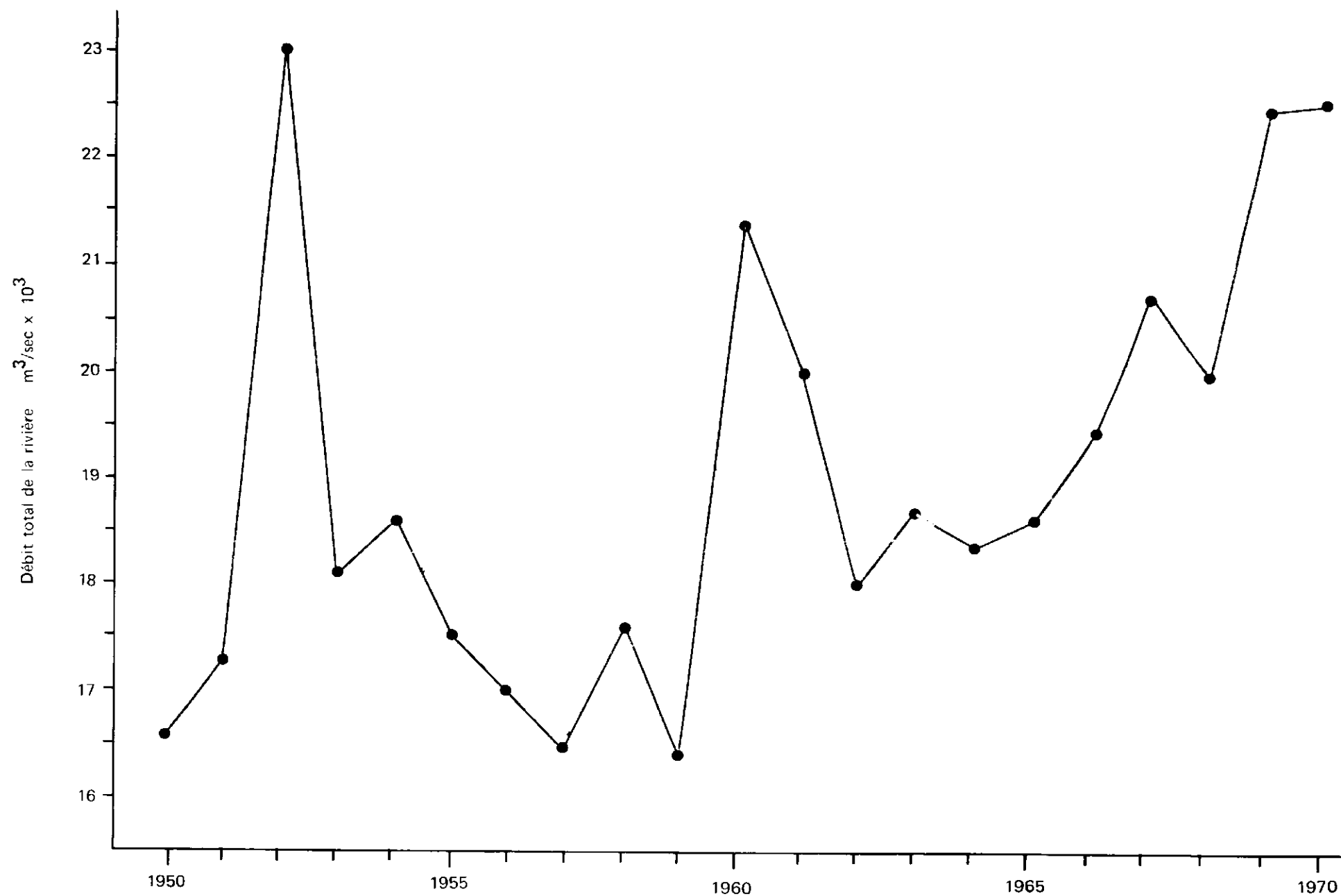


Figure 6. Variations annuelles moyennes du débit total du fleuve
dans le golfe Saint-Laurent
(EL SABH, 1973b)

se sont traduites entre autres par une augmentation de la salinité, par une augmentation de la température de l'eau (été et hiver) et par des changements dans la circulation estuarienne verticale, entraînant une diminution des remontées de sels. Ces modifications dans le budget thermique et l'approvisionnement en sels nutritifs auront des répercussions sur la richesse biologique du système. Il est effectivement possible de dégager une relation étroite (effet sur les larves), déphasée d'une dizaine d'années entre les débarquements québécois de homard et de flétan et le débit mensuel du fleuve (Sutcliffe, 1973). Plus les débits augmentent, meilleurs seront les prises quelques années plus tard. Cette corrélation n'a cependant pas de valeur causale puisque des facteurs autres que les variations du débit pourraient être impliqués dans le problème (Sutcliffe, 1973).

2.4 L'hydrodynamique

2.4.1 Les marées et les courants

2.4.1.1 Les marées

La marée pénètre principalement dans le système du Saint-Laurent par le détroit de Cabot (Ferguson, 1972). Godin (1979) calcule en effet que l'énergie liée à la marée pénétrant par le détroit de Belle-Isle n'équivaut qu'à environ 10% de celle pénétrant par le détroit de Cabot.

Le phénomène de la marée peut être considéré comme la somme de plusieurs composantes élémentaires, de fréquences variées, dont la plus importante est une onde semi-diurne due à l'attraction de la lune et notée M_2 . Dans l'estuaire, cette onde M_2 domine les autres ondes semi-diurnes (celles qui montrent deux cycles par jour lunaire). Son importance relative est d'au moins 3:1. Elle domine aussi l'onde diurne la plus forte par un facteur de 7:1 (Godin, 1979). L'onde S_2 est l'équivalent solaire de M_2 . Nous lui devons le battement marquant la succession entre les marées de morte-eau et les marées de vive-eau (Figure 7). Les ondes K et O dépendent de la déclinaison de la lune et du soleil. Ce sont des ondes diurnes (un cycle par jour lunaire) dont l'action entraîne l'"inégalité diurne".

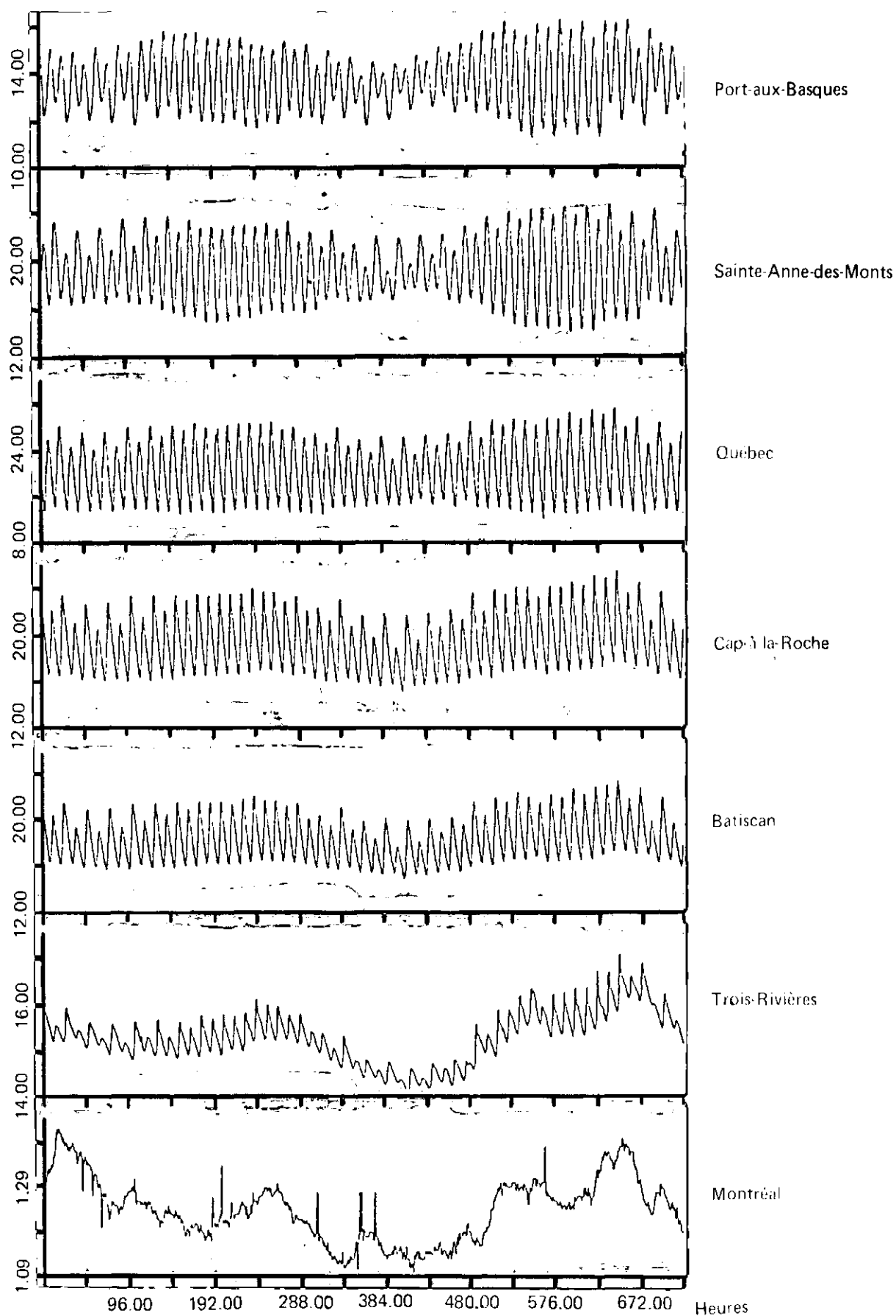


Figure 7. Exemples d'enregistrements du niveau de l'eau. Septembre 1976.
(GODIN, 1979)

Cette expression désigne la différence de niveau entre deux hautes mers et deux basses mers consécutives, d'où la distinction entre haute (ou basse) mer supérieure, et haute (ou basse) mer inférieure.

La marée évolue dans le golfe dans le sens contraire à celui des aiguilles d'une montre (Figure 8). Les lieux autour desquels elle progresse sont appelés points amphidroniques; ces points ne montrent que peu ou pas de marée. Le système Saint-Laurent montre deux points amphidroniques, situés cependant tous les deux hors des limites de notre étude (Iles-de-la-Madeleine et détroit de Northumberland).

La marée fait sentir son influence jusqu'en aval du lac St-Pierre. De façon générale, les marnages tendent à augmenter à mesure que l'on remonte l'estuaire, pour atteindre son maximum dans l'estuaire moyen; on note ensuite une décroissance rapide (Figure 9). Cette représentation fait également ressortir la disparité dans l'évolution des marnages entre la rive sud et la rive nord: sur la rive nord, le maximum est atteint au niveau de l'Ile aux Coudres, alors que sur la rive sud, cela se produit à l'est de l'Ile d'Orléans. Il appert également que le marnage est plus élevé sur la rive nord qu'il ne l'est (aux endroits correspondants) sur la rive sud (Godin, 1979).

La crête de l'onde de marée met environ 70 minutes pour se déplacer de Sept-Iles à Tadoussac; sa vitesse de déplacement tombe rapidement en amont de l'estuaire maritime (El Sabh, 1979). Godin (1979) donne effectivement, pour le tronçon s'étendant de St-Joseph-de-la-Rive à Cap-à-la-Roche (environ 20 km en amont de Portneuf), des vitesses moyennes de 38 km h^{-1} pour la marée montante et de 24 km h^{-1} pour la marée baissante. La Figure 10 traduit le profil d'une onde de marée mesurée le 11 février 1959 (Neu, 1970). L'amplification de l'onde vers l'amont (due à la configuration du fond et des rives), ainsi que la diminution de sa vitesse, modifient profondément le profil observé et se traduisent dans l'estuaire moyen par de fortes pentes du niveau de l'eau. On observe ainsi entre la marée basse de Québec et la marée haute de Pointe-aux-Orignaux une variation

du niveau de l'eau de 3.7 m sur une distance de 100 km (Figure 10, profil de 17:00 h.).

La marée de surface que nous venons de décrire sommairement s'accompagne d'importantes marées internes. On a mis en évidence ces systèmes dans l'estuaire maritime (Forrester 1970, 1974) et dans l'estuaire moyen (Muir, 1979a).

Muir (1979a) trouve un système complexe dans l'estuaire moyen. En effet la phase des courants de marée (par rapport à M_2) n'est pas constante. Elle varie selon le régime des marées (morte-eau versus vive-eau). Ce déphasage entre M_2 et les courants de marée est attribué à la présence d'une onde interne. Les variations du déphasage sont interprétées comme la résultante de l'effet d'une structure de densité non constante d'ondes internes. La Figure 11 représente l'évolution des surfaces décrites par l'isopycne $\sigma_t = 20$ en un transect reliant deux points situés près de Cap-à-l'Aigle et Grosse-Ile. Elle traduit certaines différences de l'onde selon le régime de morte-eau ou de vive-eau. Muir (1979a) estime que le phénomène possède une assez grande énergie et qu'il jouerait un rôle prépondérant dans la circulation et le brassage dans l'estuaire moyen.

La présence d'ondes internes avait déjà été soupçonnée, alors qu'on y voyait une explication de la présence de dunes de sable dans la région de l'Ile aux Coudres (d'Anglejan, 1971) et de certaines caractéristiques des variations du transport des suspensibles dans l'estuaire moyen (d'Anglejan et Ingram, 1976). Des ondes internes de haute fréquence ont aussi attiré l'attention de Deguise (1979).

La dynamique des eaux amène la formation de fronts d'ondes, en particulier à la jonction de l'estuaire moyen et de l'estuaire maritime. Ingram a porté son attention sur l'un de ces phénomènes, signalant entre autres les forts gradients horizontaux de salinité et de température qui les accompagnent.

2.4.1.2 Les courants.

Dans la zone de mélange des eaux douces et des eaux salées, la circulation hydrodynamique sert de données de base pour la description de l'évolution de la sédimentation et de la qualité de l'eau.

Ouellet et Trump (1979) présentent une description de la circulation hydrodynamique résiduelle dans l'estuaire. Pour cela ils se servent de données recueillies précédemment par le Ministère des Transports du Canada, par CENTREAU et par le GIROQ. Dionne (1970a) a aussi fait quelques mesures de courants dans l'estuaire (Tableau 5). La zone analysée par la plupart est comprise entre l'Ile aux Coudres et l'Ile d'Orléans principalement (Figure 12).

Dans leur description, Ouellet et Trump (1979) s'attarde à l'analyse de la circulation résiduelle précédemment utilisée par Simmons pour décrire les variations de la vitesse sur un cycle de marée. La vitesse résiduelle est déterminée selon la formule suivante:

$$V_{\bar{r}} = \frac{S_j - S_f}{T}$$

où $V_{\bar{r}}$ = vitesse résiduelle
 S_j = superficie sous-tendue par le jusant
 S_f = superficie sous-tendue par le flot
 $S_j - S_f$ = écoulement résiduel
 T = période de la marée

La Figure 13a représente la vitesse résiduelle calculée pour une marée de type semi-diurne, ayant une période de 12 h 25 min. La Figure 13b nous indique de plus que la vitesse résiduelle est positive si l'écoulement est dirigé vers l'aval et négative s'il est dirigé vers l'amont.

La circulation résiduelle est importante pour expliquer la circulation dans l'estuaire puisqu'elle l'explique indépendamment de l'effet des marées. Il est nécessaire cependant que les enregistrements soient plus longs (1 à 6 mois) avec une fréquence d'échantillonnage plutôt faible (12 à 2 cycles/heure).

Tableau 5. Quelques mesures de courants dans
l'estuaire (en noeuds)
(Dionne, 1970a)

site	: jusant	:flot
entre Québec et la pointe W de l'Ile d'Orléans	3 à 4	3 à 3,25
de Ste-Pétronille à St-Jean (chenal sud de l'île d'Orléans)	2,5 à 4	2
de Saint-Jean à cap Tourmente	2 à 3	1,5 à 2,5
entre Grosse-Ile et l'Ile Marguerite	4	1,5
entre cap Tourmente et Baie Saint-Paul	2 à 5	2 à 4
chenal nord de l'île aux Coudres	3 à 4,5	2 à 4
chenal sud de l'île aux Coudres	4 à 4,75	3,5
en face de La Malbaie	2,8	2,5
en face de Saint-Siméon	2 à 3	1,5 à 2,5
en face de Saint-Jean-Fort-Joli	4,25 à 5,25	2
chenal St-Roch (en face des Aulnaies)	8	7,5
en face de Kamouraska	2 à 3	1,5 à 2
chenal de Brandypot	2,25 à 3,5	1 à 2,5
extrémité est de l'île aux Lièvres	5,5	-
côté nord de l'île Verte	2,5 à 4	1,5 à 2,5
embouchure du Saguenay	6 à 7	3 à 4
côté nord et sud de l'île Rouge	5 à 7	3,5

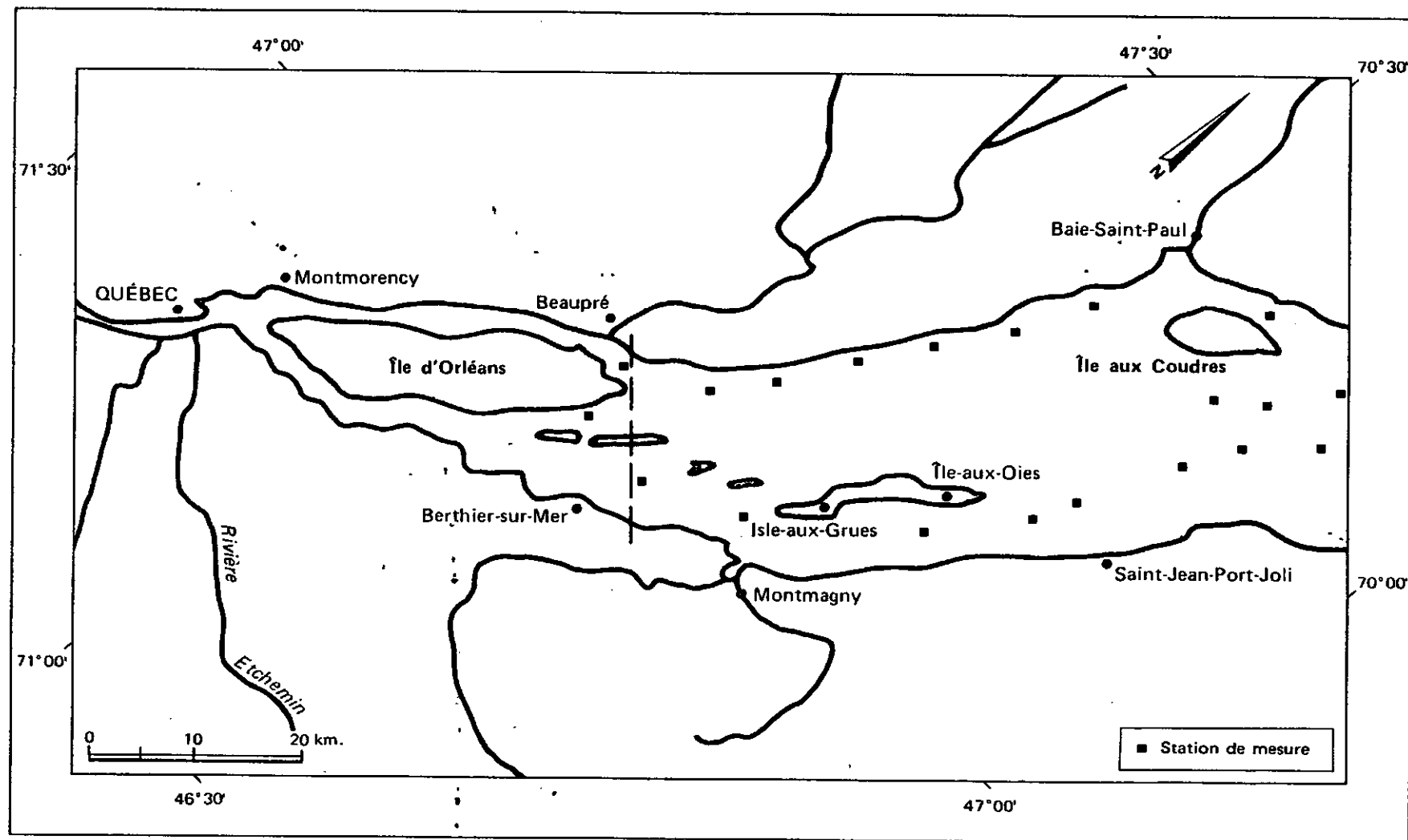


Figure 12. Localisation des stations de mesure
(OUELLET et TRUMP, 1979)

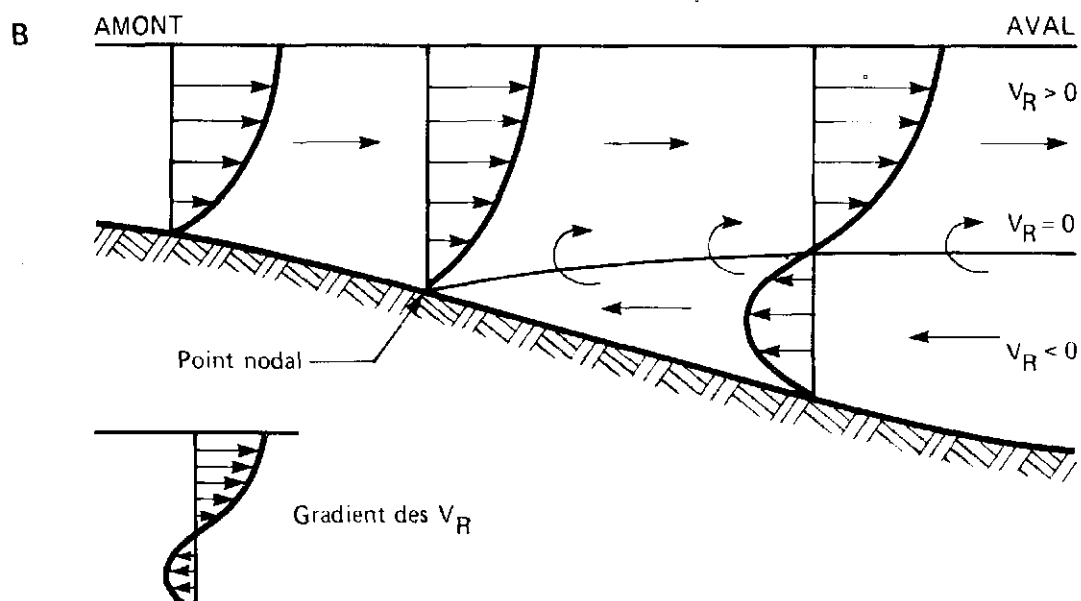
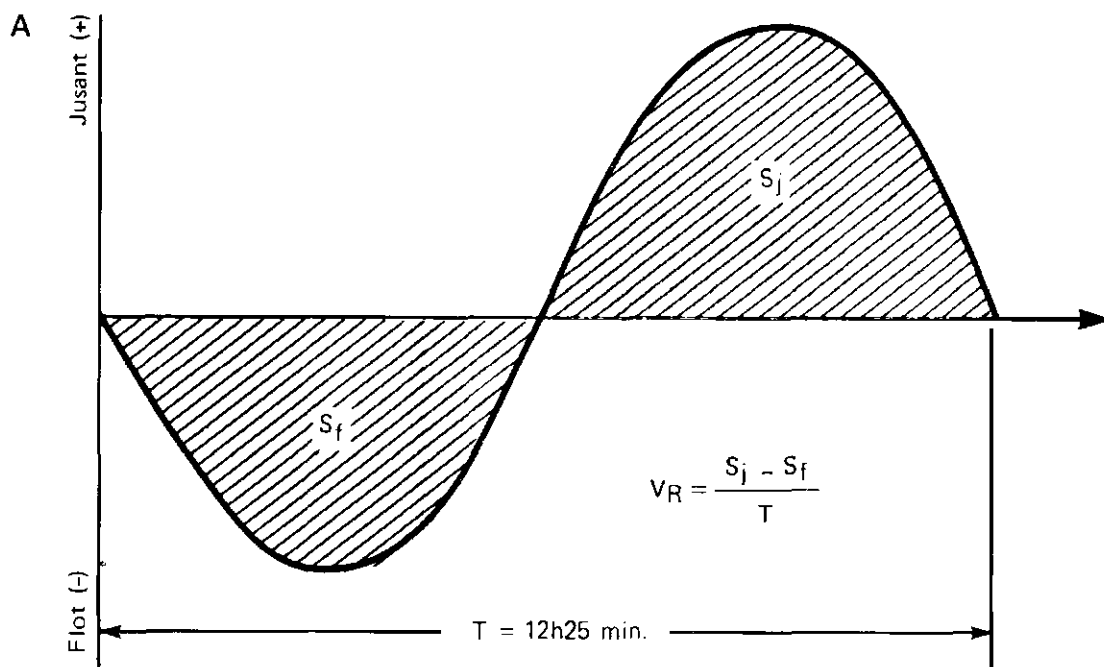


Figure 13. Les vitesses résiduelles

A) Calcul

B) Répartition schématique
dans un estuaire idéal

(OUELLET et TRUMP, 1979)

Ceci apporte plus d'information pour l'étude de la circulation que des enregistrements plus courts (2 jours) avec une fréquence relativement élevée (120 cycles/heure), puisque l'énergie du signal est principalement contenue dans les basses fréquences. Par leur étude Ouellet et Trump (1979) ont voulu améliorer la qualité des données antérieures de courant qui en mesuraient surtout l'intensité mais non la direction, qui accentuaient l'inégalité journalière des marées et le fait que les mesures soient prises à partir de la surface c'est-à-dire à une profondeur variable au cours du cycle de marée. Cette amélioration s'est faite en tenant compte du facteur vitesse. A cause de leur disparité et de leur courte durée pour la plupart, les enregistrements ont été examinés individuellement. On remarque que la direction du courant est principalement l'axe de l'estuaire (40° p/r au nord) avec un renversement avec chaque marée semi-diurne (Figure 14a). La figure 14b a aussi permis de prendre la vitesse comme positive durant le jusant et négative durant le flot, permettant ainsi de tracer la vitesse résiduelle. L'analyse de Ouellet et Trump (1979), tout en permettant d'avancer la recherche, n'est cependant pas concluante à cause de la sporadicité et de la courte longueur des enregistrements obtenus entre 1975 et 1977.

2.4.2 La houle

Dans le but de mieux connaître les conditions hydrodynamiques dans le port de Gros-Cacouna, Koutitonski et Noël (1978) ont étudié différents paramètres. La houle, qui nous intéresse ici, a fait l'objet d'études à partir de mesures directes à l'aide d'un houlographe ainsi qu'à partir de méthodes empiriques de prévision de houles à partir de données de vents.

Avant l'étude de Koutitonski et Noël (1978), seule l'I.N.R.S.-Océanologie en collaboration avec le Groupe du Climat des Vagues (GCV) d'Environnement-Canada avait pris des mesures directes, en 1974, dans l'estuaire maritime (au large de Trois-Pistoles). Ce sont ces mesures directes qui ont été considérées pour le port de Gros-Cacouna. Leurs conclusions sont les suivantes:

" On remarque que l'énergie transmise du vent à la surface de l'eau est concentrée plutôt dans des houles de 2 à 4 secondes de période, mais que l'on observe aussi des houles de 4 à 7 secondes à moins de 15% du temps.....D'autre part, les hauteurs maximales de houles excèdent 1 pied (0.6 m) à 73% du temps, 4 pieds (2.4 m) à 15% du temps et 8 pieds (4.8 m) à moins de 2% du temps"

Dans un deuxième temps Koutitonsky et Noël (1978) se sont servis de méthodes empiriques de prévision des houles. Pour ce faire ils ont utilisé les paramètres suivants: la vitesse, la durée et le "fetch" (distance d'eau sur laquelle le vent souffle en surface jusqu'à ce point en provenance d'une certaine direction) du vent à une localité donnée. Parmi les diverses méthodes de prévision de houlés (méthodes spectrales, significatives et graphiques), Koutitonski et Noël (1978) ont employé la méthode significative révisée par Bretschneider. Ils ont trouvé ainsi que les plus longs fetchs sont ceux qui forment l'axe longitudinal de l'estuaire, c'est-à-dire les fetchs du nord-est et du sud-ouest. De plus ils ont conclu que "les vents de plus grandes durées sont ceux qui soufflent du NNE, pendant les mois de février et avril, avec une durée de 18 heures, et pendant le mois de mars du SSO aussi avec une durée de 18 heures. Le plus long fetch étant du NNE, les plus grandes hauteurs significatives ($H^{1/3}$) sont de 4.2 pieds (25.6 m) en provenance du NNE, avec des périodes correspondantes de 5.2 secondes. Si l'on considère que la hauteur maximale d'une houle d'eau profonde est 1.87 fois plus grande que la hauteur significative (H.O. US Navy, 1951), on déduit que les plus grandes houles à Gros-Cacouna seront de l'ordre de 8 pieds (1.7 ± 0.5 m), avec une période de 4.3 ± 0.5 secondes. La prédominance directionnelle des plus grandes houles mensuelles est du cadran SO.". Quant à la hauteur des houles au niveau de Gros-Cacouna, elle est estimée entre 7.2 et 10.8 m sur une période de 20 ans. Cette estimation ne tient pas compte des profondeurs et des marées. Les mesures directes ont confirmé qu'il y a surestimation de ces hauteurs.

Une autre étude de prévision de houles a déjà été effectuée par Phillips et McCulloch, entre l'Ile aux Coudres et Rimouski.

Mais ces prévisions caractérisent mal la zone d'étude puisque seules les houles le long de l'axe SO-NE ont été considérées.

Finalement, une étude de la réfraction des houles, selon la méthode de Wilson, a permis à Koutitonski et Noël (1978) de prédire que le port de Gros-Cacouna est très bien protégé des houles en provenance du nord, du NE et du SO (direction où le vent souffle fréquemment et pendant de grandes durées). Les houles de l'ouest sont arrêtées par les récifs de l'Ile-Blanche. Celles du NO arrivent à Gros-Cacouna avec "une fraction considérable de leur énergie, une fraction qui semble diminuer à mesure que la période augmente".

2.4.3 Les modèles

Plusieurs modèles d'hydrodynamique ont été mis en place pour comprendre les divers processus en cause dans l'estuaire du Saint-Laurent. Ces modèles sont soit physiques soit mathématiques. Dans le contexte de l'hydrodynamique, le modèle physique du St-Laurent, construit au laboratoire d'hydraulique du Conseil National de Recherches du Canada pour le compte du Ministère des Transports, a été utilisé principalement pour étudier l'influence de la construction de digues le long de l'estuaire en vue de contrôler le niveau des eaux pour fins de navigation (Figure 15).

Parmi les modèles mathématiques existants, plusieurs étudient la propagation de la marée et la distribution de la salinité dans l'estuaire du St-Laurent. Ces modèles mathématiques suivent soit une approche numérique (équations aux différences finies), soit une approche analytique (méthode harmonique).

Ouellet et Cerceau (1976) résument les différents modèles existants pour le Saint-Laurent. En 1965, Vincent a révisé le modèle de Harleman et obtenu le débit maximal de marée, donnant ainsi un outil économique d'investigation pour les problèmes de marée. En 1967, Partenschky et Louchard ont obtenu que les variations de salinité et de vitesse sont en phase, permettant ainsi de parfaire les études de concentration saline dans l'estuaire. En 1968, Kamphuis a étudié la propagation de la

marée sur modèle mathématique unidimensionnel offrant la possibilité de calculs simples mais instables. En 1970, Partenscky et Warmaes ont amélioré le modèle de Vincent et ensuite, en 1974, Partenscky et Marche ont étudié la déformation subie par l'onde de marée en faible profondeur. L'outil économique d'investigation des problèmes de marées est ainsi amélioré. En 1970, Prandle a reproduit les hauteurs d'eau observées tout le long du fleuve dans son modèle uni et bidimensionnel permettant d'obtenir une image plus détaillée des vitesses en intensité et en direction, ainsi que les amplitudes locales. L'avantage de cette méthode est de pouvoir examiner l'influence d'une force particulière sur le système entier. En 1971, Ouellet et Cheylus ont appliqué le modèle de Kamphuis à une région de l'estuaire où les caractéristiques géométriques ont été fournies avec précision. En 1974 et 1975, Ouellet et Cerceau ont étudié, par un modèle bidimensionnel, la variation cyclique de la salinité. Ils ont de plus calculé les paramètres hauteur et vitesse nécessaires au modèle de salinité.

Une étude récente (1979) fait part du modèle numérique bidimensionnel que El-Sabh, Lévesque et Murty ont développé pour étudier les mouvements des eaux induits par la marée et le vent dans l'estuaire du Saint-Laurent. Ce modèle numérique est plus raffiné que les modèles précédents puisqu'il inclut la topographie. Continuant ce qui a été fait par Lévesque, en 1977, et Lévesque et al., en 1979, ce modèle, tout en employant les données réelles comme entrée, tient compte du gradient de pression atmosphérique, du vent, de la forme quadratique du frottement (au lieu de la forme linéaire de Lévesque, en 1977) et enfin de la marée indépendante. Ce modèle génère ainsi, en conformité avec les mesures expérimentales, les mouvements verticaux et horizontaux des masses d'eau. Les résultats indiquent, par exemple, que l'amplitude de l'onde de marée M_2 est plus grande sur la côte nord et s'intensifie en amont, d'où l'on peut déduire que les ondes de marée pénètrent dans l'estuaire sur la côte nord avant la côte sud. L'axe principal des ellipses de marée pour M_2 s'oriente dans le sens de l'Estuaire et s'intensifie

vers l'amont surtout en ajoutant l'effet du vent. Le vent a tendance à repousser l'eau sur la côte sud sous l'effet des cinq composantes de marée (M_2 , S_2 , N_2 , K et O). De plus les longueurs de l'onde de marée diminuent en pénétrant ainsi la vitesse des courants de marée (Figure 16 et 17). On remarque sur ces figures que la direction des courants de marée est est-ouest à marée haute. Ce modèle donne donc un outil pour étudier la propagation des ondes de marée dans l'estuaire (de l'Ile d'Orléans à Pointe-des-Monts).

La principale utilité de tous les modèles étudiés à date est de servir de base à l'étude d'autres processus physiques, chimiques et biologiques.

2.5 Les glaces

Le climat continental conduit à la formation de glaces qui recouvrent presque entièrement l'estuaire. Le rivage est occupé par la glace de la fin décembre au début avril. Cette glace atteint une épaisseur moyenne de 50 à 150 cm (Dionne, 1971a) et peut s'étendre jusqu'à 4 km du rivage. Les vents dominants soufflant de l'ouest et du nord-ouest ont pour effet l'accumulation des glaces sur la rive sud (NE-SO) (Dionne, 1971a).

Michel et Berenger (1972) utilisent la notion d'hiver glaciologique pour traiter des caractéristiques de l'hiver canadien le long de la vallée et du golfe Saint-Laurent. Cet hiver glaciologique est défini à partir du nombre de degrés-jour de gel en se servant de l'équation suivante:

$$S = - \sum_1^N T_M$$

où S = nombre de degrés-jour de gel en $^{\circ}\text{C}$ - jours
 T_M = température journalière moyenne
 N = nombre de jours considérés

On obtient ainsi des renseignements sur le premier et le dernier jour de l'hiver, sur sa rigueur, sa durée et ses températures froides. Quant à la glace elle-même, on sait que dans le Saint-Laurent, près de Québec, elle commence par se former sur les rives, puis des glaçons apparaissent dans l'écoulement mais la glace

prend très rarement d'un bord à l'autre du fleuve. De plus il y a peu de données sur des notions aussi simples que le premier jour de glace et l'épaisseur des glaces à différents sites. Michel et Berenger (1974) proposent de prendre comme critère général pour le premier jour de glace, celui où la glace de rive atteint un minimum de largeur de un mètre pour un site quelconque donné.

Les conditions particulières que présentent la glace empêchent pendant toute une saison l'influence des vagues sur la remise en suspension des sédiments de fond. De plus les glaces, lors de leurs déplacements printaniers, éliminent une partie des sédiments déposés sur les hauts fonds. Dionne (1971a) évalue l'importance de l'érosion glacielle le long des rives du Saint-Laurent. Le terme "glaciel" est défini par Dionne (1971a) comme "l'ensemble des processus et des actions liés aux glaces flottantes. Suivant le milieu, il sera marin, littoral, estuarien, lacustre ou fluvial. Ce terme commode, qui fait pendant à "glaciaire", a été introduit par Hamelin". Les glaces affouillent la slikke sur une profondeur moyenne de 20 à 40 cm, elles la labourent en mélangeant vase molle et vase compacte, elles prélèvent chaque année une couche de vase de 30 à 35 cm d'épaisseur, l'entraînant à différents niveaux de l'estran lors de la fonte. On assiste donc à de nombreux bouleversements locaux. La prise en charge est souvent de 10 à 20 kg de sédiments par mètre carré de glace. L'érosion glacielle est particulièrement violente là où l'amplitude est grande (4 m au plus) et où les côtes sont basses. Pour Sérodes (1980a) cependant l'érosion dans l'estuaire moyen est principalement causée par l'absence d'écran végétal, les glaces ne faisant qu'achever le travail.

2.6 La température et la salinité

Il est reconnu en océanographie que température et salinité se comportent de façon très liée (elles sont inversement corrélées), bien qu'il s'agisse de variables théoriquement indépendantes. Cette propriété est due à leur rôle dans la détermination de la densité des eaux.

Ce lien est illustré à la Figure 18. On y note une évolution très similaire des isohalines et des isothermes de l'estuaire moyen. De plus il apparaît que les eaux longeant la rive nord sont plus froides et salées que celles situées plus au sud. L'influence de l'eau salée se fait sentir jusqu'aux environs de l'Ile d'Orléans.

Une caractéristique de la distribution de la température et de la salinité définie par les conditions estuariennes est sa verticalité. De façon générale les isothermes et isohalines montrent une orientation oblique moins prononcée dans le segment Ile d'Orléans-Ile aux Coudres que dans la moitié plus aval de l'estuaire moyen. Bousfield et al (1975) ont ainsi mis en évidence une région de brassage intensif des eaux continentales et marines, à laquelle succède une région où la stratification moyenne est plus grande. Ils observent de plus deux régions d'advection d'eau profonde vers la surface, la première se situant entre l'Ile aux Coudres et la rive nord, et la seconde vis-à-vis Cap-à-l'Aigle.

L'estuaire moyen est donc le siège d'une importante transition marquant, d'amont vers l'aval, le remplacement de l'eau douce par des eaux de salinité de 25 à 28 ‰ (Brunel, 1970), remplacement qui s'accompagne d'une diminution de la température en été, celle-ci passant de près de 20°C au niveau de l'Ile d'Orléans, à quelques degrés dans la région de l'embouchure du Saguenay.

L'alternance des saisons marque profondément l'évolution de la température et de la salinité pour deux raisons principales: la diminution ou l'augmentation des débits d'eau douce et l'abaissement ou l'élévation de la température. Si l'allure générale de la distribution de la salinité suit un patron similaire en février et en mai (Figures 19 et 20), on note par ailleurs des changements importants: à 9 m, la salinité, en amont de l'Ile aux Coudres, affiche des valeurs beaucoup plus élevées en février qu'en mai, les isohalines les plus "faibles" montrant les plus grands déplacements. Il en est de même à 30 m: la salinité y est plus élevée pendant l'hiver que pendant l'été. Contrairement

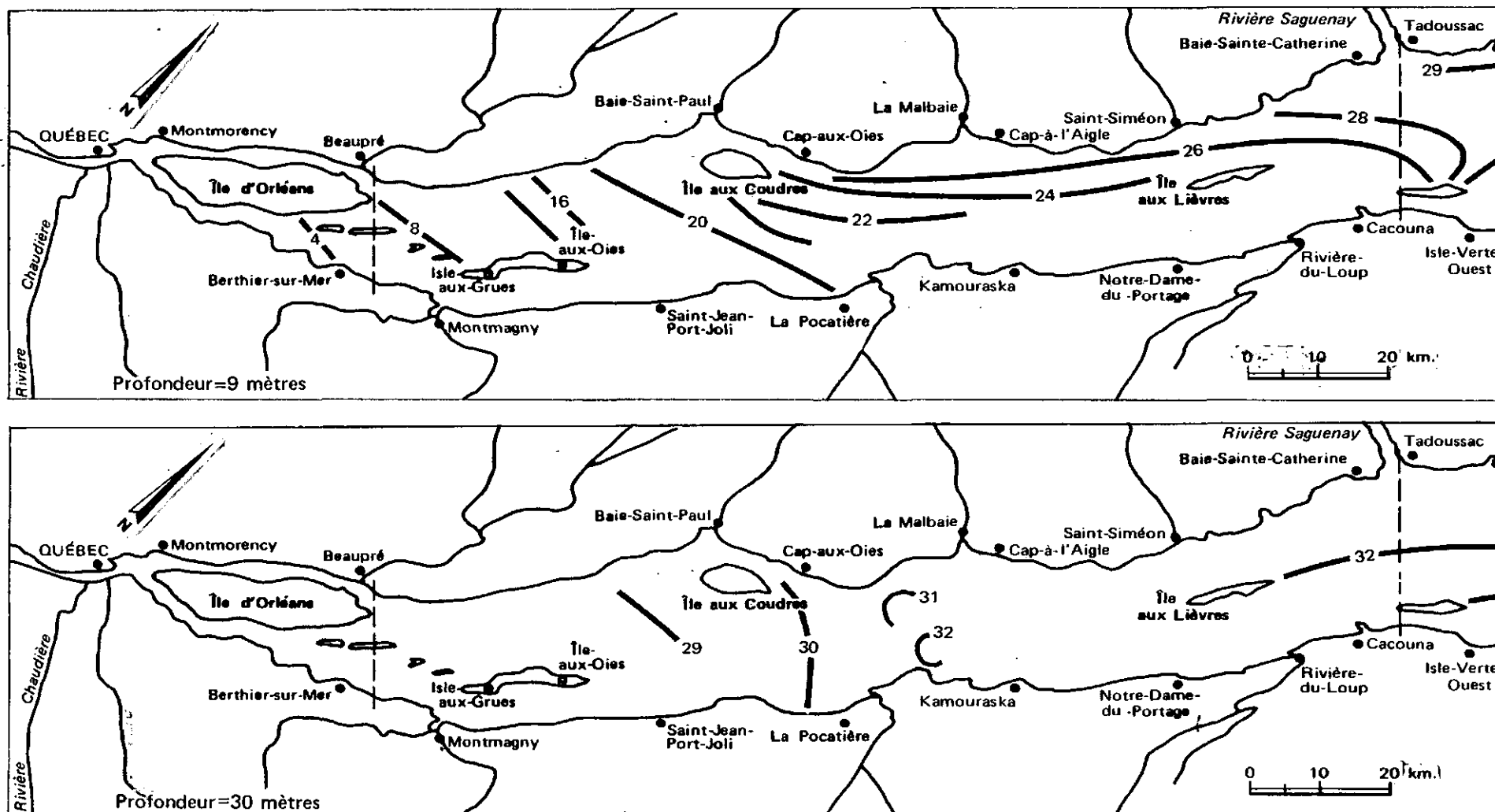


Figure 19. Évolution de la salinité (‰). (18-25 février 1963)
(NEU, 1970)

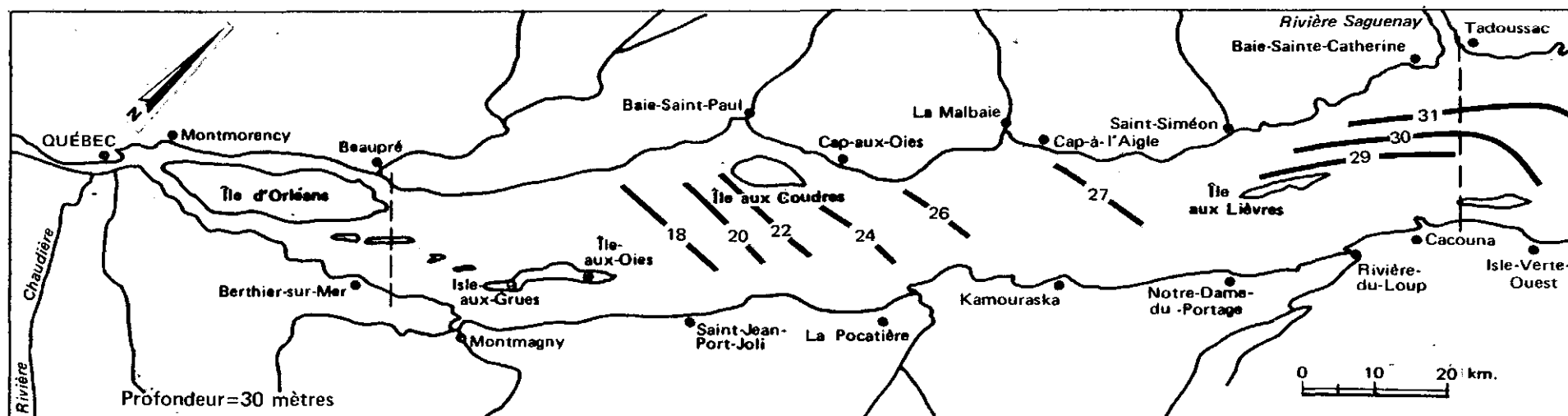
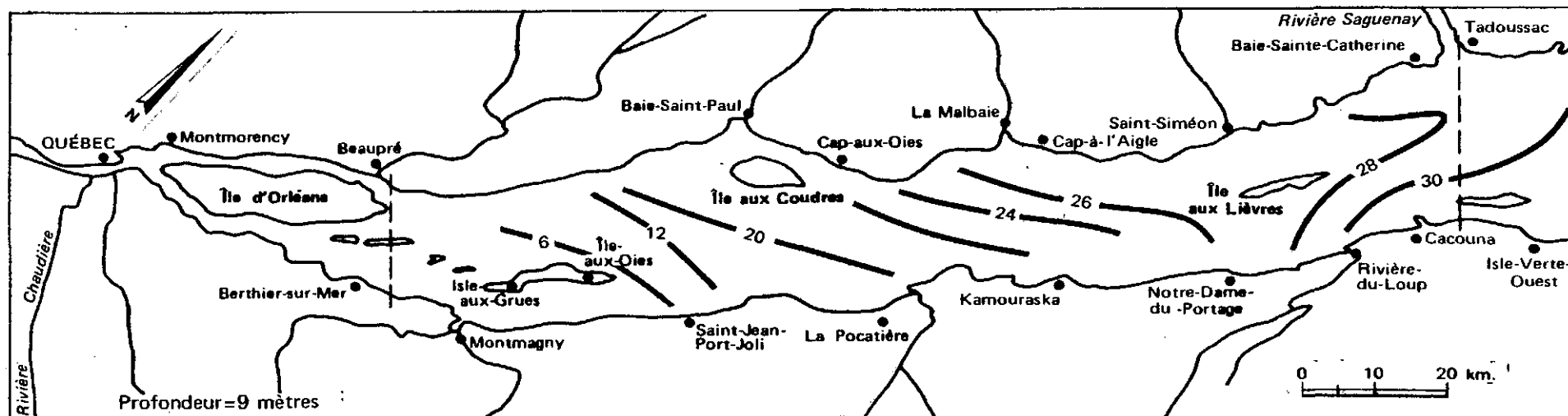


Figure 20. Évolution de la salinité (‰) (21-24 mai 1963)
(NEU, 1970)

à la salinité, l'évolution des températures estivales n'a pas de ressemblance avec ce qu'on y retrouve pendant l'hiver. Dans les deux cas, Neu (1970) observe un profil relativement régulier entre l'Ile d'Orléans et le Saguenay: les températures hivernales à 9 m passent de 0°C en amont, à -1°C vers l'aval, alors qu'à 30 m, elle est à peu près constante, se situant autour de 1°C . En été, à 9 m, la température passe de 11°C en amont, à 3°C vers l'aval, alors qu'à 30 m, elle passe de 6°C à 1°C (Figures 21 et 22). Ces variations annuelles ne sont évidemment pas les seules observables: un observateur placé en un point fixe dans l'estuaire notera des variations régulières de salinité et de température, attribuables au jeu des marées (Fortier et al, 1978).

La salinité est un paramètre fort utile puisqu'elle permet une certaine classification de l'estuaire même si les conditions hydrodynamiques dans l'estuaire du Saint-Laurent sont telles que la classification peut en paraître complexe. Neu (1970), s'appuyant sur l'observation de la structure verticale des isohalines, considère l'estuaire comme étant bien mélangé dans sa partie supérieure (de l'Ile d'Orléans à l'Ile aux Coudres), partiellement mélangé dans la partie inférieure de l'estuaire moyen, et stratifié en aval de Tadoussac.

Une autre approche de classification de l'estuaire est l'application de la méthode de Hansen et Rattray (1966). Cette méthode utilise des paramètres dont le calcul nécessite encore ici des mesures de salinité et de courant. Les résultats d'une telle analyse se présentent sur le graphique de la Figure 23. On y distingue quatre grands types estuariens, dont trois peuvent se subdiviser en une section "a" (peu stratifié) et "b" (profil plus stratifié). Le type 1 correspond à un débit net en direction de l'aval à toutes les profondeurs. Le transport de sel vers l'amont se fait par diffusion. Pour le type 2, le débit net s'inverse en profondeur et le transport de sel vers l'amont se fait à la fois par advection et par diffusion. Le type 3 représente une situation où l'advection rend compte de plus de 99% du transport de sel vers l'amont. Quant au type 4, il correspond aux différents types de coins salés et représente des conditions extrêmes de stratification.

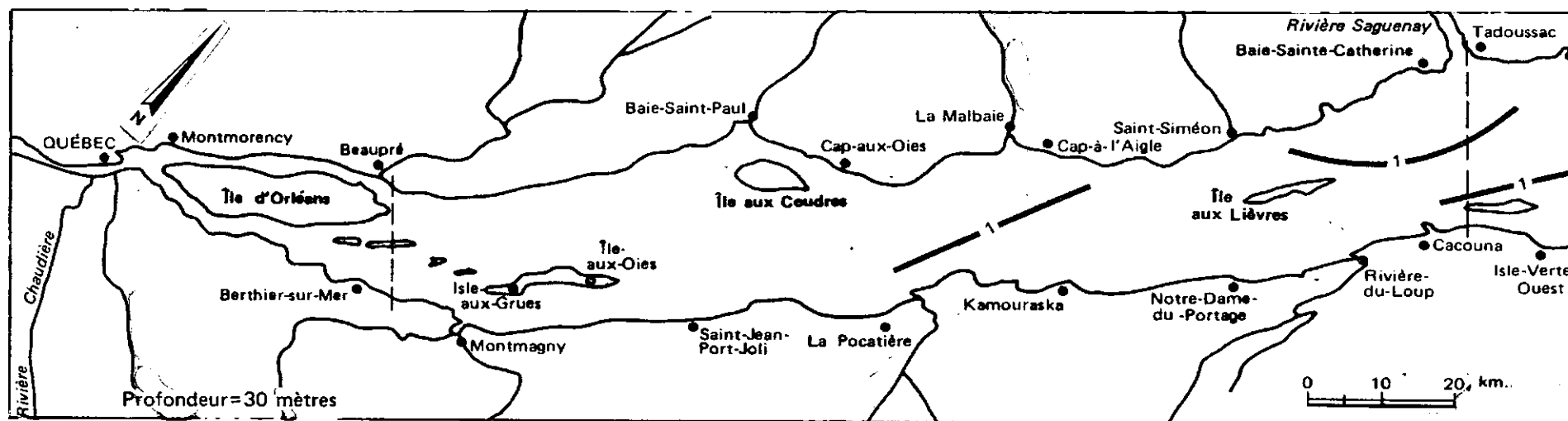
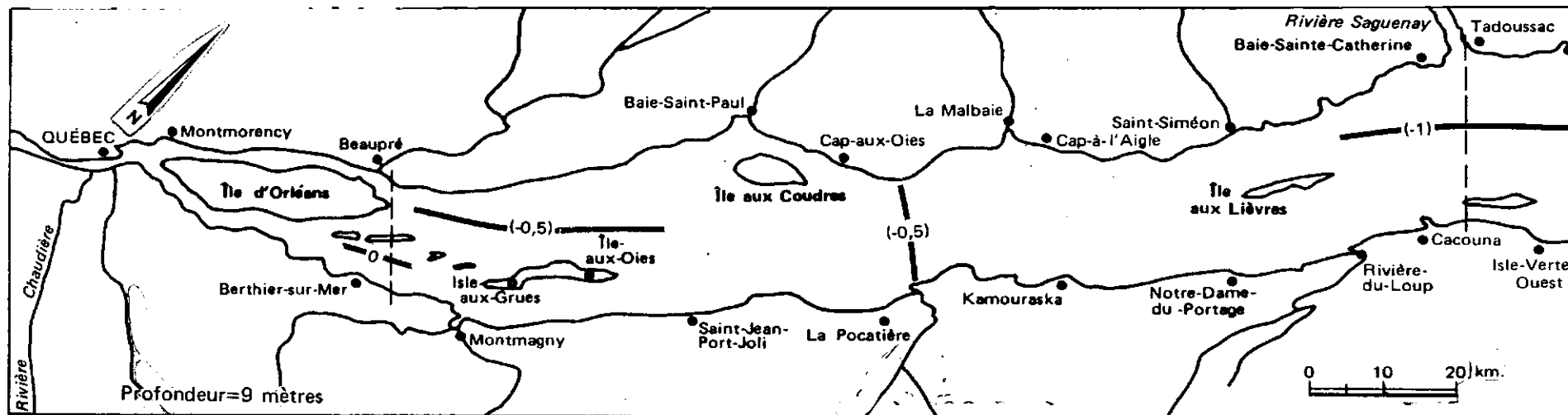


Figure 21. Évolution de la température ($^{\circ}\text{C}$) (Février)
(NEU, 1970)

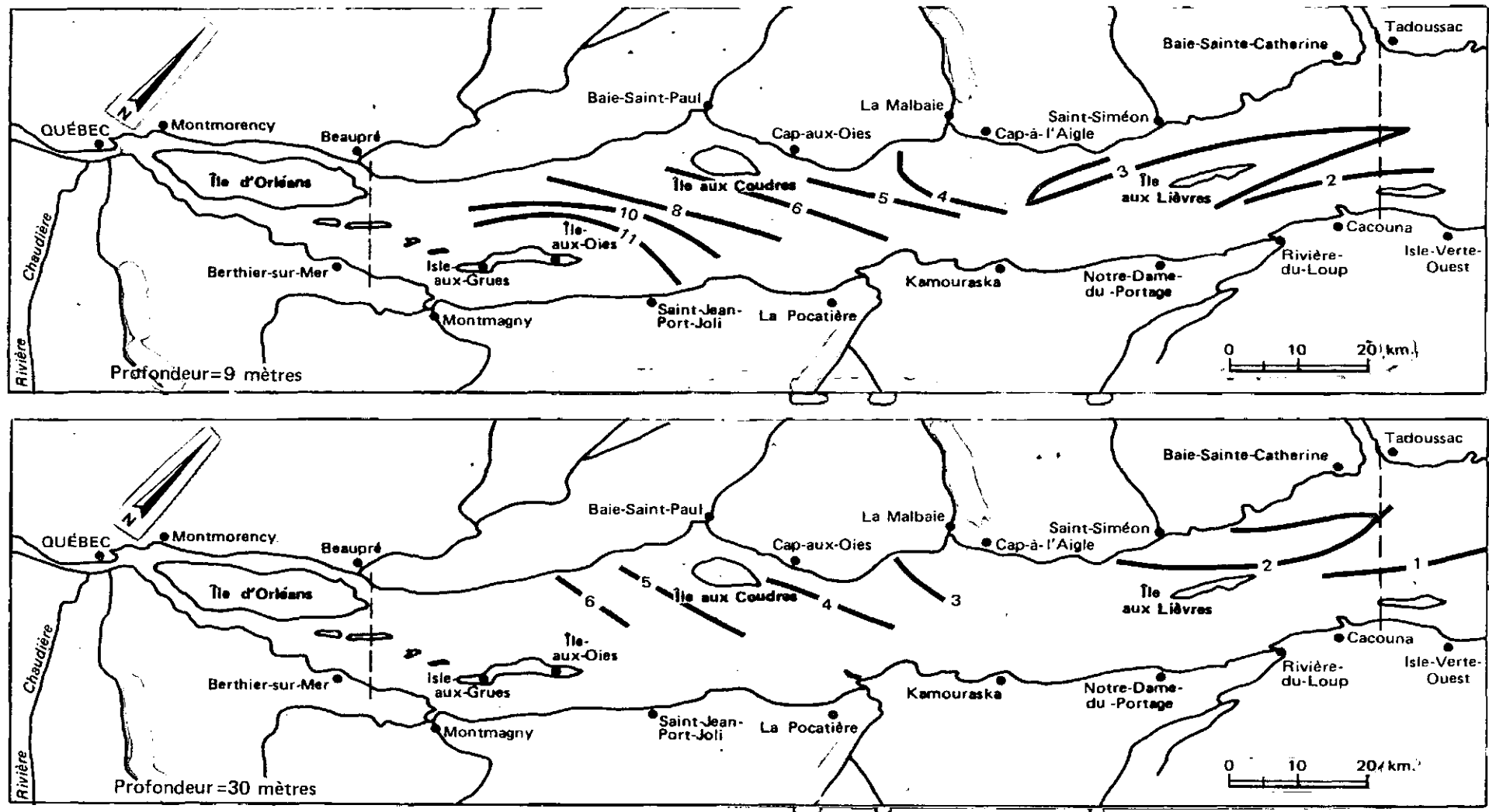


Figure 22. Évolution de la température ($^{\circ}\text{C}$) (Mai)
(NEU, 1970)

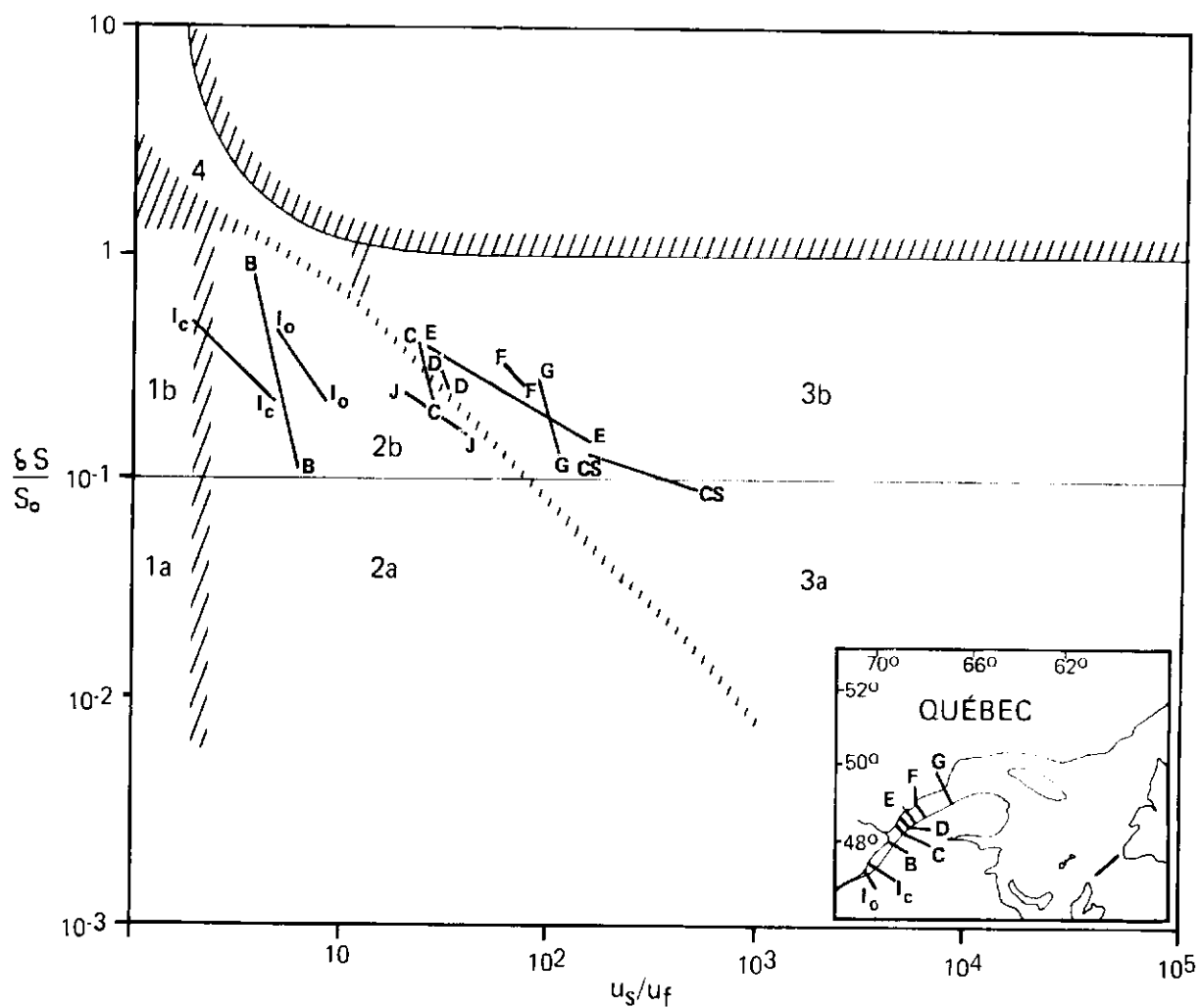


Figure 23. Classification de l'estuaire du Saint-Laurent
selon la méthode de Hansen et Rattray (1966)
(EL SABH, 1979)

Cette dernière méthode a été utilisée par El-Sabh (1979) pour l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Il ressort de la Figure (23) que les transects échantillonnés sont tous catégorisés par une certaine stratification, mais que les points ont tendance à se déplacer de plus en plus vers la gauche à mesure que l'on remonte l'estuaire. Il semble donc que le brassage turbulent aille en augmentant vers l'amont. Un résultat similaire est obtenu à partir de l'étude de la "constante de fraction diffusive" (El Sabh, 1979). Cette constante varie de 0 à 1. Une valeur proche de 1 indique que la convection due à la gravité cesse et que le flux salin est dépendant de la diffusion. Une valeur proche de 0 montre une diffusion sans importance et un flux salin presque entièrement dépendant de la convection gravitationnelle.

2.7 Les rives

2.7.1 La géologie

La géologie des rives de l'estuaire moyen du Saint-Laurent est différente selon qu'il s'agisse de la côte sud, ou de la côte nord. (Figure 24). Dionne (1971a) décrit la côte sud comme "découpée dans des roches sédimentaires ordoviciennes (pélites, grès; quartzites et conglomérats)". Il la rattache donc à la zone appalachienne plissée. Cette côte est formée de crêtes et de dépressions qui sont partiellement comblées de sédiments quaternaires (Till, argile marine, sable et gravier littoraux). De plus la côte sud est remarquable par ses larges estrans (ceux de La Pocatière atteignent 3 km de large) vaseux. La côte nord, par contre est surtout formée de roches cristallines précambriennes et Dionne nous la décrit comme "très escarpée et accidentée; les estrans, quand ils existent, sont généralement étroits". Cependant on retrouve quelques vastes estrans: Baie-Saint-Paul, La Malbaie, Pointe aux Alouettes, Cap Tourmente. Toujours sur la côte nord, Dionne distingue le secteur littoral compris entre Montmorency et Beaufort comme faisant "partie de la zone appalachienne; il comprend de larges estrans vaseux fortement influencés par les glaces".

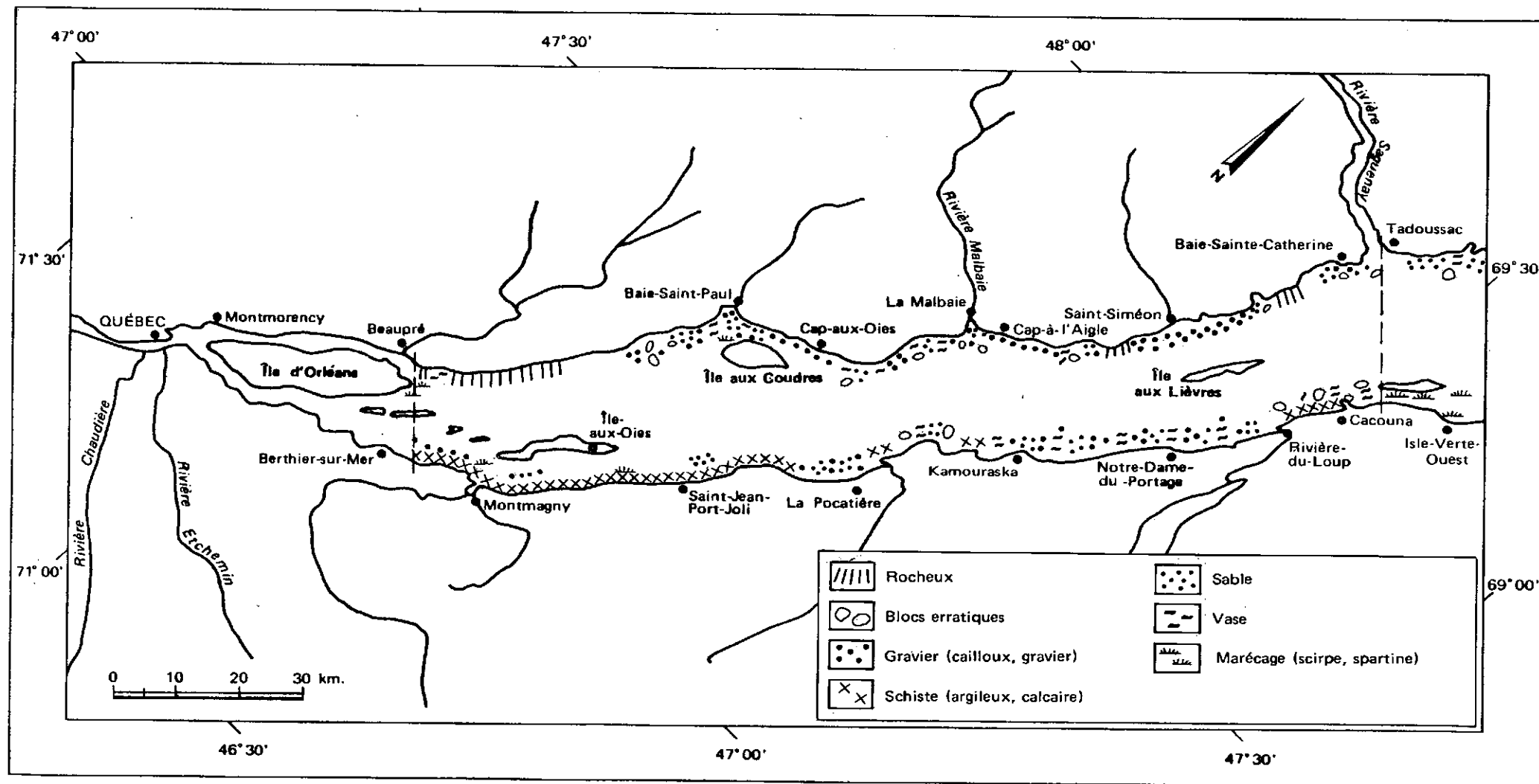


Figure 24. Distribution du substrat
(COMITÉ D'ÉTUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978a)

2.7.2 Erosion

De façon générale, l'érosion des rives du fleuve Saint-Laurent sera due soit à la vocation agricole, soit à la force des courants, soit à l'influence des glaces.

Pour l'estuaire moyen des études assez poussées ont été réalisées par Dionne (1971a) sur l'érosion glacielle. Celui-ci a remarqué trois formes principales d'érosion affectant les slikkes vaseuses. Ce sont d'abord les rainures glacielles. Ces formes linéaires isolées sont formées à partir de blocs de glace qui creusent dans la couche de vase molle, ainsi que dans la vase compacte sous-jacente des sillons pouvant atteindre entre 10 et 45 cm de profondeur, 15 à 25 cm de largeur et 10 à 2000 m de longueur. Ces rainures sont généralement parallèles au rivage.

Outre les rainures, on peut aussi observer les cuvettes glacielles, sortes de dépressions plus ou moins circulaires et de dimensions variées. Ces cuvettes résultent soit de l'affouillement par les glaçons, soit du prélèvement par un glaçon d'une couche de vase de 20 à 30 cm d'épaisseur, soit du poids des glaçons échoués sur la slikke à marée basse. Les sites les plus riches en cuvettes sont ceux de LaPocatière, l'Islet, LesAulnaies, Montmagny, entre Montmorency et Beaupré, à Baie-St-Paul et un peu à la Pointe aux Alouettes.

La troisième forme d'érosion glacielle est l'ensemble chaotique, composé de "dépressions plus ou moins bien délimitées par des traînées et des bourrelets de vase compacte" (Dionne, 1971c). Ces ensembles peuvent couvrir des superficies de 500 à 1000 mètres carrés.

Toutes ces formes d'érosion glacielle sont encore bien marquées un mois après la disparition des glaces. Elles ne disparaîtront graduellement que sous l'action des vagues, des courants et surtout des oiseaux aquatiques.

Dionne (1971a) souligne l'importance de l'érosion glacielle en faisant remarquer que "chaque année les glaces

affouillent la slikke sur une profondeur moyenne de 20 à 40 cm. Elles bouleversent entièrement les couches superficielles ainsi que les caractères propres à la sédimentation originelle". Il y a ainsi remise en suspension des matériaux. De plus le drainage est complètement désorganisé. Finalement la prise en charge est un phénomène très important (de 10 à 20 kg de sédiments par mètre carré de glace). Il en résulte donc que "des dizaines de milliers, sinon des millions de tonnes de sédiments sont déplacés par les glaces annuelles sur les rives du moyen estuaire du Saint-Laurent" (Dionne, 1971a).

Dans son étude sur la sédimentation intertidale de l'estuaire moyen du Saint-Laurent, Sérodes (1980a) conclut que "pendant les trois mois que dure la sédimentation intertidale, les battures accumulent l'équivalent de 6 mois du débit solide du Saint-Laurent". Ceci équivaut à 2.7 millions de tonnes de solides (poids sec).

La sédimentation intertidale s'étend de la mi-juin jusqu'au début septembre. C'est, selon Sérodes (1980a), lorsque la végétation s'effondre que l'érosion commence. Cette érosion dure tout l'automne et possiblement l'hiver (Sérodes 1980a) "Au printemps suivant le cycle recommence, les mois de mai et avril étant des mois de statu quo".

2.7.3 L'utilisation

Un grand nombre d'utilisateurs se servent des rives du Saint-Laurent à diverses fins. Dans la région de l'estuaire moyen nous parlerons des deux principales formes d'utilisation des rives, soit à des fins de villégiature et de récréation, soit comme habitat ou aire de repos pour la faune.

2.7.3.1 La villégiature et la récréation

Le rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny, préparé par le Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent (1978a), décrit les activités reliées aux rives, soit principalement les plages publiques (au nombre de 9), les campings localisés en bordure du fleuve (16) et les marinas (4) (Figures 25 et 26). On peut aussi remarquer plusieurs quais. De plus quelques

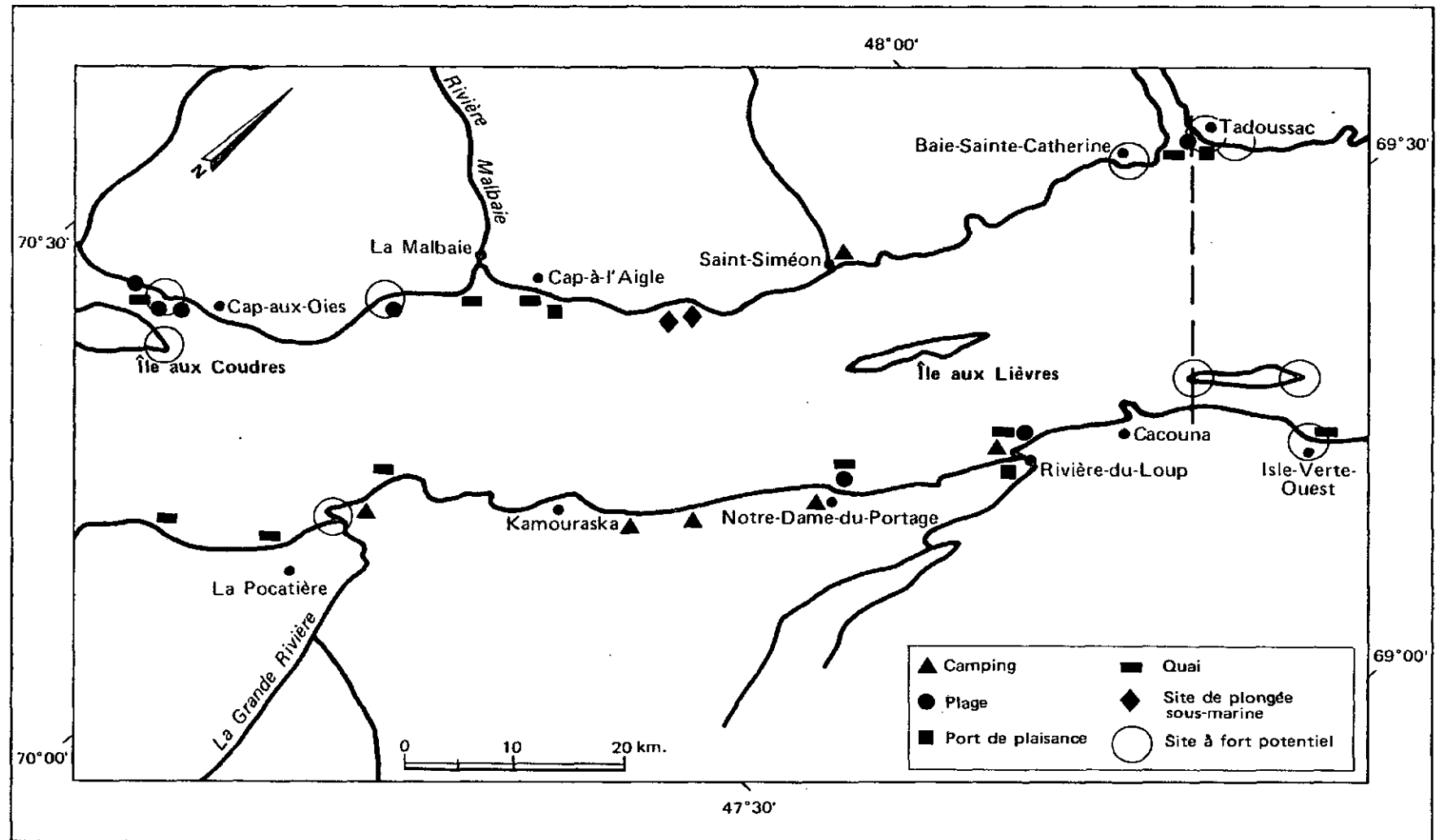


Figure 25. Potentiel récréatif des rives
(COMITÉ D'ÉTUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978c)

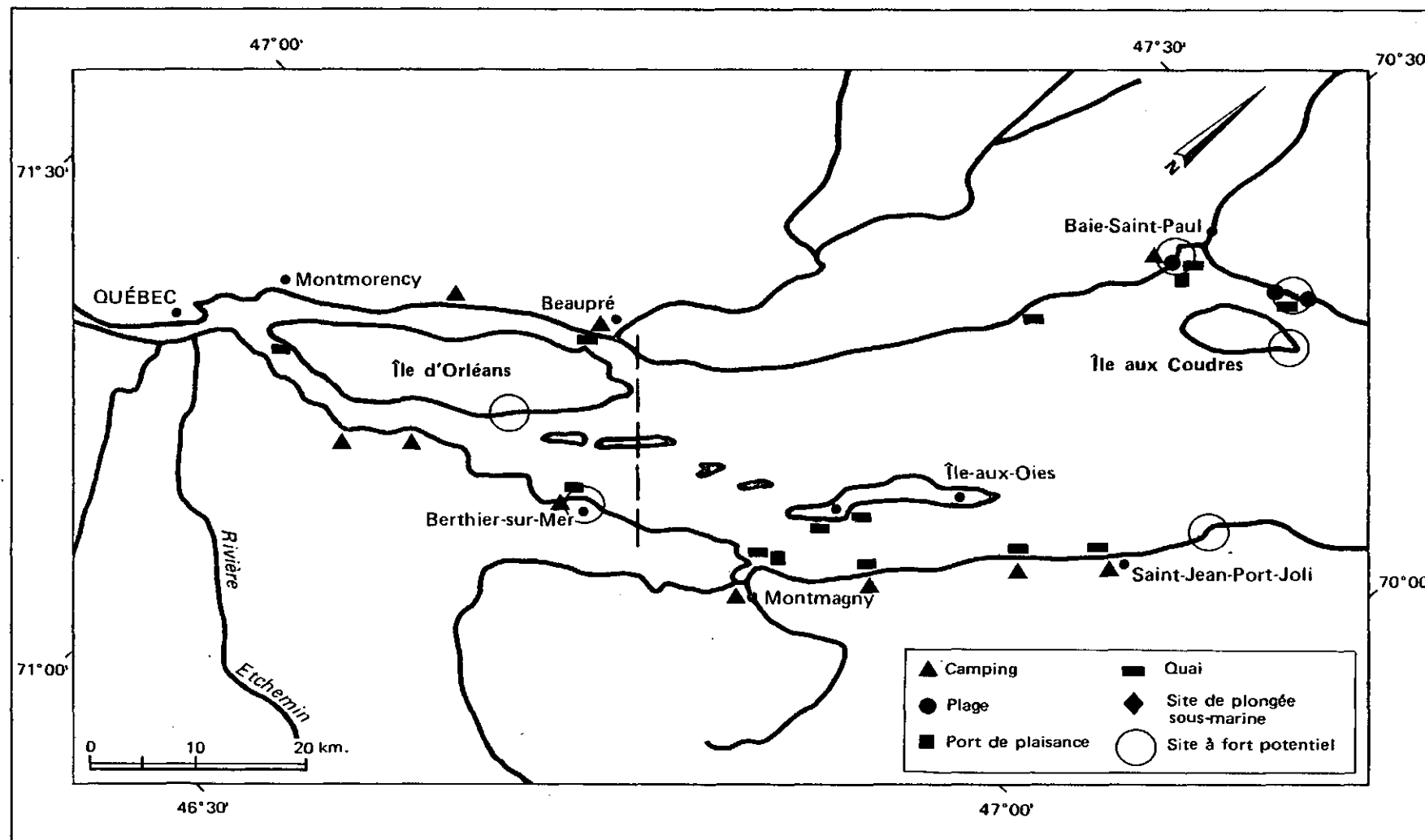


Figure 26. Potentiel récréatif des rives (suite)
(COMITÉ D'ÉTUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978c)

sites sont fréquentés pour la plongée sous-marine (St-Fidèle, ~~Port-au-Saumon~~).

Dans cette région de l'estuaire moyen, située à proximité de Québec, la valeur esthétique des paysages favorise la villégiature (Baie-St-Paul, par exemple).

Il faut de plus mentionner ici la chasse et la pêche comme activités récréatives importantes. Nous développerons cet aspect dans le point suivant.

2.7.3.2 La faune

Les nombreux quais favorisent la pêche sportive. Les touristes et les villégiateurs ont en effet remarqué le fort potentiel de ce secteur. On y retrouve des espèces de poissons telles que l'anguille et l'éperlan, ainsi que le capelan, le poulamon, la perchaude et le meunier rouge. La pêche de l'éperlan en particulier est importante. Elle se fait entre Trois-Pistoles et Lotbinière.

Outre la pêche sportive, l'utilisation des rives de l'estuaire comprend la pêche commerciale. Nadeau (1978) a étudié les ressources halieuthiques dans l'estuaire et le golfe Saint-Laurent. Dans la région s'étendant de Notre-Dame-du-Portage à Ste-Flavie, Nadeau (1978) dit que le hareng est le poisson le plus important quant au volume de captures. La rive est un élément important pour ce poisson puisqu'il s'en rapproche pour frayer, en particulier dans la région de l'Ile-Verte.

Quant à sa valeur commerciale, c'est l'anguille qui est l'espèce la plus importante (Nadeau, 1978). Dans sa descente de l'estuaire pour atteindre l'océan Atlantique (lieu de reproduction) l'anguille s'attarde principalement à Rivière-Ouelle (pour la région du Bas-St-Laurent). Ceci explique la quantité de captures à cet endroit: le double et parfois le triple d'ailleurs. La capture se fait en octobre. Soulignons toutefois que la présence de mercure à des concentrations plus élevées que les normes a contribué à une baisse du commerce en 1972.

La chasse est, elle aussi, une activité très recherchée. Les populations d'oies blanches, de bernaches canadiennes et

de canards noirs sont importantes dans l'estuaire moyen. Nous en reparlerons plus en détail dans le chapitre sur le milieu biologique.

2.7.4 La protection

Deux types de milieux riverains sont particulièrement à protéger dans l'estuaire moyen: ce sont les battures et les marécages intertidaux. La destruction de ces deux milieux entraîneraient des effets néfastes pour les populations d'oiseaux migrateurs qui viennent y chercher à chaque année abri et nourriture spécialisée (spartine et scirpe). Des effets sont aussi fort possibles sur les populations de poissons pélagiques dans l'estuaire. Des études de Ward et Fitzgerald ((1980)) sont en cours à la réserve de l'Isle-Verte et portent sur la diversité de la communauté macrobenthique dans les marécages intertidaux. Ces études se poursuivront à l'été 1981. Dutil (Pêches et Océans) a aussi entrepris un échantillonnage des communautés de poissons dans les marécages St-Louis et St-Germain (Kamouraska). Ces études continueront en 1981. On espère ainsi étudier les effets de l'implantation des digues dans les marécages sur les poissons.

A l'heure actuelle les menaces qui pèsent sur ces milieux sont principalement les ports, les autoroutes et le drainage agricole.

Les ports représentent en effet un grave danger par le déversement de pétrole. Celui-ci serait retenu sans difficulté par les marécages à spartine et empoisonneraient ainsi la faune qui y habitent. Les ports sont aussi dangereux pour les ressources halieuthiques par la pollution qu'ils créent.

De même les routes et autoroutes situées à proximité des rives du fleuve constituent un risque autant par la destruction directe du milieu qu'elles créent que par la pollution esthétique et la pollution chimique, conduisant indirectement ou à plus long terme à la destruction de l'habitat.

Le drainage agricole, dans les marais intertidaux constitue aussi une destruction d'un milieu très riche pour la faune. On sait combien de discussions la construction

d'aboiteaux dans les marais de Kamouraska a suscitée.

Déjà à l'heure actuelle une certaine protection des rives du Saint-Laurent existe. La réserve nationale de Cap-Tourmente, ainsi que la réserve de l'Isle-Verte, en sont les meilleurs exemples. Tout en offrant des activités naturelles à la population ces réserves permettent la protection de la faune et du milieu fragile que constituent les rives de l'estuaire moyen du Saint-Laurent.

O U V R A G E S C I T E S

- AUBIN, F., T.S. MURTY et M.I. EL-SABH, 1979. Numerical Simulation of the Movement and dispersion of oil slicks in the Upper St. Lawrence Estuary: preliminary results. In Le Naturaliste canadien 106(1) : 37-44.
- BOUSFIELD, E.L. et al, 1975. Population dynamics of zooplankton in the middle St. Lawrence Estuary. In Estuarine Research, Ed. by E. Cronin, p. 325-351.
- BRUNEL, P. 1970. Bibliographie choisie sur l'océanographie de l'estuaire du Saint-Laurent. In Rev. Geogr. Montr. XXIV (3): 277-282.
- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978a. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny, Volume 1. 228 p.
- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978c. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny, Volume 3, p. 391-485.
- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978e. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny, Volume 5, p. 3-139.
- D'ANGLEJAN, B.F. et R.G. INGRAM, 1976. Time depth variations in tidal flux of suspended matter in the St. Lawrence Estuary. In Est. and Coast. Mar. Sci. 4 (4) : 401-416.
- DEGUISE, J.C., 1979. Ondes internes de haute fréquence dans l'estuaire du Saint-Laurent. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé), 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- DIONNE, J.C., 1971a. Erosion glacielle de la slikke, estuaire du Saint-Laurent. In Rev. Géomorph. Dyn., Vol. 20 (1) : 5-21.
- EL-SABH, M.I., 1973b. Seasonal and long-term variations of the water properties in the Gulf of St. Lawrence. In Compte-rendu de l'atelier des sciences physiques dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent; Rimouski, 1973. (Coord., M-I El-Sabh)., pp 128-1258.
- EL-SABH, M.I., 1979. The lower St. Lawrence Estuary as a physical system. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire de St-Laurent (résumé) 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- EL-SABH, M.I., L. LEVESQUE et T.S. MURTY, 1979. Mouvements des eaux induits par la marée et le vent dans l'Estuaire du Saint-Laurent. In Le Naturaliste canadien, 106 (1) : 89-104.
- ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE, 1973. Normales au Canada, températures 1941-1970. Volume 1, Environnement-Canada, 186 p.
- ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE, 1975a. Normales au Canada, vent 1955-1972. Volume 3, Environnement-Canada, 139 p.
- ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE, 1975b. Normales au Canada, précipitations 1941-1970. Volume 2-SI, Environnement-Canada, 333 p.

- FORRESTER, W.D., 1972. Tidal transports and streams in the St. Lawrence River and Estuary. In International Hydrographic Review, Vol. 48 (1) : 95-108.
- FORRESTER, W.D. et M.I. EL-SABH, 1974. Principle of salt continuity applied to estuarine transport calculations. In Rapp. P-V- Run. Cons.Int. Explor. Mer., 167 : 49-52.
- FORTIER, et al, 1978. Variabilité à court terme du photoplancton dans l'estuaire du Saint-Laurent. In Mar. Biol. 46 : 349-354.
- GODIN, G., 1979. La marée dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent. In Le Naturaliste canadien, 106 (1) : 105-121.
- KOUTITONSKY, V.G. et R. NOEL, 1978. Etude des paramètres hydrodynamiques pour le port de Gros-Cacouna-vrac solide. Annexe A. In Etude de Gros-Cacouna comme superport pour vrac solide au Québec. INRS-Océanologie. 109 p.
- JORDAN, F., 1973. The St. Lawrence System run-off estimates (1960-1970). Bed. Inst. Oceanog., Dartmouth, Can., Data series B1-D, 73-10, 11 pp.
- LEGENDRE, L. et al, 1973. Contribution au débat sur le port pour super-pétrolier dans le Saint-Laurent. L'aspect océanographique. GIROQ, Québec, 22 pp.
- LLAMAS, J. et J.P. TRIBOULET, 1977. Débits extrêmes des cours d'eau du bassin moyen du Saint-Laurent. Cahiers du CENTREAU, Vol II (2) 47 pp.
- LORING, D.H. et DJG. NOTA, 1973. Morphology and sediments of the Gulf of St. Lawrence. In JFRB, Bull. 182, 147 pp..
- MICHEL, B. et D. BERENGER, 1972. Contribution à une étude systématique de la formation de la glace dans le St-Laurent. Rapport GCS-72-10-25, Génie Civil, Université Laval, 180 pp.
- MICHEL, B. et D. BERENGER, 1974. L'hiver glaciologique le long du fleuve St-Laurent. No 4 : Measurement and forecasting specific to River and Lake Ice. International Symposia on the Role of Snow and Ice in Hydrology. Symposium on Measurement and Forecasting. p. 1251 à 1282.
- MUIR, L.A., 1979a. Internal tides in the middle estuary of the St. Lawrence. In Le Naturaliste canadien, 106 (1) : 27-36.
- MURTY, T.S. et J.D. TAYLOR, 1970. A Numerical Calculation of the Wind-driven Circulation in the Gulf of St. Lawrence. In Journal of the Oceanographical Society of Japan, 26 (4) : 203-214.
- NADEAU, A., 1978. Les ressources halieutiques dans l'estuaire et le golfe du St-Laurent. In Etude de Gros-Cacouna comme superport pour vrac solide au Québec. Annexe E. INRS - Océanologie, 82 p.
- NEU, H.J.A., 1970. A study on mixing and circulation in the St. Lawrence Estuary up to 1964. Atlantic Oceanogr. Lab. Bed. Inst. Dartmouth, N.S., Canada. Unpubl. MS Report no 70-9, 32 pp.

- NEU, H.J.A., 1976. Run-off regulation for hydro-power and its effect on the ocean environment. *Hydrological Sciences Bulletin*, 21 (3): 433-434, sept. 1976.
- OUELLET, Y. et J. CERCEAU, 1976. Mélange des eaux douces et salées du Saint-Laurent. Circulation et salinité. *Les Cahiers du CENTREAU*, Vol 1 (4) : 57 pp.
- OUELLET, Y. et C. TRUMP, 1979. La circulation hydrodynamique dans la zone de mélange estuarienne du St-Laurent. In *Le Naturaliste canadien*, 106 (1) : 13-26.
- SERODES, J.B., 1980a. Etude de la sédimentation intertidale de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Département de génie civil, Université Laval. 29 pp. Rapport soumis à Environnement-Canada, DGIEQ.
- SUTCLIFFE, W.H., Jr., 1973. Correlations between Seasonal River Discharge and Local Landings of American Lobster (*Homarus americanus*) and Atlantic Halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in the Gulf of St. Lawrence. In *J. Fish. Res. Bd. Canada* 30 (6).
- UNESCO, 1972. Débit de certains cours d'eau du Canada; Ottawa, 338 pp.

3.0 LE MILIEU CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE

La présente section met en évidence les apports et les rejets qui modifient le milieu chimique et bactériologique de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Nous verrons dans quelle mesure la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau en est modifiée.

3.1 Les apports

3.1.1 Le Saint-Laurent

A lui seul le Saint-Laurent contribue pour 80% aux apports totaux de contaminants dans l'estuaire. Les autres apports viennent des tributaires, des municipalités et des industries, Figures 27 et 28.

Leurs conclusions, que nous rapportons sans donner les résultats quantitatifs volumineux, précisent que ce sont surtout l'azote ammoniacal et le phosphore assimilables qui présentent le plus de problèmes, de même que la couleur, les solides en suspension et la turbidité. Le milieu le plus sensible est celui situé en amont de Baie-Saint-Paul à cause du bouchon de turbidité qui entraîne des problèmes de solides en suspension et de turbidité.

Quant à la qualité de l'eau à proximité des rives, on remarque pour l'estuaire moyen des problèmes de coliformes fécaux à proximité de Baie-Saint-Paul. Ceci est d'autant plus important qu'on retrouve une plage à cet endroit.

3.1.2 Les tributaires

Le Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent (1978d) a évalué les tributaires à partir des relevés de 1975 et 1977. Il conclut que "De manière générale, les apports des tributaires de la rive nord sont beaucoup plus importants que ceux de la rive sud. Ceci est relié à la dimension des bassins versants considérés. Sur la rive nord, la superficie drainée est de 219,083 km², alors que sur la rive sud, on ne compte que 5% du territoire. Les Tableaux 6 et 7 démontrent que sur la rive nord, le Saguenay apparaît le plus souvent au premier rang des charges

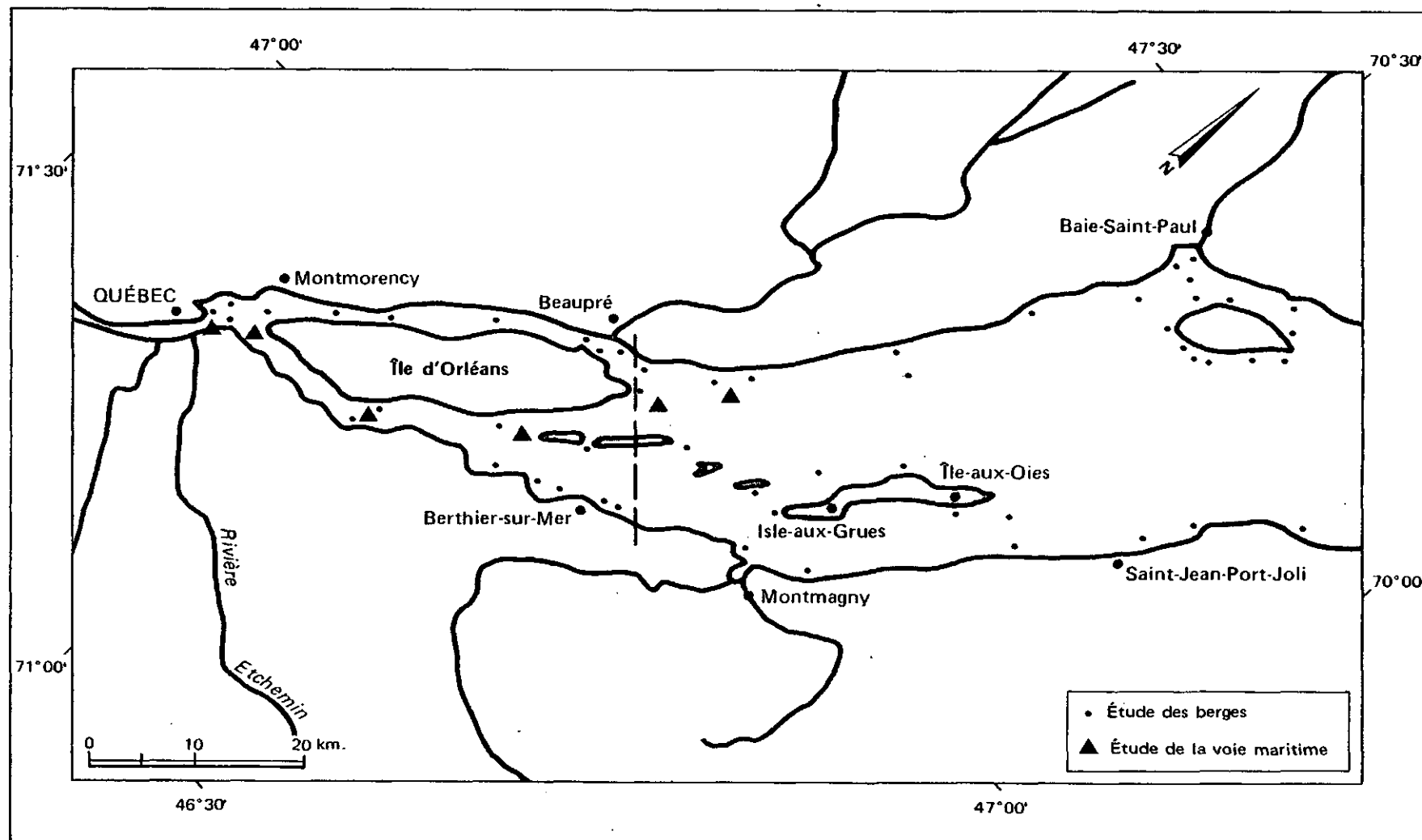


Figure 27. Localisation des stations d'échantillonnage de contaminants
(COMITÉ D'ÉTUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978e)

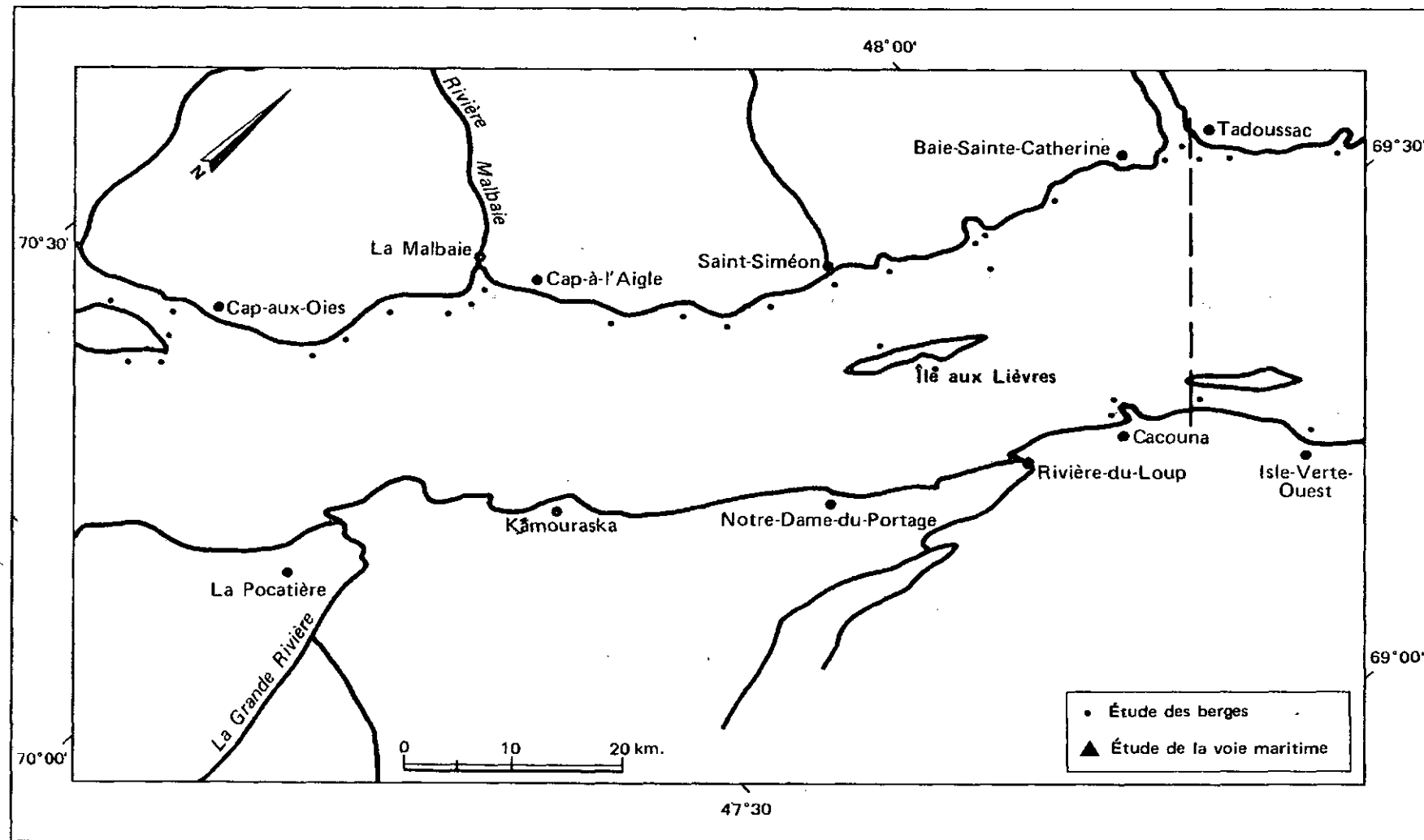


Figure 28. Localisation des stations d'échantillonnage de contaminants (suite)
(COMITÉ D'ÉTUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978e)

Tableau 6. Liste des tributaires de la rive sud dont les charges¹
sont les plus importantes
(Comité d'étude sur le fleuve St-Laurent, 1978e)

Paramètres	Rang 1	Rang 2	Rang 3
Solides en suspension	Kamouraska	Verte	Sainte-Anne-des-Monts
DCO (F) ²	du Sud	Matane	du Loup
PO ₄ tot. (N.F.) ³	du Sud	du Loup	des Trois-Pistoles
N tot. (N.F.) ³	du Sud	du Loup	Ouelle
Phénols	Rimouski	du Sud	Ouelle
Cd	Rimouski	Matane	Verte
Cr	Sainte-Anne-des-Monts	Kamouraska	Rimouski
Cu	des Trois-Pistoles	Matane	Verte
Fe	Sainte-Anne-des-Monts	Matane	Rimouski
Mn	du Loup	Rimouski	Sainte-Anne-des-Monts
Ni	Sainte-Anne-des-Monts	du Sud	Matane
Hg	du Sud	Rimouski	du Cap Chat
Pb	Rimouski	Kamouraska	Matane
Zn	Matane	Rimouski	Sainte-Anne-des-Monts
Coliformes	du Loup	du Sud	Verte
Coliformes fécaux	du Loup	Kamouraska	du Sud
TOTAL	Rimouski	Matane	du Sud

1 Basé sur les charges moyennes journalières

2 (F.) : échantillon filtré

3 (N.F.): échantillon non filtré

Tableau 7. Liste des tributaires de la rive nord dont les charges¹ sont les plus importantes

(Comité d'étude sur le fleuve St-Laurent, 1978.e)

Paramètres	Rang 1	Rang 2	Rang 3
Solides en suspension	Saguenay	Moisie	Pentecôte
DCO (F.) ²	Saguenay	Moisie	Manicouagan
PO ₄ tot. (N.F.) ³	Saguenay	Moisie	Betsiamites
N tot. (N.F.) ³	Saguenay	aux Outardes	Moisie
Phénols	Saguenay	Betsiamites	Moisie
Cd	Saguenay	aux Outardes	Moisie
Cr	aux Outardes	Manicouagan	Moisie
Cu	Saguenay	Moisie	Manicouagan
Fe	Moisie	aux Outardes	Saguenay
Mn	Moisie	aux Outardes	Saguenay
Ni	Portneuf	des Escoumains	
Hg	Saguenay	aux Outardes	Manicouagan
Pb	Moisie	aux Outardes	Manicouagan
Zn	aux Outardes	Moisie	Manicouagan
Coliformes	Saguenay	Portneuf	du Gouffre
Coliformes fécaux	Saguenay	du Gouffre	Malbaie
TOTAL	Moisie	aux Outardes	Saguenay

1 Basé sur les charges moyennes journalières

2 (F.) : échantillon filtré

3 (N.F.) : échantillon non filtré

les plus importantes, tandis que sur la rive sud c'est la Rivière du Sud qui est la plus souvent prioritaire.

Therriault et Lacroix (1975) ont démontré une similitude de physique et chimique (concernant l'oxygène, les nutritifs et la chlorophylle) des eaux profondes du Saguenay et des eaux de surface de l'estuaire moyen du Saint-Laurent pendant l'été. On doit donc conclure à un échange entre les deux masses d'eau.

3.2 Les rejets

3.2.1 Les municipalités

Le Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent (1978d) a évalué les rejets municipaux de façon théorique seulement (Tableaux 8 et 9). On peut ainsi remarquer que "les charges des municipalités possédant des réseaux d'égouts sont équivalentes sur les deux rives du fleuve". On voit facilement que les charges des municipalités les plus peuplées sont les plus importantes (Lévis, Lauzon, Montmagny et Rivière-du-Loup sur la rive sud; Beauport sur la rive nord).

3.2.2 Les industries

Les rejets industriels sont relativement peu importants puisqu'il n'y a que quatre industries sur la rive sud et treize sur la rive nord, (pâtes et papiers, traitement et manutention de minerais). Le Tableau 10 classe les industries selon les charges en substances contaminantes les plus élevées. Celles qui ont les rejets les plus importants entre la Compagnie Donohue Limitée, Québec Rayonier et la Compagnie de Papier Abitibi Limitée. Comme on l'a dit précédemment les charges contaminantes sont principalement la responsabilité du fleuve (80%). Dans le 20% qui reste, les charges sont partagées à la fois par les tributaires, les municipalités et les industries. C'est donc dire que les chiffres donnés au Tableau 10 représentent une faible proportion des charges totales au fleuve. Ils donnent toutefois la valeur relative des rejets de chacune des industries.

3.2.3 Les hydrocarbures

Poulet (1976), dans son étude sur les aspects biologiques concernés par la construction du superport de Gros-Cacouna, dit que le pétrole rencontré dans la région du golfe et de l'estuaire

Tableau 8. Charges théoriques des municipalités de la rive sud (kg/j)

(Comité d'étude sur le fleuve St-Laurent, 1978e)

Villes	Popula- tion	Solides en suspension	DCO	N.tot. (N.F.)	PO ₄ tot. (F.)	PO ₄ tot. (N.F.)	N.inorg. (N.F.)	Colis ₁₂ x10 ind/j
Lévis ¹	17 200	2 924	2 752	213	67	144	124	774,0
Lauzon ¹	13 100	2 227	2 096	162	51	110	94	589,5
Beaumont ³	1 440	245	230	18	6	12	10	64,8
Saint-Michel ²	1 640	279	262	20	6	14	12	73,8
Saint-Vallier ¹	790	134	126	10	3	7	6	35,5
Berthier-sur-Mer ¹	1 090	185	174	14	4	9	8	49,0
Montmagny ^{1,4}	12 900	2 193	2 064	160	50	108	93	580,5
Cap Saint-Ignace ¹	3 100	527	496	34	12	26	22	139,5
L'Islet-sur-mer ³	720	122	115	9	3	6	5	32,4
St-Jean-Port-Joli ¹	3 230	549	517	40	13	27	23	145,3
St-Roch-des-Aulnaies ²	985	167	158	12	4	8	7	44,3
LaPocatière ¹	4 300	731	720	53	17	36	31	193,5
Rivière Ouelle ¹	1 492	254	239	19	6	13	11	67,1
Saint-Denis ²	570	97	91	7	2	5	4	25,6
Kamouraska ²	500	85	80	6	2	4	4	22,5
Saint-Germain ²	380	65	61	5	1	3	3	17,1
Saint-André ³	389	66	62	5	2	3	3	17,5
N.-Dame-du-Portage ²	660	112	106	8	3	6	5	29,7
Rivière-du-Loup ¹	13 200	2 244	2 112	164	51	111	95	594,0
Saint-Patrice ¹	1 640	279	262	20	6	14	12	73,8
Cacouna (St-Georges) ²	1 013	172	162	13	4	9	7	45,5
L'Ile-Verte ³	1 290	219	206	16	5	11	9	58,0

(suite) Tableau 8. Charges théoriques des municipalités de la rive sud (kg/j)
(Comité d'étude sur le fleuve St-Laurent, 1978 e).

Villes	Colis fécaux x10 ¹² ind/j	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg x10 ⁻⁴	Ni	P1	Zn
Lévis ¹	51,6	0,034	0,86	1,20	12,73	36,1	0,172	1,72	6,54
Lauzon ¹	39,3	0,03	0,66	0,92	9,69	27,5	0,131	1,31	4,98
Beaumont ³	4,3	0,003	0,07	0,10	1,07	3,02	0,014	0,14	0,55
Saint-Michel ²	4,9	0,003	0,08	0,11	1,21	3,44	0,016	0,16	0,62
Saint-Vallier ¹	2,4	0,002	0,04	0,06	0,58	1,66	0,008	0,08	0,30
Berthier-sur-Mer ¹	3,3	0,002	0,05	0,08	0,81	2,29	0,011	0,11	0,41
Montmagny ¹	38,7	0,026	0,65	0,90	9,55	27,09	0,129	1,30	4,90
Cap Saint-Ignace ¹	9,3	0,006	0,16	0,22	2,29	6,51	0,031	0,31	1,18
L'Islet-sur-Mer ³	2,2	0,001	0,04	0,05	0,53	1,51	0,007	0,07	0,27
St-Jean-Port-Joli ¹	9,6	0,006	0,16	0,23	2,39	6,78	0,032	0,32	1,23
St-Roch-des-Aulnaies ²	2,9	0,002	0,05	0,07	0,73	2,07	0,010	0,10	0,37
LaPocatière ¹	12,9	0,009	0,22	0,30	3,18	9,03	0,043	0,43	1,63
Rivière Ouelle ¹	4,5	0,003	0,08	0,10	1,10	3,13	0,015	0,15	0,57
Saint-Denis ²	1,7	0,001	0,03	0,04	0,42	1,20	0,006	0,06	0,22
Kamouraska ²	1,5	0,001	0,03	0,04	0,37	1,05	0,005	0,05	0,19
Saint-Germain ²	1,1	0,001	0,02	0,03	0,28	0,79	0,004	0,04	0,14
Saint-André ³	1,2	0,001	0,02	0,03	0,29	0,82	0,004	0,04	0,15
N.-Dame-du-Portage ²	1,8	0,001	0,03	0,05	0,49	1,39	0,006	0,07	0,25
Rivière-du-Loup ¹	39,6	0,026	0,66	0,92	9,77	27,72	0,132	1,32	5,02
Saint-Patrice ¹	4,9	0,003	0,08	0,12	1,21	3,44	0,016	0,16	0,62
Cacouna (St-Georges) ²	3,0	0,002	0,05	0,07	0,75	2,13	0,010	0,10	0,38
L'Ile Verte ³	3,9	0,003	0,06	0,09	0,95	2,71	0,013	0,13	0,49

- 1 : égouts sanitaires ou combinés ou les deux
2 : fosses septiques
3 : indéterminé

Tableau 9. Charges théoriques des municipalités de la rive nord (kg/j)
(Comité d'étude sur le fleuve St-Laurent, 1978e).

Villes	Popula- tion	Solides en suspension	DCO	N.tot. (N.F.)	PO ₄ tot. (F.)	PO ₄ tot. (N.F.)	N.inorg. (N.F.)	Colis ₁₂ x10 ind/j
Beauport ¹	53 070	9 022	8 491	658	207	446	382	2 388,2
Boischatel (St-Jean de) ¹	1 720	292	275	21	7	14	12	77,4
Château-Richer ²	3 150	536	504	39	12	26	23	141,8
Ste-Anne-de-Beaupré ¹	3 094	526	495	38	12	26	22	139,2
Beaupré ¹	2 820	479	451	35	11	24	20	126,9
Saint-Joachim ²	1 340	229	214	17	5	11	10	60,3
Baie-Saint-Paul ¹	3 840	653	614	48	15	32	28	172,8
St-Joseph-de-la-Rive ²	310	53	50	4	1	3	2	13,9
Les Eboulements ¹	1 200	204	192	15	5	10	9	54,0
Saint-Irenée ¹	800	136	128	10	3	7	6	36,0
Pointe-au-Pic ¹	1 243	211	199	15	5	10	9	55,9
La Malbaie ¹	3 820	649	611	47	15	32	28	171,9
Cap-à-l'Aigle ¹	684	116	109	8	3	6	5	30,8
Saint-Siméon ¹	1 186	202	190	15	5	10	8	53,3
Tadoussac ¹	980	167	157	12	4	8	7	44,1

1 : égouts sanitaires ou combinés ou les deux

2 : fosses septiques

3 : indéterminé

(Suite) Tableau 9. Charges théoriques des municipalités de la rive nord (kg/j)

(Comité d'étude sur le fleuve St-Laurent, 1978)

Villes	Colis fécaux ¹² x10 ³ ind/j	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg x10 ⁻⁴	Ni	P ₁	Zn
Beauport ¹	159,2	0,106	2,65	3,71	39,27	111,4	0,530	5,30	20,17
Boischatel ¹ (St-Jean-de)	5,1	0,003	0,09	0,12	1,27	3,6	0,017	0,17	0,65
Château-Richer ²	9,5	0,006	0,16	0,22	2,33	6,6	0,031	0,31	1,20
Ste-Anne-de-Beau-pré ¹	9,3	0,006	0,15	0,22	2,29	6,5	0,031	0,31	1,18
Beaupré ¹	8,5	0,006	0,14	0,20	2,09	5,9	0,028	0,28	1,07
Saint-Joachim ²	4,0	0,003	0,07	0,09	0,99	2,8	0,013	0,13	0,51
Baie-Saint-Paul ¹	11,5	0,008	0,19	0,27	2,84	8,1	0,038	0,38	1,46
St-Joseph-de-la-Rive ²	0,9	0,001	0,02	0,02	0,23	0,7	0,003	0,03	0,12
Les Eboulements ¹	3,6	0,002	0,06	0,08	0,89	2,5	0,012	0,12	0,46
Saint-Irenée ¹	2,4	0,002	0,04	0,06	0,59	1,7	0,008	0,08	0,30
Pointe-au-Pic ¹	3,7	0,002	0,06	0,09	0,92	2,6	0,012	0,12	0,47
LaMalbaie ¹	11,5	0,008	0,19	0,27	2,83	8,0	0,038	0,38	1,45
Cap-à-l'Aigle ¹	2,0	0,001	0,03	0,05	0,51	1,4	0,007	0,07	0,26
Saint-Siméon ¹	3,6	0,002	0,06	0,08	0,88	2,5	0,012	0,12	0,45
Tadoussac ¹	2,9	0,002	0,05	0,07	0,73	2,0	0,010	0,10	0,37

1 : égouts sanitaires ou combinés ou les deux

2 : fosses septiques

3 : indéterminé

Tableau 10. Classement des industries selon les charges

(Comité d'étude sur le fleuve St-Laurent, 1978(e))



Industries	Solides en sus- pension	DCO (N.F.) ¹	RO ₄ tot. (N.F.) ¹	N tot. ² (N.F.) ¹	Phé- nols	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Hg	Pb	Zn	rang	Rang
<u>RIVE SUD</u>																
La Compagnie papier Mowak Ltée	7	8	8	16	10	10	12	10	9	8	9	3	11 ³	12	133	9
F.F.Soucy Inc.	3	7	3	10	5	10 ³	8	1	6	5	12 ³	13 ³	5	4	92	4
La Compagnie internale papier Canada	5	4	2	2	15 ³	2	9	5	8	12 ³	5 ³	13 ³	11 ³	7	100	7
Société Coop. agricole des Basques	13	10	6	9	15 ³	10 ³	15 ³	16	13	12 ³	12 ³	13 ³	11 ³	14	169	15
<u>RIVE NORD</u>																
Dominion Tex- tile Ltée	17	13	14	12	12	8	13	13	14	11	10	10	9	15	171	16
Distillerie Beaupré (égout princ.)	11	9	11	11	7	10 ³	10	9	15	6	11	6	10	16 ³	142	13
Comp. Iron Ore	6	15 ³	12	6	8	4	4	6	2	4	6	4	5	11	93	5
Wabush Mines	9	15 ³	15	8	13	6	6	15	4	3	7	11	7	6	125	8
Quebec Cartier Mining	15	15 ³	13	13	9	7	5	14	10	9	8	5	8	9	140	12
Comp. de Papier Q.N.S. Limitée	1	3	17 ³	17 ³	1	10 ³	14	2	16 ³	12 ³	12 ³	12	11 ³	5	133	9

1 (N.F.) : échantillon non filtré

2 N tot.: Azote total Kjeldahl (N.F.)¹ + Nitrites + Nitrates

3 Lorsqu'il n'y a pas de données disponibles, nous avons accordé le rang le plus élevé

(le long de la voie maritime) est d'origine récente et dû à plusieurs accidents. La concentration de pétrole trouvé dans cette région varie de 1 à 100 $\mu\text{g l}^{-1}$ en surface, et de 1 à 10 $\mu\text{g l}^{-1}$ dans l'eau intermédiaire et au fond.

Poulet déduit du fait que la concentration soit plus faible dans l'estuaire que dans le golfe que "la majeure partie du pétrole introduite dans le système provient à la fois de l'océan Atlantique via le détroit de Cabot et de la circulation des navires dans le golfe et l'estuaire".

Drapeau (1973) a fait l'expérience de répandre de petites quantités d'huile (370 et 800 l) dans l'estuaire du Saint-Laurent, à proximité de Rivière-du-Loup. Cette région est caractérisée par de forts courants (1,4 m/sec et 3 m/sec). Il a été démontré que l'huile se dispersait sous l'effet combiné du vent et des courants de surface. De plus la formation rapide d'émulsions rend difficile le contrôle par le feu ou l'absorption.

Simons et al (1975) ont construit un modèle opérationnel pour la prédiction du mouvement des nappes d'hydrocarbures dans les eaux navigables du Canada. Ce modèle consiste en trois composantes principales traitant séparément les effets suivants: les courants périodiques ou quasi-stationnaires (ceux des marées océaniques et des chenaux de décharge); les vents atmosphériques et le déplacement des eaux de surface qui en résulte; les perturbations quasi-aléatoires dans le champ des vents ou la configuration du courant. En plus de données sur les courants de marée et sur la vitesse et la direction du vent, ce modèle est complété par des modèles hydrodynamiques et statistiques.

3.2.4 Dragage dans les ports

Les Services de la Protection de l'Environnement d'Environnement-Canada, ainsi qu'Environnement-Québec rapporte peu de rejets dans l'estuaire du Saint-Laurent. Ces rejets ne sont pas contaminés (voir plus loin, section 4.5).

Une étude réalisée par Fortin et Drapeau (1979) dans le port de Gros-Cacouna (à la limite de l'estuaire moyen et de

régions de faible salinité des deux estuaires" (moyen et maritime) "renforce l'idée voulant que la précipitation du fer se produise dans toutes les eaux d'estuaire". Il y a influence de la zone de turbidité maximale sur la distribution totale de fer, du manganèse et du cobalt.

D'autre part Pelletier et Lebel (1979a) concluent que "l'Estuaire du Saint-Laurent montre une carence ne dépassant pas 2-5% du bore total dissous par rapport à la composition océanique moyenne".

Pelletier et Lebel (1978b) ont aussi réalisé le profil du pH dans l'estuaire moyen (Figure 29). A l'aide de la méthode qu'ils utilisent (mini-électrodes Radiometer, tampon TRIS) on obtient une fidélité de $\pm 0,005$ pH pour environ 96% des échantillons. Les résultats montrent que le pH à la surface de l'eau augmente à mesure que l'on s'éloigne de Québec vers l'embouchure du Saguenay. D'autre part, dépendant des différents bassins, on remarque soit une augmentation du pH avec la profondeur de l'eau (Bassin de l'Ile aux Coudres: de 7.80 en surface à 7.86 en profondeur), soit une diminution du pH avec la profondeur (Bassin Charlevoix: de 7.84 en surface à 7.78 en profondeur).

3.3.2 La bactériologie

3.3.2.1 Les eaux riveraines

Dans le secteur de Berthier à Trois-Pistoles, les apports en coliformes et coliformes fécaux sont dus aux municipalités. On retrouve le même problème dans le bras nord de l'Ile d'Orléans, tandis que la rivière du Gouffre est la principale responsable des apports bactériologiques dans la région de Baie-Saint-Paul. A LaMalbaie la municipalité est la seule responsable des apports en coliformes fécaux. Selon le Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent (1978d): "Les tributaires de la rive sud sont davantage contaminés par les bactéries que ceux de la rive nord. Au point de vue de l'alimentation en eau potable, les tributaires suivants présentent des problèmes: Kamouraska, du Loup, du Gouffre et Malbaie.". Nous référons le lecteur aux données brutes présentées dans le rapport du Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent (1978e) pour de plus amples renseignements. A notre avis ces études mériteraient d'être complétées.

3.3.2.2 Les mollusques

Un programme sanitaire sur les mollusques est mené dans différentes régions par Environnement-Canada. On peut connaître ainsi la qualité bactériologique des zones coquillères les plus populaires pour le public.

La figure 30 nous montre les stations d'échantillonnage des zones coquillères dans l'estuaire moyen en 1974. Ces résultats sont encore considérés comme valables après plusieurs années puisque la qualité des eaux du fleuve ne varie pas beaucoup. Le secteur de Cap-au-Diable dépasse de 22% la valeur colibacille NPP (Nombre le Plus Probable) de 230 normalement tolérée à $\pm 10\%$ dans les bancs de mollusques du genre Mya arenaria. Dans le district 4 (fig. 30), seule Baie Sainte-Catherine répond complètement à la norme. Dans les autres stations au moins un secteur est fermé à la pêche à cause de problèmes bactériologiques. De plus dans la Baie de la Malbaie, une autre étude (Blaise et Legault, 1974a) a permis de constater la disparition de la vie aquatique par suite de la pollution organique due à la Donohue Brothers.

Des relevés ont aussi été effectués sur la rive sud par Cejka (1976) (figure 31). De Pointe Caron au quai de Saint-Roch-des-Aulnaies, on n'a retrouvé que des coquilles vides de bivalves (genres Mya et Macoma). Ces vestiges ne semblent pas endémiques à la région. Même phénomène pour la région suivante, de Saint-Roch-des-Aulnaies à la pointe de la Rivière Ouelle. Jusqu'à la Pointe aux Orignaux on note la présence de quelques mollusques (genre Macoma) et d'un petit nombre de myes et de moules bleues. Sur la batture de l'Anse St-Denis on peut retrouver des myes à différentes profondeurs ainsi que des mollusques, du genre Macoma. On rencontre très peu de mollusques vivants dans la baie de Kamouraska. De la baie de Kamouraska à la Pointe Saint-André il y a présence de myes ainsi que de macomes. Enfin de Ruisseaux des Caps à Notre-Dame-du-Portage les mollusques (genres Mya et Mytilus) sont présents en petites quantités et sont de petites tailles. Dans quelques-uns de ces lieux Cejka (1976) pense que "des phénomènes à caractère naturel

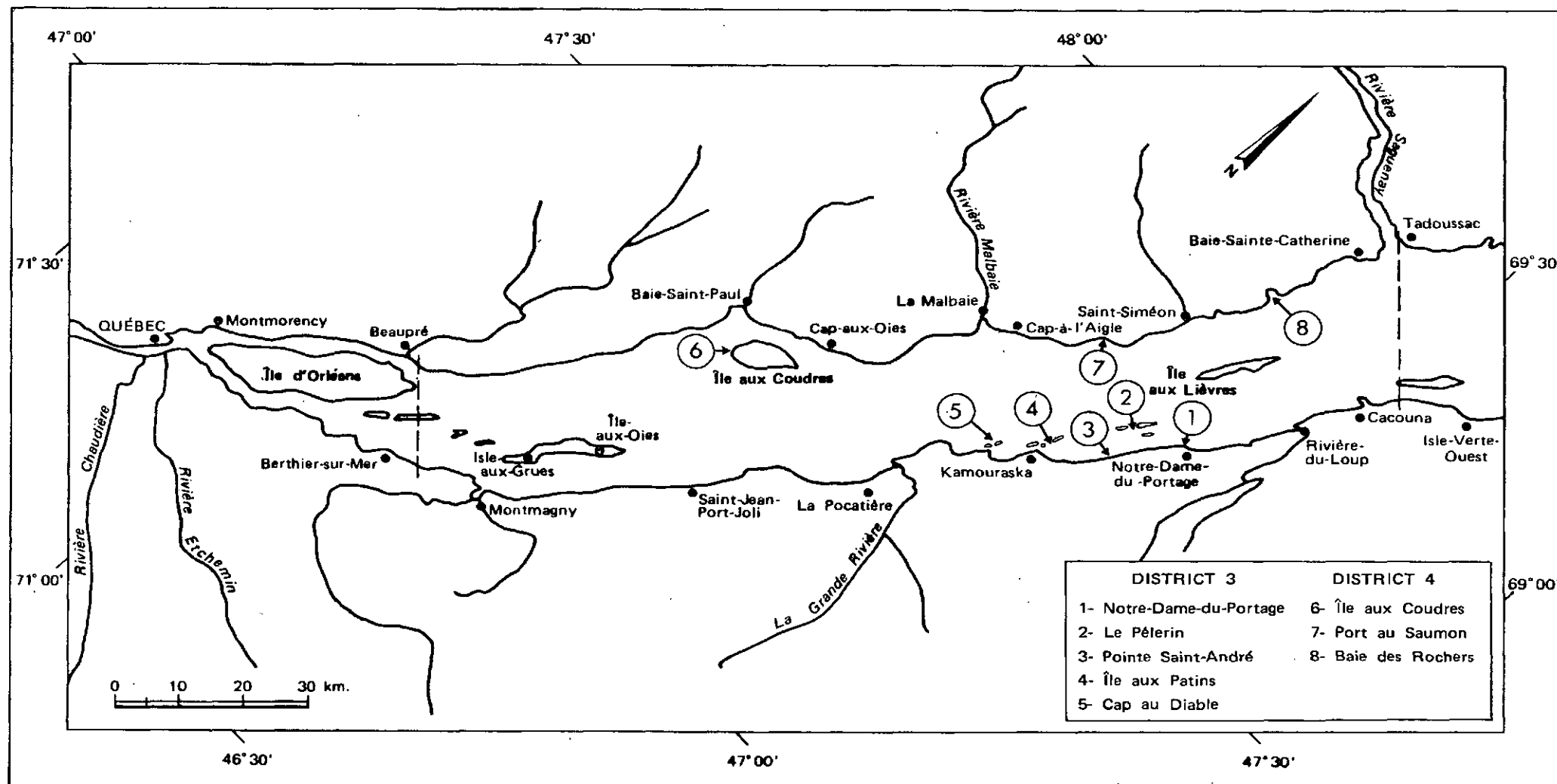


Figure 30. Zones coquillères échantillonnées en 1974
(BLAISE et LEGAULT, 1974a)

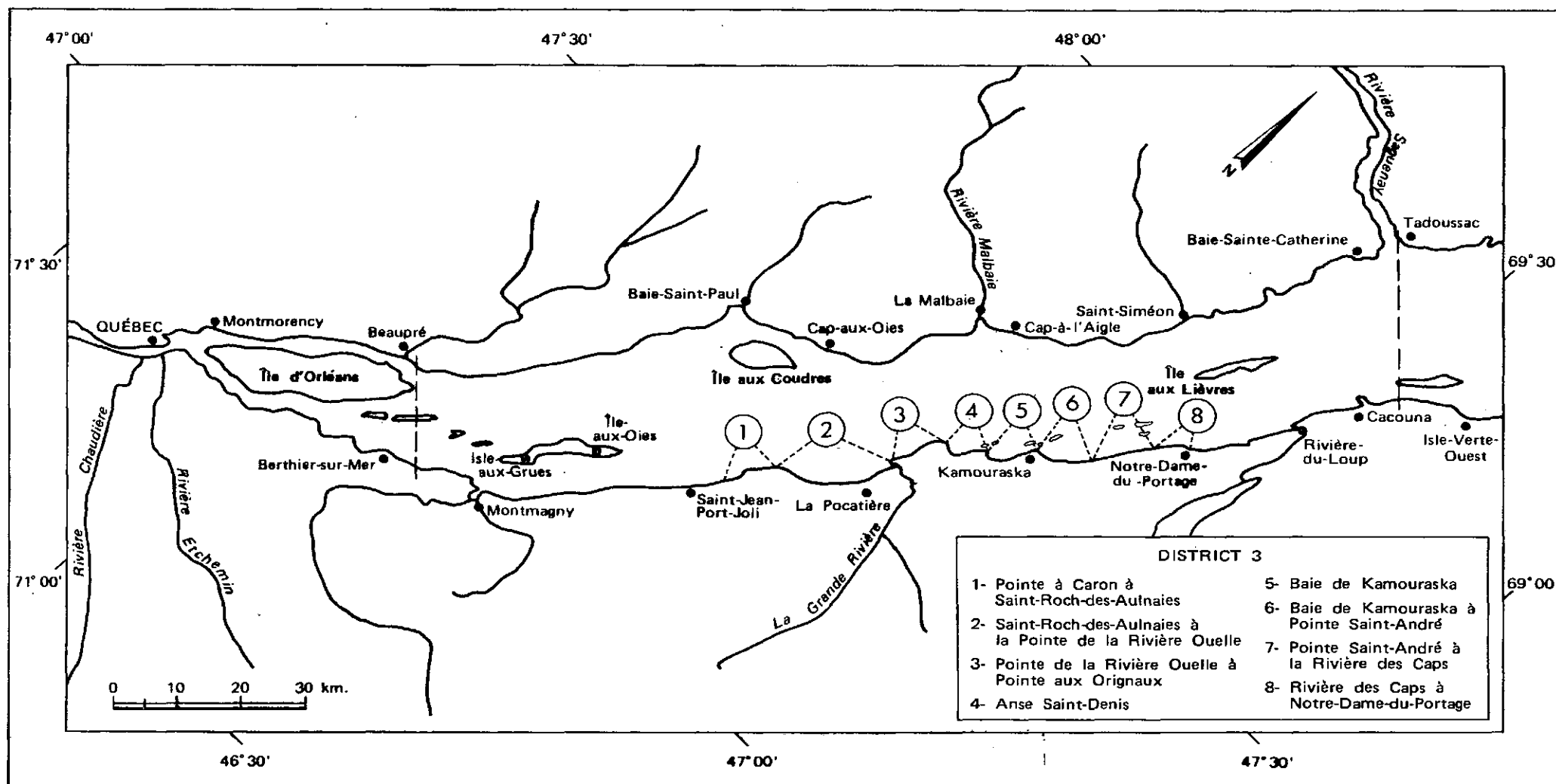


Figure 31. Relevé d'inventaire de la ressource coquillière de St-Roch-des-Aulnaies à Notre-Dame-du-Portage (CEJKA, 1976)

ou artificiel ont, à une certaine époque, contribué à l'extinction d'une population conchylicole qui vivait ici autrefois."

O U V R A G E S C I T E S

- BEWERS, J.M. et P.A. YEATS, 1979. The behavior of trace metals in estuaries of the St. Lawrence basin. In Le Naturaliste canadien, 106(1) : 149-161.
- BLAISE, C.R. et R. LEGAULT, 1974a. Relevé bactériologique de zones coquillières, District de pêche maritime no.3, comtés Kamouraska et Rivière-du-Loup, Québec, 1974. Environnement-Canada, Service de la protection de l'Environnement, Région du Québec, 33 p.
- BLAISE, C.R. et R. LEGAULT, 1974d. Relevé bactériologique de zones coquillières, District de pêche maritime no.4, comté Charlevoix, Québec, 1974. Environnement-Canada, Service de la protection de l'Environnement, Région du Québec, 46 p.
- CEJKA, P., 1976. Relevé bactériologique de zones coquillières, District de pêche maritime no.1 (comté Bonaventure) et no.3 (comtés Rivière-du-Loup et Rimouski), Québec, 1976. Environnement-Canada, Protection de l'Environnement, Région du Québec, 103 p.
- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978e. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny, Volume 5. p. 391-485.
- DRAPEAU, G., 1973. Oil and the St. Lawrence Estuary: Université du Québec. Program Proceedings, oil and the Canadian Environment Conference, 16 Mai 1973, pp. 96-97.
- FORTIN, G. et G. DRAPEAU, 1979. Envasement du port de Gros-Cacouna situé dans l'estuaire du Saint-Laurent. In Le Naturaliste canadien, 106 (1) : 175-188.
- PELLETIER, E. et J. LEBEL, 1978a. Détermination du bore inorganique dans l'Estuaire du Saint-Laurent. In J.Can. Sci. Teres. Vol. 14 (8) : 1732-1739.
- PELLETIER, E. et J. LEBEL, 1978b. Principes et techniques de mesures du pH et de l'alcalinité des eaux de mer: Application à l'Estuaire du Saint-Laurent et au fjord du Saguenay. Université du Québec à Rimouski, section d'Océanographie. Cahier d'Information No.3, 83 pp.
- SIMONS, T.J. et al., 1975. Operational model for predicting the movement of oil in canadian navigable waters. Environment Canada. Fisheries and Marine Service. Ottawa, Canada. Manuscript Series, report no 37, pp. 1-30.
- THERIAULT, J.C. et G. LACROIX, 1975. Penetration of the deep layer of the Saguenay fjord by surface waters of the St. Lawrence Estuary. In J. Fish. Res. Bd. Canada 32 : 2273-2377.

4.0 LE MILIEU SEDIMENTAIRE

4.1 La nature des fonds

4.1.1 La granulométrie

Phase sédimentée:

Avant d'aborder l'étude de la taille des particules sédimentaires, une mise au point terminologique évitera les ambiguïtés. Le tableau 11 représente une liste de noms utilisés pour distinguer les sédiments selon le diamètre des particules. Nous avons adopté la terminologie de Loring et Nota (1973).

Ces auteurs distinguent trois principaux types de distribution de fréquence de taille, que nous décrirons rapidement (Figure 32). Le type 1, caractéristique du Chenal laurentien, est composé de 60% d'argile et de 35% de limon. La taille de la partie sableuse de ces sédiments est très homogène. Les sédiments composés de boues et de sable seraient d'origine double, la première partie provenant de suspension, et la seconde du transport par les glaces. Le type 2 se retrouve dans l'estuaire moyen (entre Québec et le Saguenay). Il est composé de boues très fines, contenant de 75 à 90% d'argile. Elles auraient été mises en place lors d'un cycle de déposition ancien. Les types sédimentaires 1 et 2 diffèrent aussi quant au rapport entre le pourcentage de particules 42μ et celles entre 2 et 16μ . Il se détache une dichotomie très nette entre les sédiments de l'estuaire moyen d'une part et les sédiments de l'estuaire maritime et du golfe d'autre part (Figure 33). Les sédiments de type 2 seraient dus à la présence de la mer de Champlain, alors que le comportement de ceux de type 1 ne peut s'expliquer que par une distribution au hasard (homogène) des matériaux floculés au moment de leur déposition (Loring et Nota, 1973).

Les sédiments de type 3 se retrouvent dans les eaux peu profondes des plate-formes et des pentes avoisinant les grandes dépressions. Ils sont considérés comme étant issus de tills et de moraines plus ou moins retravaillés, datant du Pléistocène. Ils sont composés: 1o de boues récentes, déposées après un temps de suspension plus ou moins long; 2o de sable de 60 à 300μ , probablement d'origine glaciaire;

Tableau 11. Terminologie des particules
sédimentaires en fonction
de leur taille
(Loring et Nota, 1973)

NOM	Classes de taille (mm)
- gravier	>2
- sable	2 - .05
sable grossier	1 - .5
sable moyen	.5 - .25
sable fin	.25 - .05
sable très fin	.125 - .05
- limon (boue limoneuse)	.05 - .002
- argile (boue argileuse)	<.002

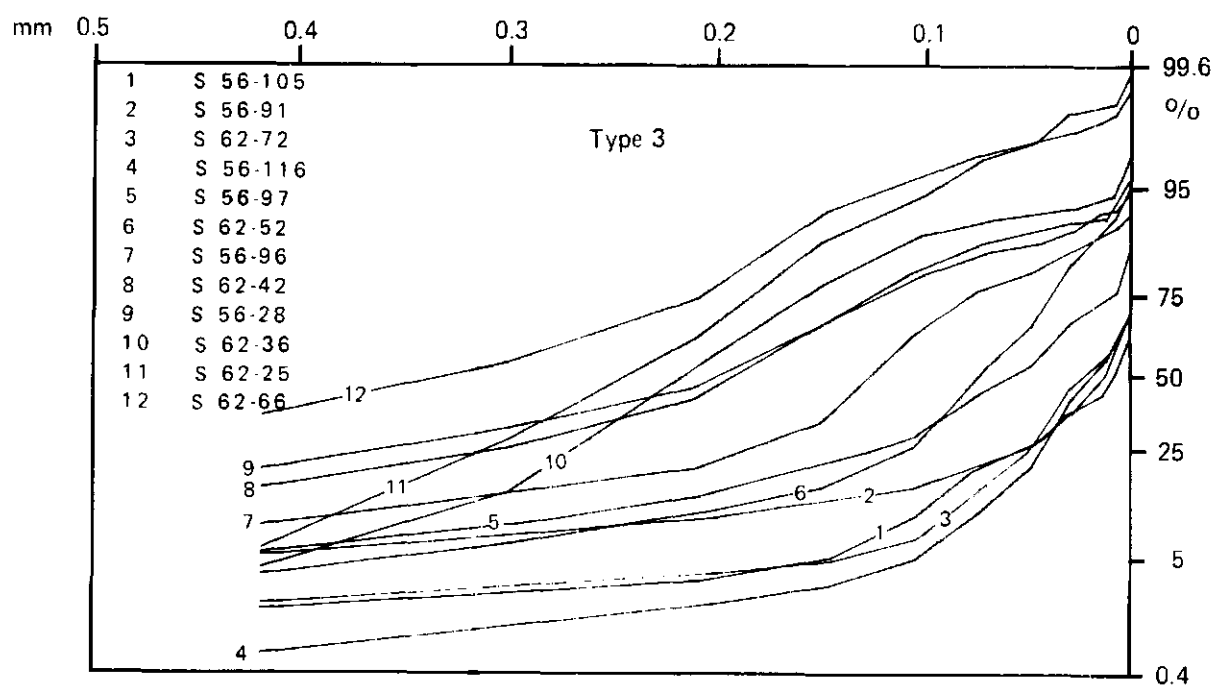
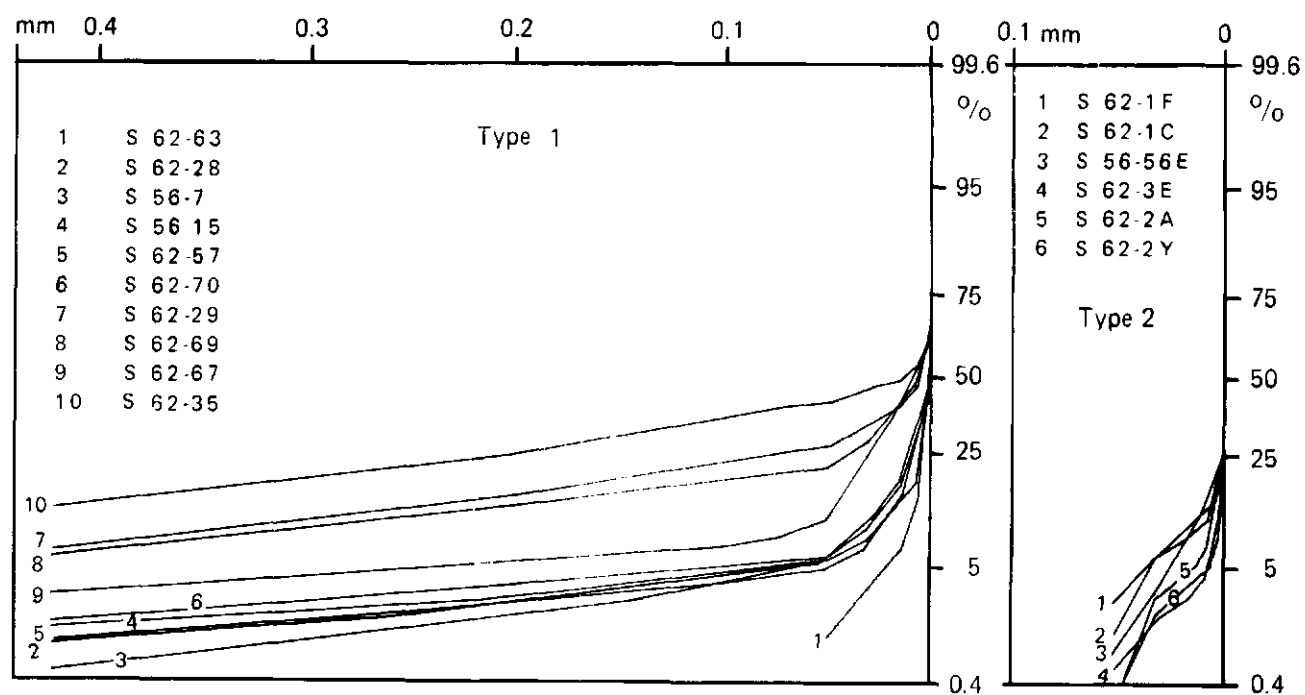


Figure 32. Distribution cumulée de la fréquence de taille des sédiments
 Type 1: Chenal laurentien
 Type 2: estuaire moyen
 Type 3: plates-formes et pentes des chenaux
 (LORING et NOTA, 1973)

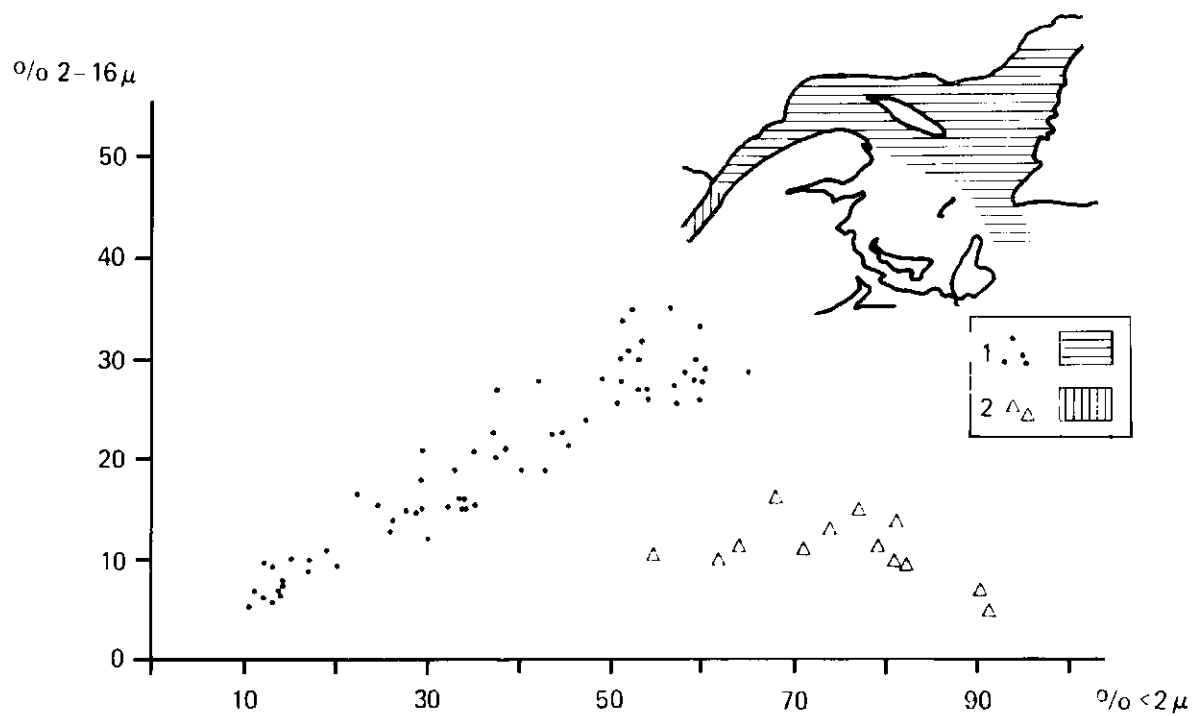


Figure 33. Relation entre le pourcentage de sédiments plus petits que 2μ et le pourcentage de sédiments ayant entre 2 et 16μ (LORING et NOTA, 1973)

30 de sédiments plus grossiers, provenant du flottage par les glaces, ou d'une couche sous-jacente.

La distribution spatiale des sédiments de l'estuaire moyen en fonction de leur taille a été abordée par d'Anglejan et Brisebois (1978). Ils distinguent 3 faciès principaux. Le premier type est caractérisé par du gravier grossier et des blocs de pierre, accompagnés de quantités mineures de sable et de boues. Ceci se retrouve surtout autour de l'Ile aux Lièvres, en particulier dans le chenal sud en aval de Kamouraska, et sur une partie du Banc des Anglais (Figure 34). Ce type occupe le quart de la superficie de l'estuaire moyen. Un deuxième type de sédiments est composé de sable à plus de 95%, et se retrouve sur le lit des chenaux nord et sud, ainsi que sur la plate-forme peu profonde à l'ouest de l'Ile aux Coudres (Figure 34).

Là où leur épaisseur est importante, ces sédiments sont souvent modelés sous forme de dunes (d'Anglejan, 1971); ceci s'observe le long de la rive nord, entre l'Ile aux Coudres et l'Ile d'Orléans, et au voisinage de l'Ile aux Coudres, dans les chenaux, les sables forment une mince couche (environ 10 cm), recouvrant des boues. Une troisième catégorie se retrouve dans les chenaux et les bassins et surtout à l'ouest de l'Ile aux Lièvres; ces sédiments sont composés de boues, associées à de plus ou moins grands pourcentages de sable. La partie sableuse de ces boues gris-brun se présente souvent en lamelles. On note aussi la présence de boues gris-bleu, très fines, exposées au niveau de la Traverse du Milieu, et correspondant aux boues de type 2 de Loring et Nota (d'Anglejan et Brisebois, 1978).

Ces trois types peuvent être représentés sur un diagramme "tri-polaire" (Shepard, 1954). Sur la Figure 35, la distribution en ligne droite des points correspondant aux boues traduit une assez grande constance de la proportion limon-argile, alors que le contenu en sable peut varier beaucoup. Ceci pourrait être attribué à un processus de tri associé à l'alternance d'érosion et de déposition sous l'influence

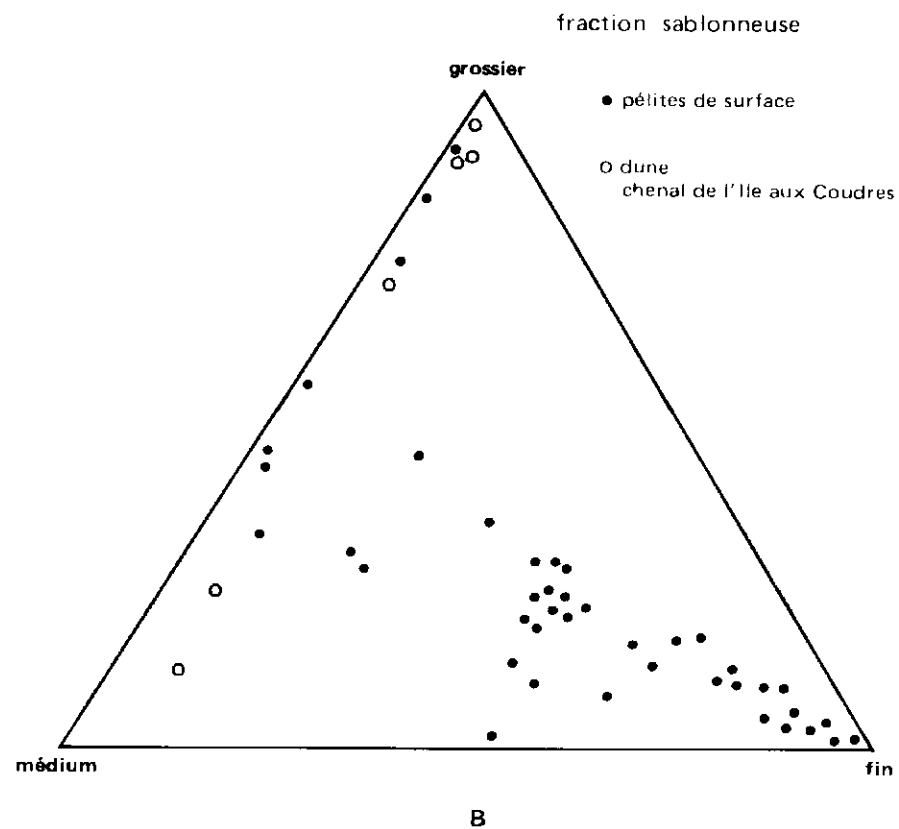
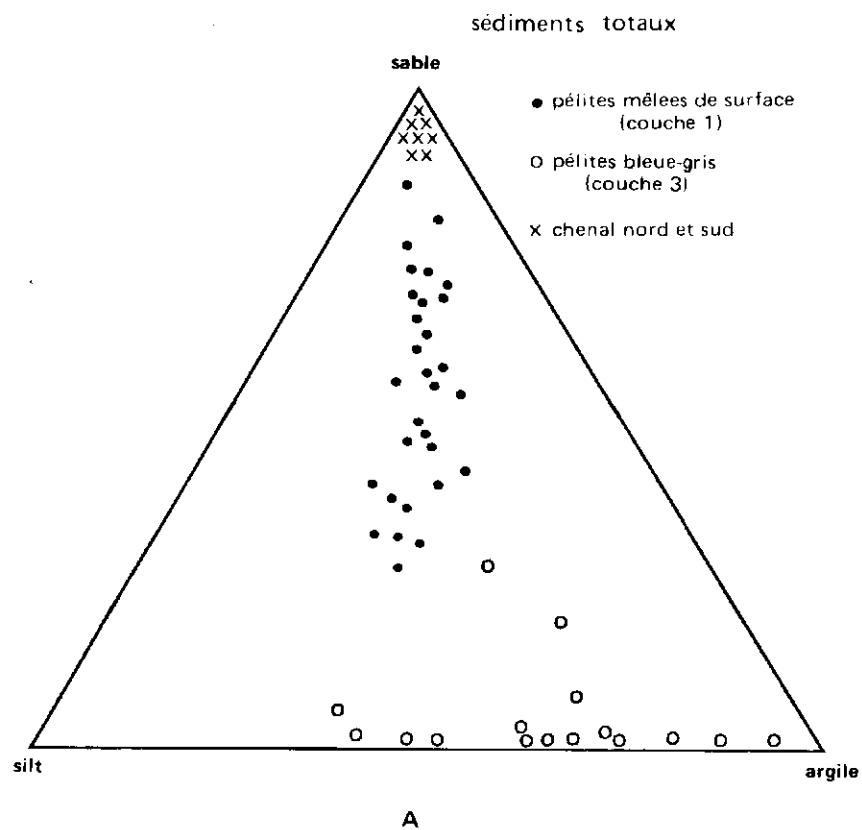


Figure 35. Diagramme "tripolaire" A) sédiments totaux B) fraction sableuse seulement
(D'ANGLEJAN et BRISEBOIS, 1978)

de marées importantes. Le sable (Figure 36) conserve une proportion à peu près constante entre sa fraction grossière (500-1000 μ) et sa fraction moyenne (250-500 μ), pendant que la fraction fine fluctue selon les stations.

La figure 36 met en évidence la distribution spatiale du sable (en pourcentage) dans les sédiments de surface et la proportion de la fraction fine dans ces mêmes sables faisant partie de l'estuaire moyen. Ces représentations montrent l'importance du sable au niveau du Banc des Anglais, ainsi que l'absence du sable à grain fin. On voit de plus que la région centrale présente une faible abondance en sable très grossier et en cailloux. D'après les auteurs, cela pourrait s'expliquer par leur absence dans le matériel glaciaire original, qui constitue pourtant la source du sable, ou par l'inefficacité des glaces à les transporter des rives vers le centre.

La distribution granulométrique de la phase sédimentée a également été étudiée par Sérodes et al (1975). La zone étudiée par ces auteurs est plus étendue vers l'amont, de telle sorte qu'elle englobe les alentours de l'Ile d'Orléans. Entre l'Ile d'Orléans et la rive sud, les sédiments sont composés uniformément de sable et de gravier (Figure 37, 38). Le bras nord du chenal de l'Ile d'Orléans présente un faciès beaucoup plus complexe (Figures 37, 38) les sédiments les plus fins (limon, argile) tendent à se rencontrer près des rives, alors qu'en règle générale le centre du chenal est occupé par du sable, des associations de sable et de gravier, et des formations de sédiments encore plus grossiers, dites de gravier et de roc. Les résultats de Soucy et Sérodes (1975) (Figures 37, 38) accordent une plus grande importance aux sédiments fins (limon, argile) particulièrement le long du littoral sud, que ceux de d'Anglejan et Brisebois (1978), présentés à la figure 34. La concordance des résultats est meilleure en ce qui concerne les dépôts de sable entre l'Ile d'Orléans et l'Ile aux Coudres, du côté nord de l'estuaire, et pour les zones de roc, sable et gravier observés au centre de l'estuaire à partir de St-Jean-Port-Joli.

La stratigraphie des sédiments situés vis-à-vis Gros Cap à l'Aigle a été décrite brièvement par d'Anglejan et Brisebois (1978) (Figure 39). On y observe une structure en 3 couches. La première couche est composée d'argiles brunâtres. Elle est épaisse de quelques centimètres seulement et recouvre une couche intermédiaire de sables grossiers et de cailloux. La troisième couche est composée de boues grises, dont on donne les principales caractéristiques. Elles se seraient déposées à la faveur d'un régime de sédimentation différent de celui que nous connaissons actuellement et où la déposition des suspensions aurait été très importante (d'Anglejan et Brisebois, 1978).

- Phase suspendue

D'Anglejan et Smith (1973) ont trouvé un diamètre moyen des particules en suspension de l'ordre de 5 à 7 μm , 85% des particules étant de taille inférieure à 7 μm . Seulement quelques particules mesuraient plus de 30 μm . Les auteurs signalent des incertitudes (carences) méthodologiques concernant les tailles inférieures à 3 μm .

L'uniformité avec laquelle la taille des particules est distribuée selon d'Anglejan et Smith (1973) contraste avec les résultats observés par Soucy et Serodes (1975) (Figure 40). Selon cette dernière étude, la taille des particules passerait d'une distribution bimodale dans la région de Québec, à un comportement nettement unimodal aux environs de l'Ile aux Coudres, le tout s'accompagnant d'une augmentation de la taille moyenne des particules. Les particules trouvées dans la région de l'embouchure du Saguenay sont caractérisées par des tailles plus petites que dans les zones situées plus en amont.

Soucy et al. (1976), en plus d'affiner l'analyse de la distribution de la taille des particules en fonction de leur position dans l'estuaire (Figures 41 et 42) observent des variations saisonnières. Pendant l'été, la taille des

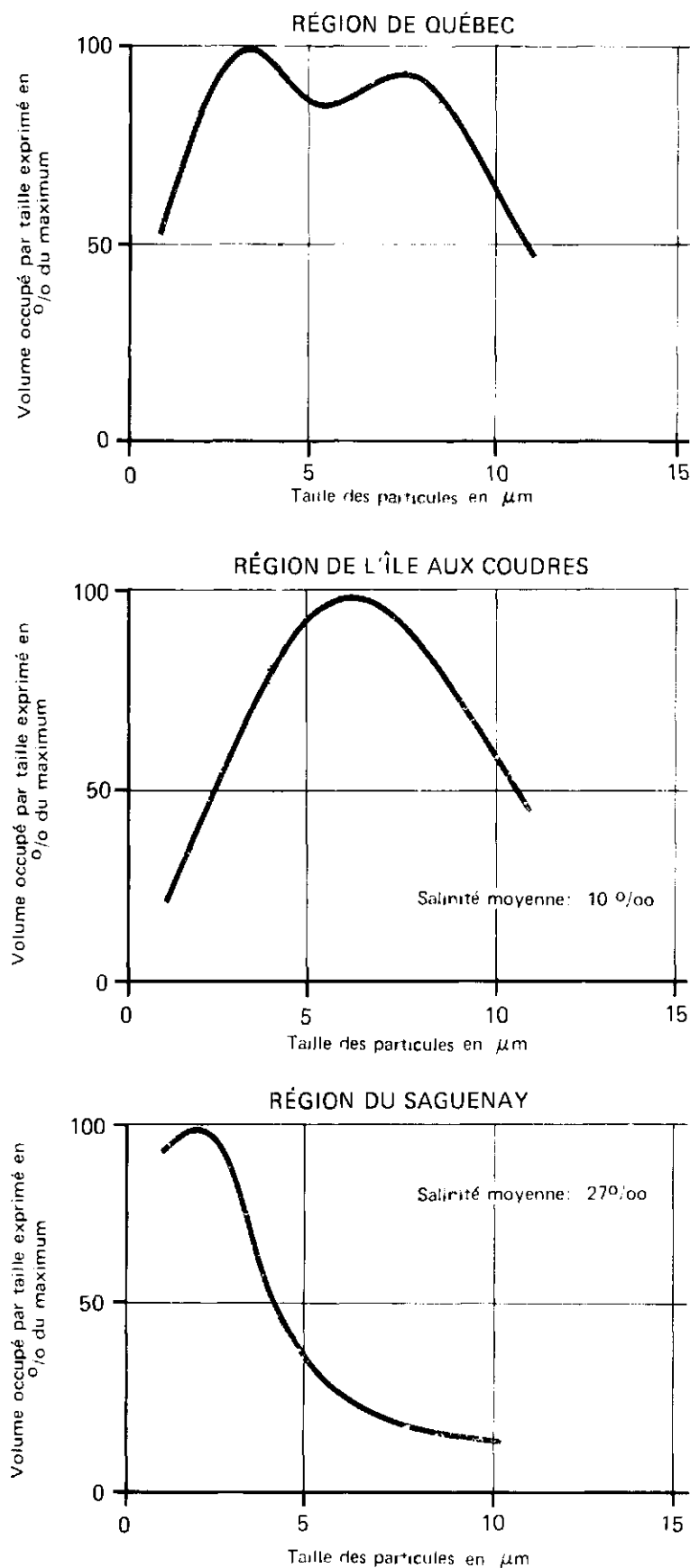
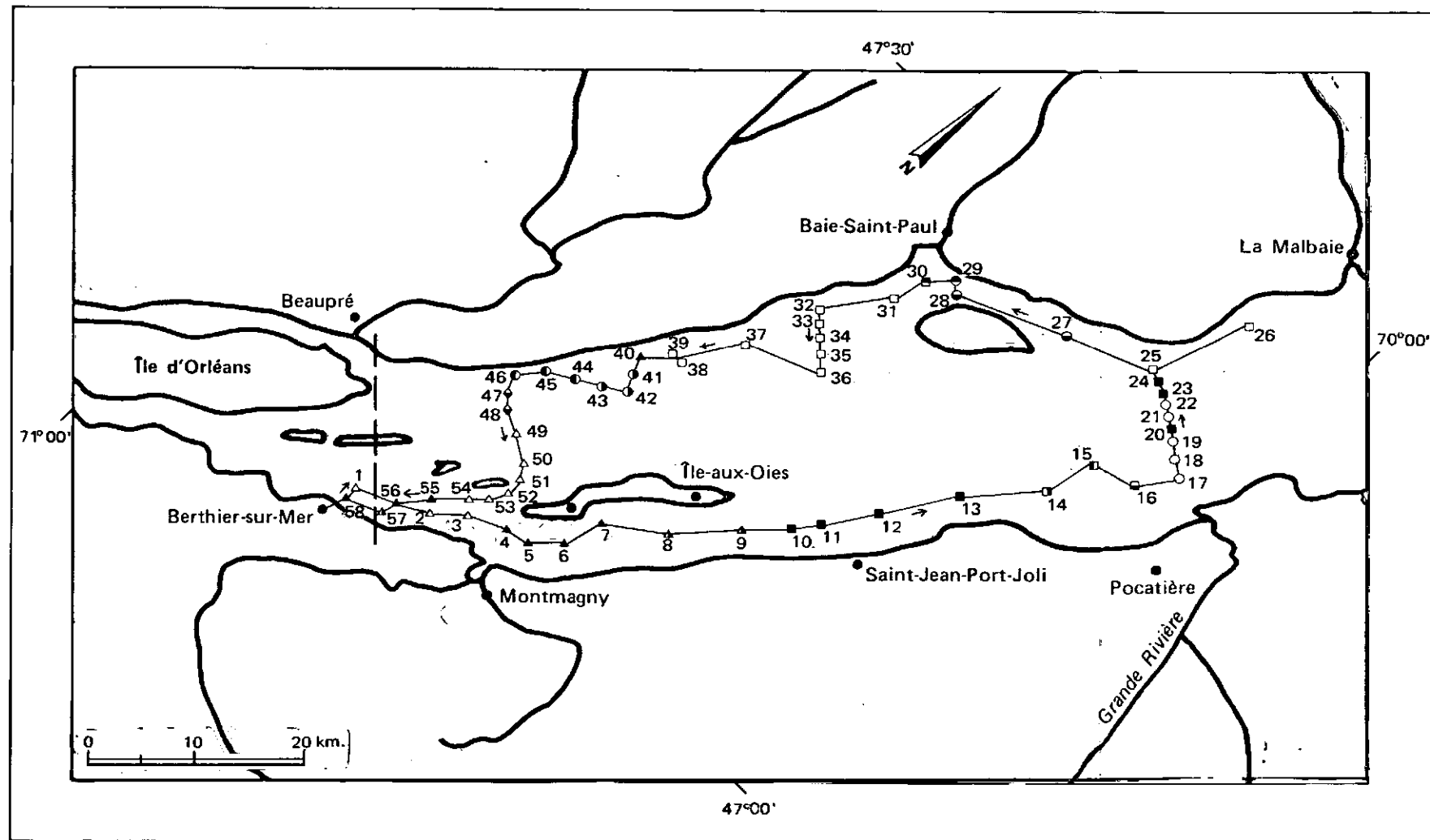


Figure 40. Distribution typique des volumes de particules d'une taille donnée à différentes sections de l'estuaire du Saint-Laurent (SOUCY et SÉRODES, 1975)



Note: Des signes identiques indiquent des distributions de particules ayant même mode et même forme.

Figure 41. Position des échantillons de sédiments prélevés les 7 et 8 juillet 1975
(SOUCY et al, 1976)

particules atteint 15 à 20 μm , comparativement à 7 μm en septembre et à 1 μm en février. Les variations spatiales de la taille des particules amènent ces auteurs à reconnaître 3 zones, définies en fonction de la salinité: 1) 0-3‰: les particules sont assez grandes, mais celles dépassant 15 μm semblent rapidement détruites au profit de plus petites (Fig. 42A,B); 2) 3-10‰: la taille moyenne des particules tend à augmenter, suite aux effets d'un processus de coagulation consécutif au contact des suspensoides avec des eaux plus salées; 3) >10 ‰: cette dernière distinction n'est pas fondée sur la taille des particules, mais plutôt sur leur distribution à l'intérieur du spectre des tailles (Fig. 42C,D). On signale enfin un dernier type de distribution, dont le mode se situe aux environs de 8 μm (particules situées entre Sault-au-Cochon et l'Ile aux Coudres). La salinité ne fournit qu'une explication partielle aux variations de la taille (Soucy et al, 1976).

Les résultats de Cossa et Poulet (1978), présentés à la figure 43 fournissent des indications intéressantes sur la distribution longitudinale et bathymétrique de la taille des suspensoides (ces données ont été obtenues à partir d'un seul transect, du côté nord de l'estuaire). Les auteurs distinguent trois grandes zones caractérisées par des spectres de distribution des différentes tailles.

4.1.2 La géologie

L'estuaire du St-Laurent s'étend le long de la zone de jonction entre les roches Cambro-Ordoviciennes des Appalaches et la plate-forme Précambrienne du Bouclier Canadien (Figure 44). Les roches Cambro-Ordoviciennes (Paléozoïques) sont d'origine sédimentaire et composées de schistes, grès et calcaires. Les roches Précambriennes (pré-Paléozoïques) de la rive nord sont d'origine ignée et métamorphique; ce sont surtout des granites, granodiorites, anorthosites, gneiss et schistes (Loring et Nota, 1973). Au niveau du lit de l'estuaire, les roches

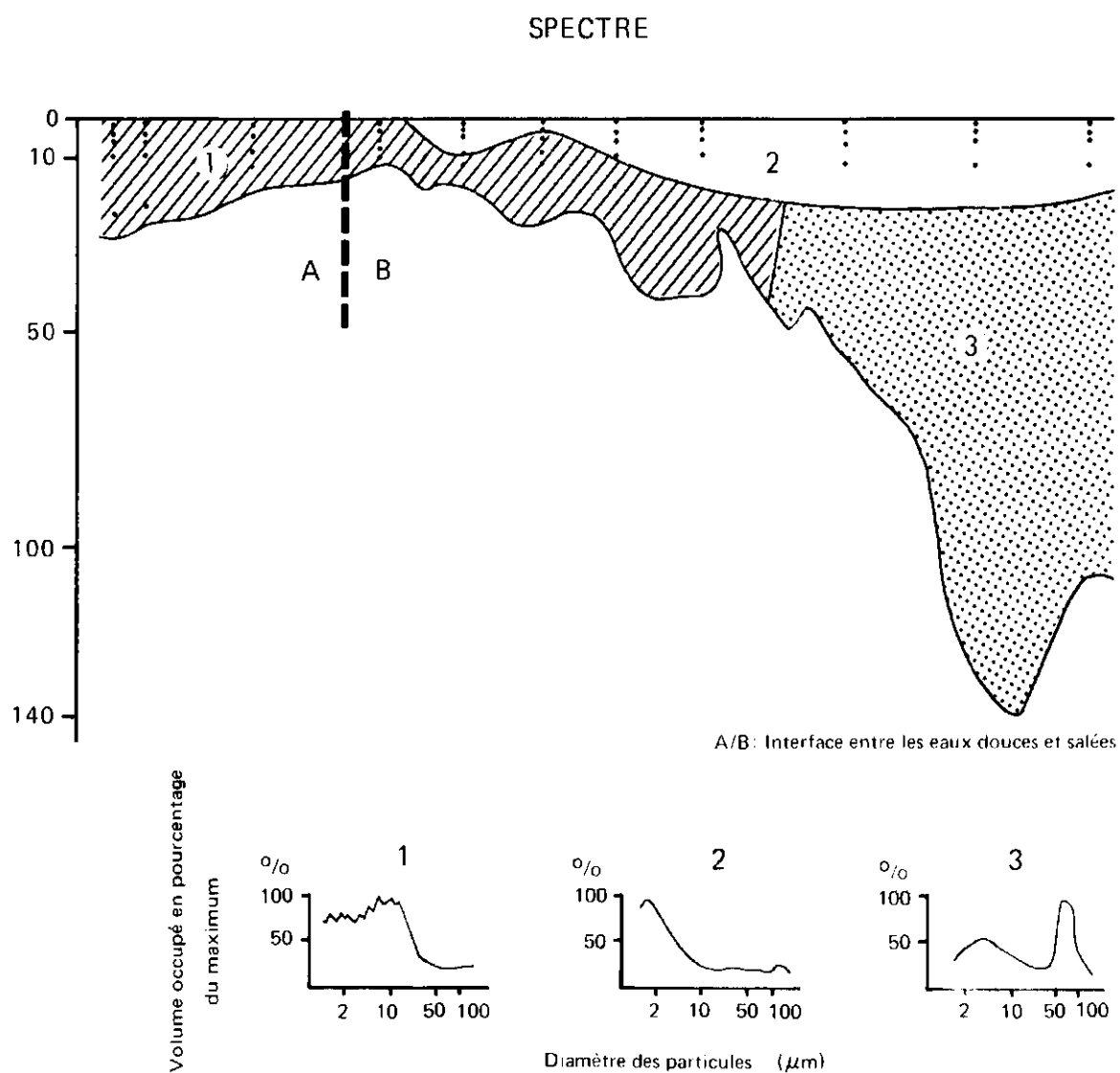


Figure 43. Variation de la taille des suspensoides dans l'estuaire moyen (COSSA et POULET, 1978)

Précambriennes sont recouvertes de roches sédimentaires de l'Ordovicien moyen, peu plissées, et reposant en couches horizontales (Figure 45). La zone de contact de ces roches avec d'autres roches sédimentaires de l'Ordovicien, mais considérablement plissées celles-là, donne lieu à la formation de la faille de Logan (Figure 45).

Les études de Simard (1971), dans la région s'étendant entre l'Ile aux Coudres et l'Ile d'Orléans, révèlent une rochemère de surface très irrégulière, se retrouvant entre 12 et 160m sous le niveau de la mer. Cette roche est recouverte de till glaciaire pouvant aller jusqu'à 10 mètres d'épaisseur, ce till étant lui-même recouvert de sédiments de la mer de Champlain. L'historique de la déposition des sédiments glaciaires a été résumé par Brisebois (1976). L'épisode de la mer de Champlain correspond à un envahissement marin de la vallée du St-Laurent (Figure 46), qui commença il y a environ 12,000 ans et dura 2500 ans. Cette période vit la déposition de boues bleuâtres dont l'épaisseur est la plus grande dans les parties centrales de l'estuaire; ces boues ne dépassent 30m qu'en amont de l'Ile aux Lièvres (Figure 47). En règle générale cependant, leur épaisseur varie entre 10 et 30 m (d'Anglejan et Brisebois, 1974).

Certaines zones caractérisées par d'importants dépôts de sable et de forts courants de marées sont le lieu de formation de dunes et de rides (d'Anglejan, 1971). D'Anglejan (1971) signale leur importance, les trains de dunes pouvant s'étendre sur 4 à 5 km près de Cap Brûlé et sur 18 km au nord de l'Ile aux Coudres. La longueur d'onde entre les dunes est d'environ 60m dans la région de Cap Brûlé, leur hauteur se situant entre 6 et 8m; l'amplitude diminue progressivement vers l'aval, d'Anglejan (1971) parlant alors de rides se retrouvant de Cap Maillard à l'Ile aux Coudres. Les dunes situées au nord de l'Ile aux Coudres peuvent être distantes de 120m, leur hauteur variant entre 5 et 12m.

Signalons finalement le rôle joué par les glaces annuelles dans le transport des sédiments des rives vers le lit de l'estuaire (Dionne, 1970, 1979). Bien que ce mécanisme se confîne à une courte période annuelle (une ou deux semaines), il pourrait, selon Dionne (1969), être responsable du transport de plusieurs millions de tonnes de sédiments.

4.2 La géochimie des sédiments de fond

Pour ce chapitre, la majeure partie de l'information provient du travail de Soucy et Sérodes (1975). Notons toutefois que ces travaux étaient beaucoup plus orientés vers une étude de la qualité des sédiments que des différents processus naturels auxquels ils sont soumis (processus géochimiques à proprement parler).

Soucy et Sérodes (1975) observent que la teneur en zinc n'est pas la même selon la taille des particules auxquelles ce métal est associé: le zinc se retrouve dans la partie fine des sédiments. Toutefois, la concentration moyenne, pour le tronçon Québec-Trois-Pistoles, est voisine de la teneur naturelle. Bien que les déterminations de Cadmium n'aient été faites que pour les échantillons montrant des valeurs en zinc élevées, le rapport Cd/Zn se rapproche sensiblement des valeurs observées en conditions naturelles. Les sédiments présentant des concentrations en cuivre et en plomb les plus élevées sont également caractérisées par les concentrations en zinc les plus grandes; le contenu en cuivre et plomb des sédiments semblerait cependant faible. Pour ce qui est du mercure, les auteurs distinguent trois classes de résultats, selon que la concentration soit près de la teneur naturelle de .5 ppm (la majorité des cas), légèrement supérieure à .7 ppm (dans les zones de sédimentation préférentielle), ou bien nettement supérieure à .7 ppm (près de l'embouchure de la rivière St-Charles et près de Beaupré). La géochimie du mercure dans le système du St-Laurent a été étudiée à fond par Loring (1973); toutefois, son intérêt s'est porté surtout sur le Saguenay, l'estuaire maritime et le golfe, l'estuaire moyen étant plutôt négligé. Quoiqu'il en soit, la figure 48 donne certaines indications sur

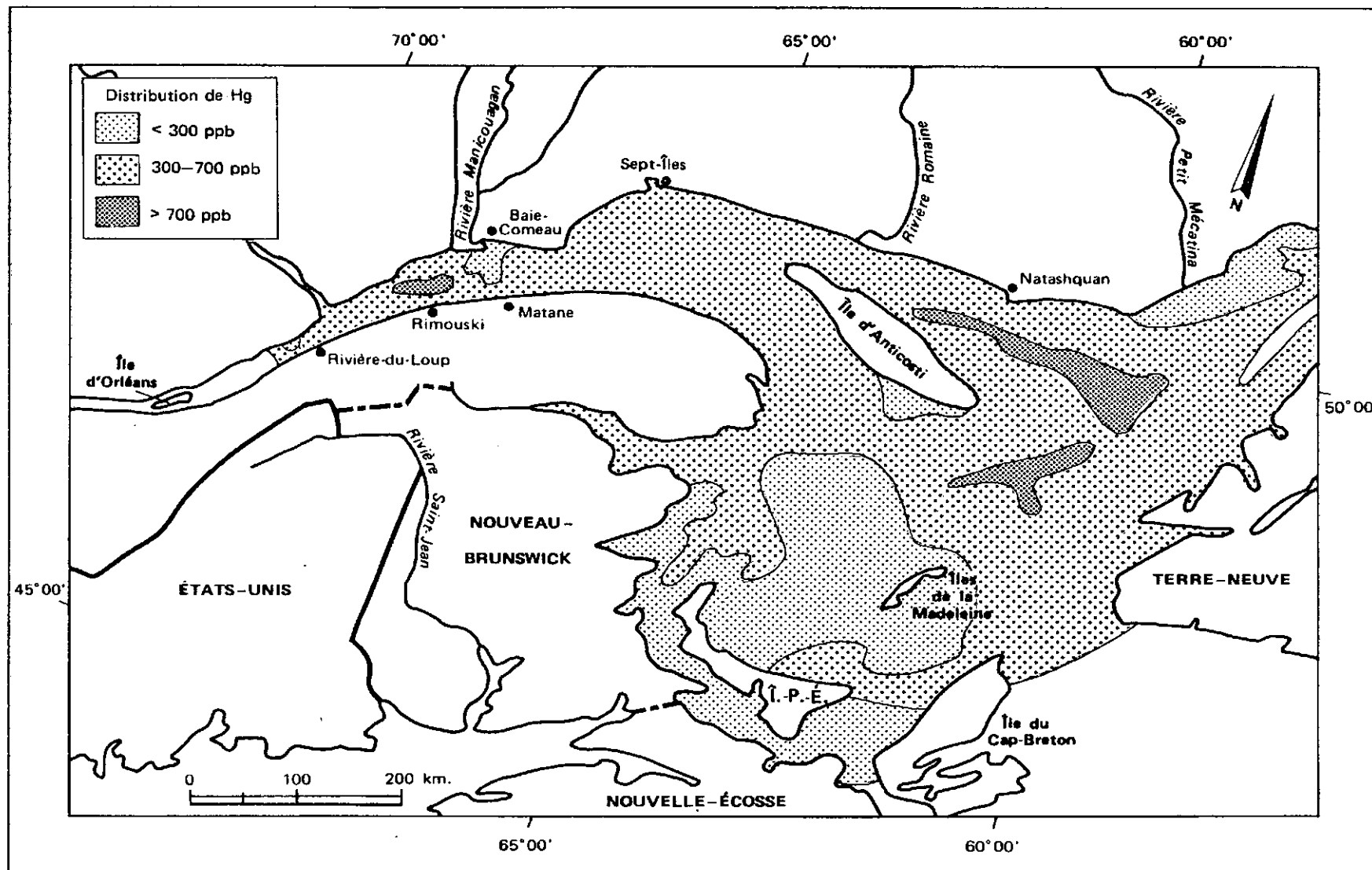


Figure 48. Distribution de mercure total dans les sédiments de surface du golfe Saint-Laurent (1000 ppb = 1 ppm) (LORING, 1975)

la distribution spatiale de la teneur en mercure des sédiments superficiels de l'estuaire moyen (et du reste du système en général) et confirme les valeurs obtenues par Soucy et Sérodes (1975).

Les quantités totales de phosphore varient de 300 à 2000 mg/kg, la teneur augmentant avec la finesse et le contenu en matières organiques des sédiments (Soucy et Sérodes, 1975). Le phosphore minéral, lui aussi important dans sa contribution au phosphore total, provient principalement de la fraction rattachée au calcium libre, sous forme de carbonato-apatites. La matière organique est le facteur contribuant le plus à la capacité d'échange cationique. La capacité d'absorption du phosphore par les sédiments dépendrait surtout, selon Soucy et Sérodes (1975), des carbonates libres et/ou du calcium échangeable, ainsi que de la granulométrie. Cescàs et Pierre (1977) observent de leur côté que l'adsorption du phosphore serait liée, en ordre d'importance décroissante, à la granulométrie (dont dépend la surface de réaction), à la proportion d'argile présente, aux oxydes et/ou aux hydroxydes de fer, au pourcentage de matières organiques, aux oxydes et/ou aux hydroxydes d'aluminium, et finalement aux carbonates.

Les concentrations en matières humiques sont les plus fortes dans les zones de sédimentation, les régions d'érosion étant caractérisées par des valeurs très faibles. L'importance de la matière humique est inversement corrélée à la proportion de sable; toutefois, la fraction fulvique est d'autant plus faible que les sédiments sont fins (Soucy et Sérodes, 1975). Le carbone minéral semble très faible par rapport au carbone organique et le rapport C/N est de l'ordre de 13 (Soucy et Sérodes, 1975).

L'étude minéralogique des sables amènent Nota et Loring (1964) à conclure que les sables de l'estuaire proviendraient principalement du Bouclier Canadien, la fraction lourde de ces sables se caractérisant par des quantités importantes de

hornblendes, pyroxènes et de grenats et de très faibles quantités de minéraux stables. Une fraction légère serait composée surtout de plagioclase (41%), de quartz (34%) et de feldspath de potasse (16%) (Nota et Loring, 1964). Le tableau 12 indique les résultats obtenus par Soucy et Sérodes (1975) pour la fraction sableuse ($> 63 \mu\text{m}$) des sédiments.

Les éléments mesurant 2 à $63 \mu\text{m}$ sont composés surtout de quartz et de feldspaths, accompagnés d'amphiboles, de calcite (CaCO_3), de minéraux argileux (hydrobiotite, illite, chlorite) et de faibles quantités de magnétite. Nota et Loring (1964) ont étudié le contenu calcique des sédiments sans trop faire la distinction entre les différentes régions. La figure 49 permet toutefois une certaine discrimination entre l'estuaire et d'autres sections du système. La géochimie du calcium a également reçu une certaine attention (Nota et Loring, 1964).

Les sédiments les plus fins ($< 2 \mu\text{m}$) affichent 4 composantes importantes, soit l'illite, la chlorite et deux autres appelés les "interstratifiés 10-14 Å" et les "interstratifiés 14-18 Å". L'illite et la chlorite sont les plus abondants. Les échantillons de cette fraction contiennent aussi du quartz, des feldspaths et des amphiboles.

Packlington et Leonard (1979) ont démontré que malgré la grande variation du ratio C:N dans l'estuaire, cette variation s'atténue lorsqu'on s'approche du golfe. Ils ont aussi mis en évidence une corrélation entre ce ratio C:N, la lignine, la salinité et d'autres paramètres océanographiques.

4.3 La géochimie des suspensoides et de la phase dissoute

L'exposé de Khalil et Arnac (1975) rassemble nombre d'informations pertinentes à la géochimie des suspensoides et des matières en solution dans le Saint-Laurent, quoique l'accent ait été porté sur l'estuaire maritime et le golfe. Ceci est fort compréhensible, puisqu'à notre connaissance, quelques travaux seulement ont été centrés sur l'estuaire moyen.

Tableau 12. Composition des sédiments sableux
(Soucy et Sérodes, 1975)

Densité	Composition	Pourcentage
<2.96	Quartz	≈ 45%
	Plagioclases	≈ 25%
	Feldspaths potassiques	≈ 20%
>2.96	Pyroxènes-Amphiboles	≈ 3%
	Grenats	≈ 3%
	Micas	≈ 1%
	Apatite	≈ 0.1%

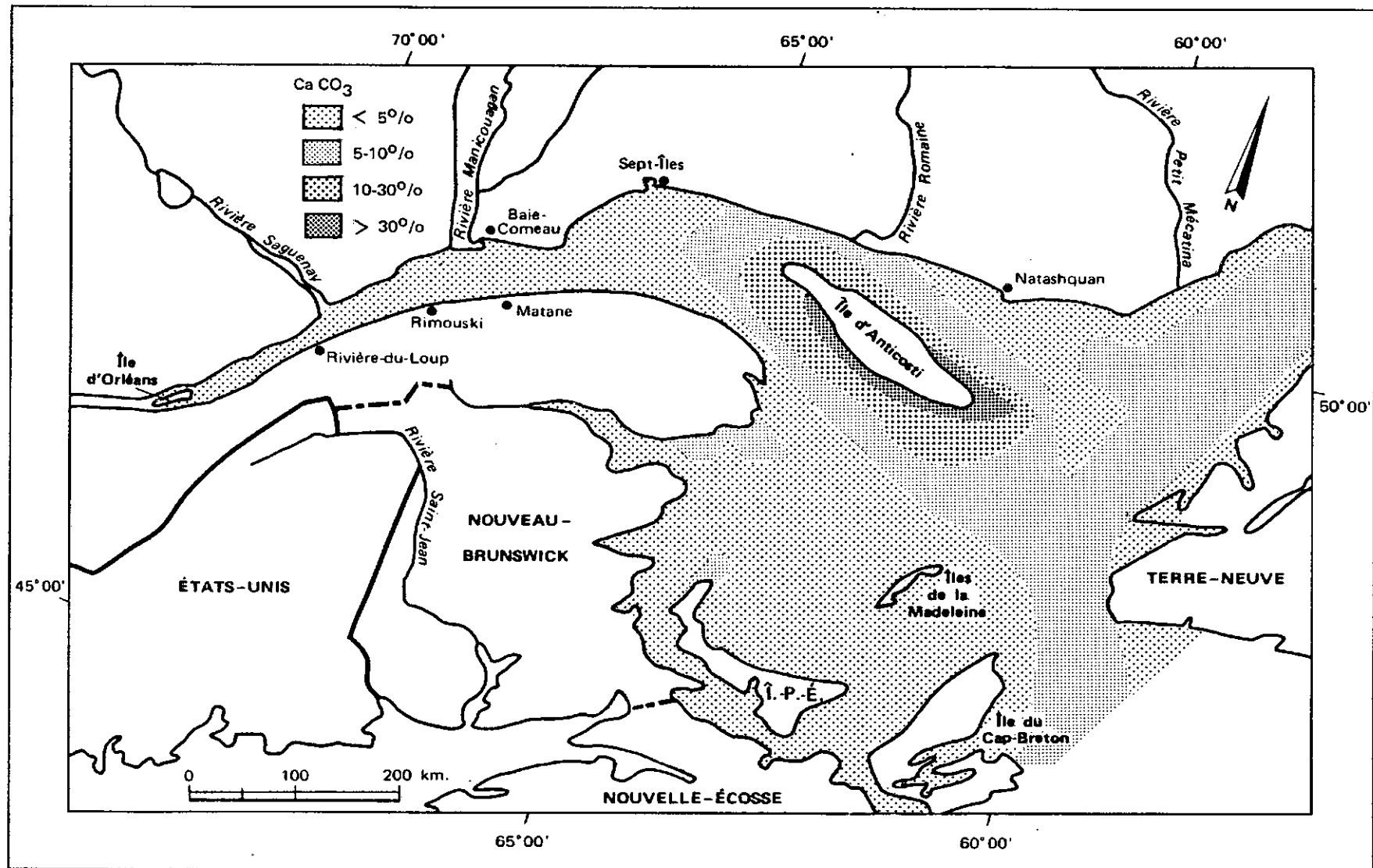


Figure 49. Distribution du CaCO_3 dans les sédiments superficiels
(LORING et NOTA, 1973)

Ces travaux traitent tant des métaux traces (Bewers et Yeats(1979), Hoff (1979)), que du matériel particulier en suspension (Hoff (1979), Krank (1979), Gobeil (1979)), de questions relatives au CO_2 (Khalil et Roy (1979), Pelletier et Lebel(1979), Strain et Tan (1979)) et de relations entre la chlorinité, la salinité et la densité (Lebel et Poisson, 1979); les présentes distinctions sont évidemment arbitraires, certains de ces sujets étant étroitement reliés entre eux.

Selon l'état actuel des connaissances, l'illite et la chlorite seraient les minéraux argileux les plus abondants (Soucy et Sérodes, 1975; d'Anglejan et al, 1974; Subramanian et d'Anglejan, 1976). D'autres minéraux présents sont la plagioclase, le potassium, le feldspath, le quartz et de petites quantités de kaolite. D'Anglejan et Smith (1973) ont indiqué en valeurs relatives l'importance de quelques-uns de ces constituants(Tableau 13). Le tableau 14 permet une certaine comparaison de la composition chimique moyenne et de la teneur en éléments-traces des suspensions de l'estuaire moyen avec celle des sédiments. Un caractère marquant de cette représentation est la divergence des résultats pour les éléments traces, alors que les autres éléments affichent des concentrations très voisines.

Le tableau 15 indique l'évolution longitudinale de la composition des suspensions selon leur position dans l'estuaire moyen. D'autres travaux ont permis une représentation plus détaillée des tendances impliquées: les concentrations de zinc et de plomb suivent un profil longitudinal décroissant (Figure 50) (Cossa et Poulet, 1978). Selon Soucy et Sérodes (1975), la coagulation des particules et leur sédimentation subséquente pourrait expliquer le phénomène; cependant, Cossa et Poulet (1978) concluent que l'évolution des concentrations de métaux ne semble pas se faire parallèlement à l'évolution de la taille des particules, conclusion qui s'applique également au cadmium et au manganèse. L'évolution du fer et du manganèse, dont le comportement est très lié dans les parties dulcicoles du système Saint-Laurent (Figure 51) (Subramanian et d'Anglejan, 1976), diverge au niveau des eaux estuariennes: si la distribution du manganèse est apparemment reliée à la salinité (Figure 51) (Subramanian et d'Anglejan, 1976), il n'en est pas de même pour le fer. La fig.51 fait apparaître

Tableau 13. Composition argileuse de la fraction $<2\mu\text{m}$
des suspensions de l'estuaire du St-Laurent
(d'Anglejan et Smith, 1973)

Localisation	Composition				
		% Montmor- illonite	% Kaolinite	% Chlorite	% Illite
Haut estuaire	intervalle	0-2	0-4	8-46	54-91
	moyenne	trace	1.5	34	64
Bas estuaire	intervalle	0-5	1-40	4-71	26-80
	moyenne	2	14	32	52
Total	intervalle	0-5	0-40	4-71	26-91
	moyenne	1.5	9	32	57

Tableau 14. Composition élémentaire moyenne des suspensions
et des sédiments de l'estuaire du St-Laurent
(d'Anglejan et al., 1974)

	Eléments majeurs (en % du poids)							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	CaO	MgO	TiO_2	K_2O
Suspensoides	54.6	14.8	6.93	4.08	3.21	3.07	1.30	1.89
Sédiments	54.9	16.5	7.02	3.27	3.37	2.92	1.25	1.93

	Eléments-traces (en ppm; sauf Hg en ppb)						
	Cr	Co	Cu	Ni	Mn	Zn	Hg(ppb)
Suspensoides	239	396	112	143	596	385	738
Sédiments	107	63	93	39	789	191	382

Tableau 15. Composition chimique des suspensions
du Saint-Laurent
(d'Anglejan et Smith, 1973)

Localisation	Composition								
		%CaO	%K ₂ O	%Na ₂ O	%MgO	%TiO ₂	%Fe ₂ O ₃	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃
Haut estuaire		2.75	2.29	2.70	3.93	1.05	5.69	38.5	10.8
	intervalle	à	à	à	à	à	à	à	à
		8.74	3.73	7.95	6.70	1.66	8.09	62.0	16.2
	moyenne	4.14	3.09	4.80	4.77	1.39	7.27	53.0	14.2
Bas estuaire		2.10	2.71	1.36	2.85	.89	5.69	38.5	10.8
	intervalle	à	à	à	à	à	à	à	à
		3.13	3.49	5.24	6.02	1.55	7.57	64.2	17.5
	moyenne	2.50	3.05	2.31	3.55	1.23	6.66	55.7	15.2

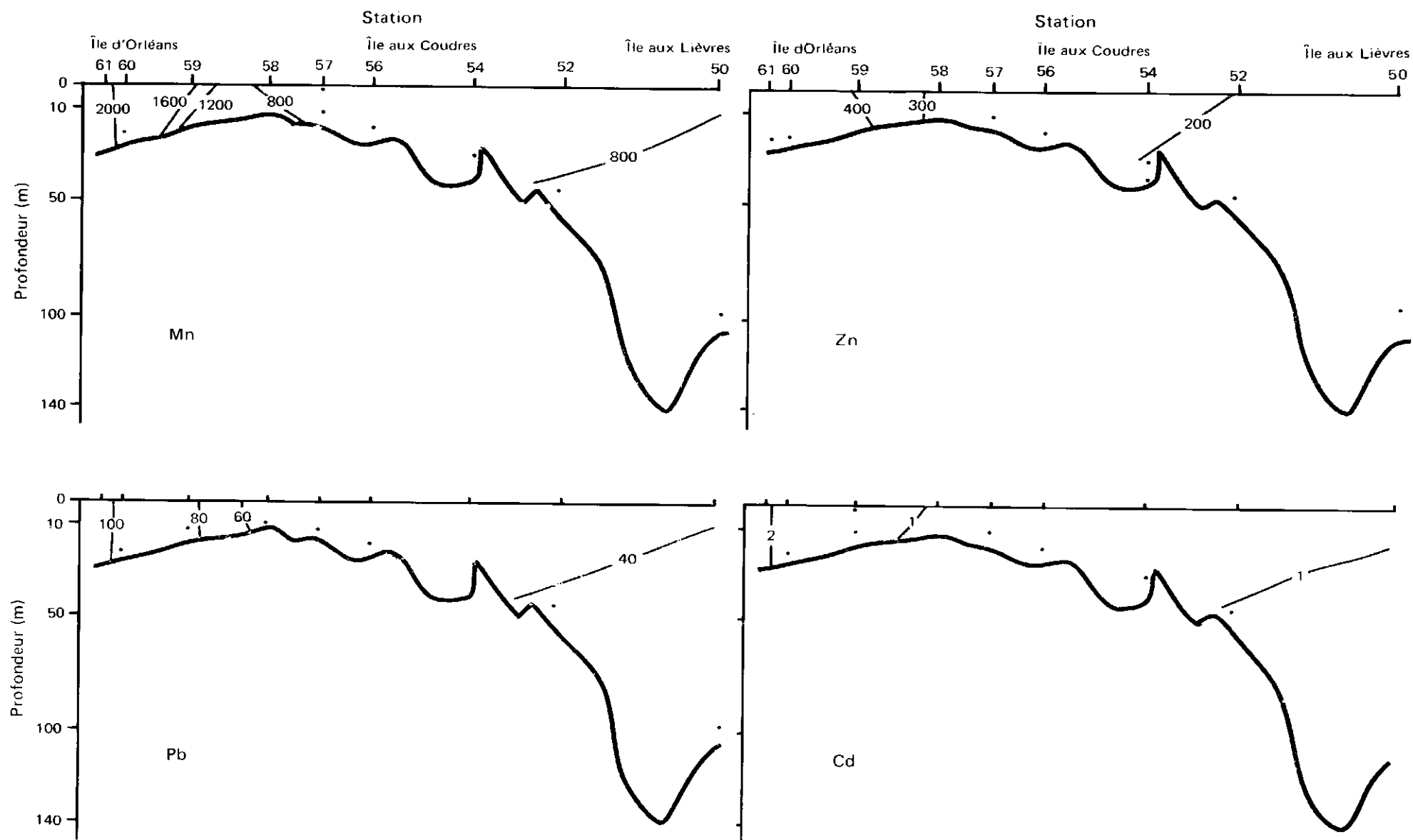


Figure 50. Variations des concentrations de manganèse, zinc, cadmium et plomb ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dans les particules du haut estuaire du Saint-Laurent (COSSA et POULET, 1978)

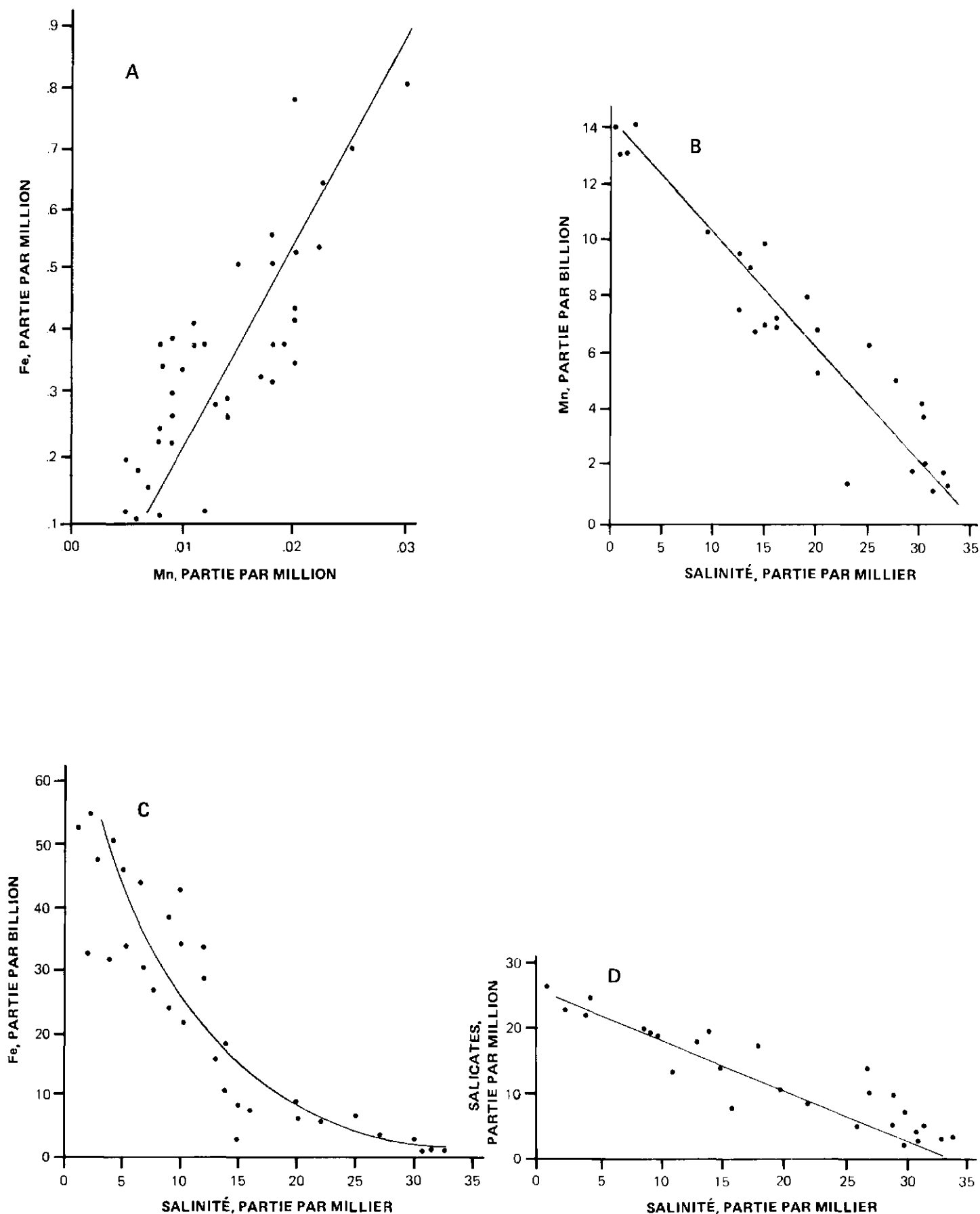


Figure 51. A) Relation entre le fer total dissous et le manganèse dans l'estuaire du Saint-Laurent
 B) Variation du manganèse avec la salinité
 C) Variation du fer total dissous avec la salinité
 D) Variation de la silice dissoute avec la salinité
 (SUBRAMANIAN et D'ANGLEJAN, 1976)

tre une rupture de pente dans la relation entre la concentration en fer et la salinité, rupture qui semble se produire aux environs de 17 ‰, une valeur proche de la salinité moyenne des eaux associée au maximum de turbidité estuarienne. Les auteurs soupçonnent que la précipitation des hydroxydes de fer, suite à leur coagulation, soit responsable de la rupture de pente observée à la Figure 51. Par ailleurs, s'ils parlent d'absence de gradient longitudinal régulier pour le cobalt, le nickel et le zinc, ils n'en observent pas moins des concentrations environ 5 fois plus grandes dans les eaux douces que dans l'estuaire maritime (Tableau 16).

Les silicates suivent un gradient longitudinal décroissant avec la salinité (Subramanian & d'Anglejan, 1976) et passent de 25 à 2 ppm dans l'estuaire maritime (Figure 51); on n'y observe pas de gradient vertical. Le comportement des silicates suggère un rôle peu important de l'activité biologique dans la diminution des concentrations en Si.

Le travail d'Arnac (1976), dont une seule station était située dans l'estuaire moyen (Figure 52), met en évidence, pour l'ensemble des stations, des variations saisonnières des concentrations de cuivre et de plomb, mais non de cadmium (Figure 53). Le maximum observé en mai est attribué à l'apport des eaux de fonte des neiges et des glaces, alors que le minimum de juillet pourrait s'expliquer par l'activité biologique (Arnac, 1976). On pourra toutefois observer que la station située dans l'estuaire moyen (station 2) affiche des concentrations en cuivre différentes de celles des autres stations (Figure 53). Pelletier et Lebel (1978) ont étudié le comportement du bore dans l'estuaire. Les variations de concentrations montrent des anomalies négatives faibles, liées à deux zones distinctes, possiblement caractérisées par des mécanismes d'adsorption différents. D'autre part, les anomalies positives sporadiques observées dans la zone de turbidité s'expliqueraient par un mécanisme de désorption du bore précédemment adsorbé sur l'illite (Pelletier et Lebel, 1978).

Tableau 16. Concentration en métaux traces
dans les eaux du fleuve et de
l'estuaire du Saint-Laurent
(Subramanian et d'Anglejan, 1976)

Type d'eau	Intervalle de valeur (en ppb)		
	Co	Zn	Ni
Eau fraîche	8.5-6.5	32.5-29.2	6.9-3.2
Haut estuaire			
eau saumâtre	7.2-2.5	30.1-21.8	2.9-1.2
eau salée	3.1-1.9	15.8-6.9	1.5*
Bas estuaire	1.5*	7.9-3.5	1.5

* La limite inférieure pour Co et Ni est en dehors
du champ de détection.

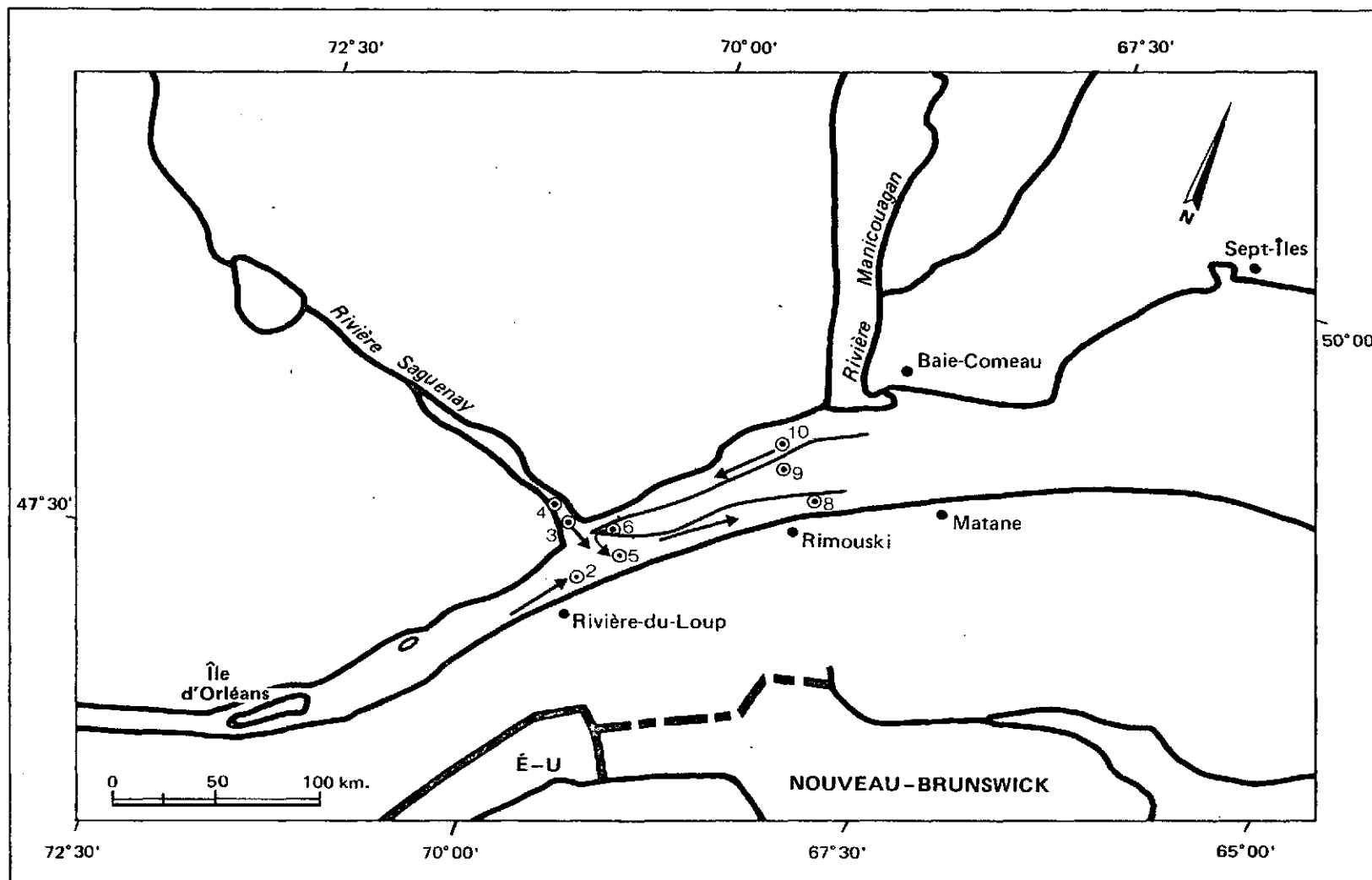
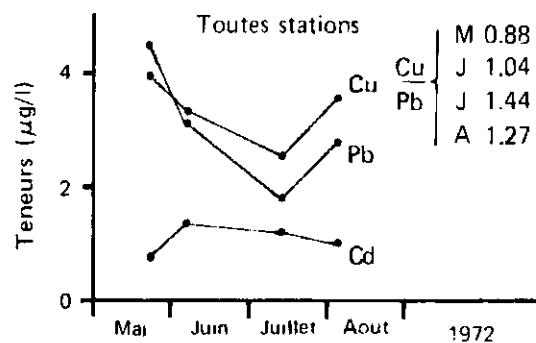
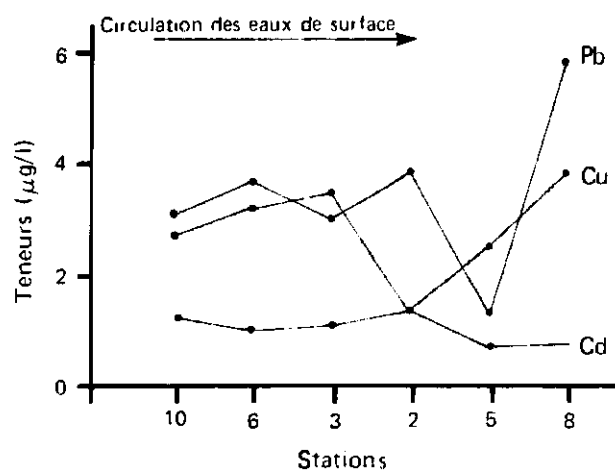


Figure 52. Emplacement des stations d'échantillonnage pour le Cu, le Pb et le Cd (ARNAC, 1974)



A) teneurs mensuelles au cours de l'été 1972



B) teneurs estivales selon les stations d'échantillonnage

Figure 53. Variations des teneurs moyennes en Cu, Pb et Cd (ARNAC, 1974)

Le carbone total constitue environ 4% des suspensoïdes analysés (Soucy et Sérodes, 1975); d'Anglejan et Smith, (1973) observent de leur côté que "de 60 à plus de 90% du poids de la matière en suspension est d'origine inorganique". D'autre part, Khalil et Roy (1979) trouvent que le carbone organique et le carbone inorganique affichent une relation inverse entre eux. La Figure 54 représente l'évolution longitudinale du carbone particulaire total, telle qu'observée par Soucy et Sérodes (1975); ce profil coïncide avec l'évolution des concentrations de cellules phytoplanctoniques.

Les matières humiques, qui varient entre 2000 et 5000 mg kg⁻¹, montrent des concentrations plus grandes que dans les sédiments; les acides fubriques constituent de 70 à 82% de la matière humique (Soucy et Sérodes, 1975). Les relations entre la composition des sédiments et celle des suspensoïdes ont également été abordées par Subramanian et d'Anglejan (1976), qui discutent de plus de la possibilité de prédire la composition minérale des eaux à partir de leur activité ionique.

4.4 La dynamique des sédiments et des suspensoïdes

La charge du Saint-Laurent est très faible. Le Saint-Laurent transporte 10,700 tonnes par jour de matières en suspension (Loring et NOna, 1978). Cela signifie qu'environ 4 millions de tonnes (5 millions de tonnes selon Frenette et Larinier, 1973) de matières en suspension pénètrent dans l'estuaire moyen annuellement. Ces chiffres sont intéressants à confronter avec ceux de d'Anglejan et Smith (1973). Ceux-ci estiment qu'environ .5 à .6 million de tonnes métriques seulement quittent l'estuaire moyen pour l'estuaire maritime. Ces auteurs insistent toutefois sur le caractère conservateur de leur estimé. C'est donc dire, à prime abord, que l'estuaire serait une zone de déposition et d'accumulation de sédiments. Or d'Anglejan et Brisebois (1978) concluent que les conditions prévalant dans l'estuaire moyen seraient actuellement peu propices à la sédimentation, sauf en certaines zones situées le

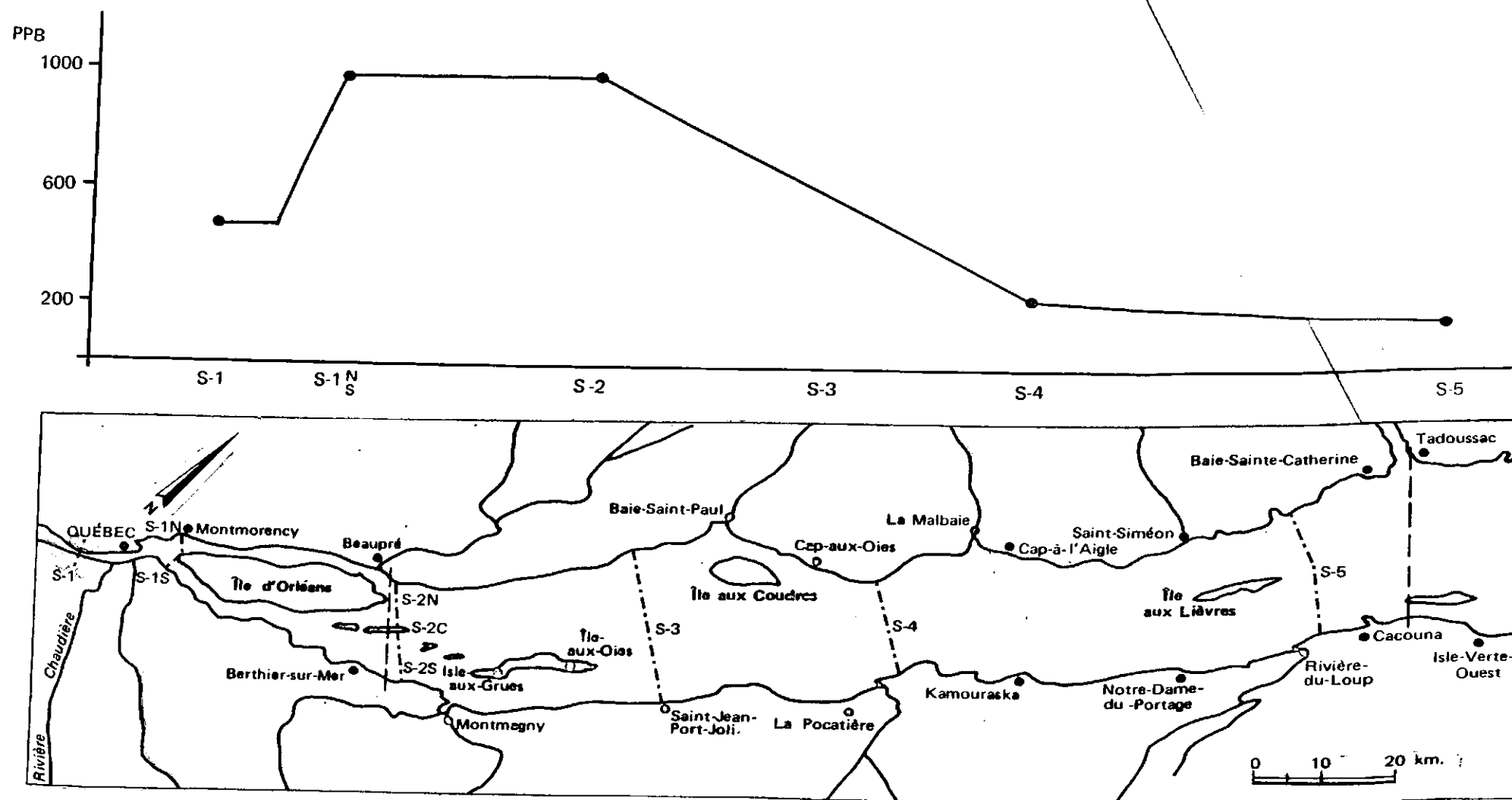


Figure 54. Carbone total particulaire (mg/m^3) (ppb)
(marée basse-automne 1974)
(SOUCY et SÉRODES, 1975)

long de la rive sud. Ces régions ont été identifiées par Soucy et Sérodes (1975) (Figures 55, 56). Ce processus de déposition ne serait pas permanent, étant interrompu par l'action antagoniste des glaces qui prennent en charge d'importantes quantités de sédiments après avoir protégé les estrans pendant leur séjour annuel (Dionne, 1969a, 1969b, 1979). L'action des glaces impose également aux estrans, les estrans meubles en particulier, un remodelage annuel de leur physionomie (Dionne, 1969a, 1979).

La dynamique des suspensoides est liée à l'évolution de leur taille au cours de leur voyage vers l'aval, ainsi qu'aux conditions hydrodynamiques. La conjonction de ces phénomènes donne lieu à la formation d'une zone de turbidité maximale, processus qui est décrit succinctement par Soucy et Al (1976): "En résumé, les particules en suspension, atteignant la pointe amont de l'intrusion saline, coagulent, puis sédimentent. Elles peuvent alors être reprises par l'écoulement de fond à prédominance amont, être remontées à la surface lors des mélanges verticaux et être à nouveau recyclées par l'écoulement de surface à prédominance aval. Ces mécanismes se combinent pour former un véritable "piège à sédiments" (Allen, 1973) et ont pour conséquence une accumulation locale des suspensions à proximité du point nodal des vitesses résiduelles". On trouvera un exposé plus élaboré sur cette question dans Soucy et Sérodes (1975).

Le "bouchon de turbidité" ainsi formé se manifeste par une augmentation graduelle, à partir de l'Ile d'Orléans, de la quantité des suspensoides. Les concentrations culminent entre l'Ile d'Orléans et Pointe-aux-Orignaux (Figure 57). L'enveloppe des valeurs obtenues lors des différentes campagnes du CENTREAU est représentée à la Figure 58. Les valeurs observées oscillent, dans la région de forte turbidité, entre 30 et 70 mg l^{-1} . Ingram et d'Anglejan (1977) font état de valeurs oscillant entre 30 et 50 mg l^{-1} , avec des valeurs extrêmes de l'ordre de 200 mg l^{-1} . En période de crue, les

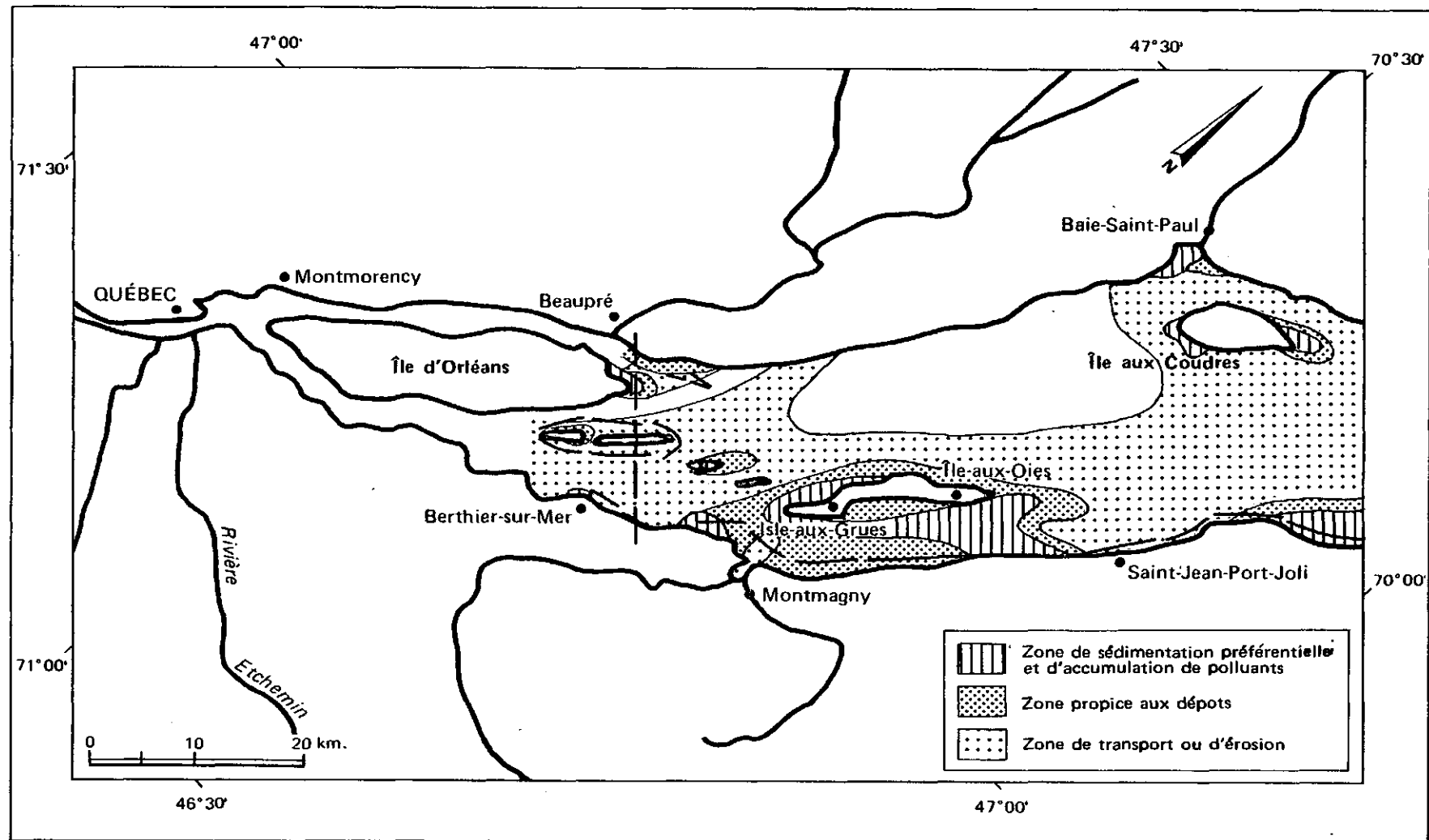


Figure 55. Cartographie des zones de sédimentation
(SOUCY et SÉRODES, 1975)

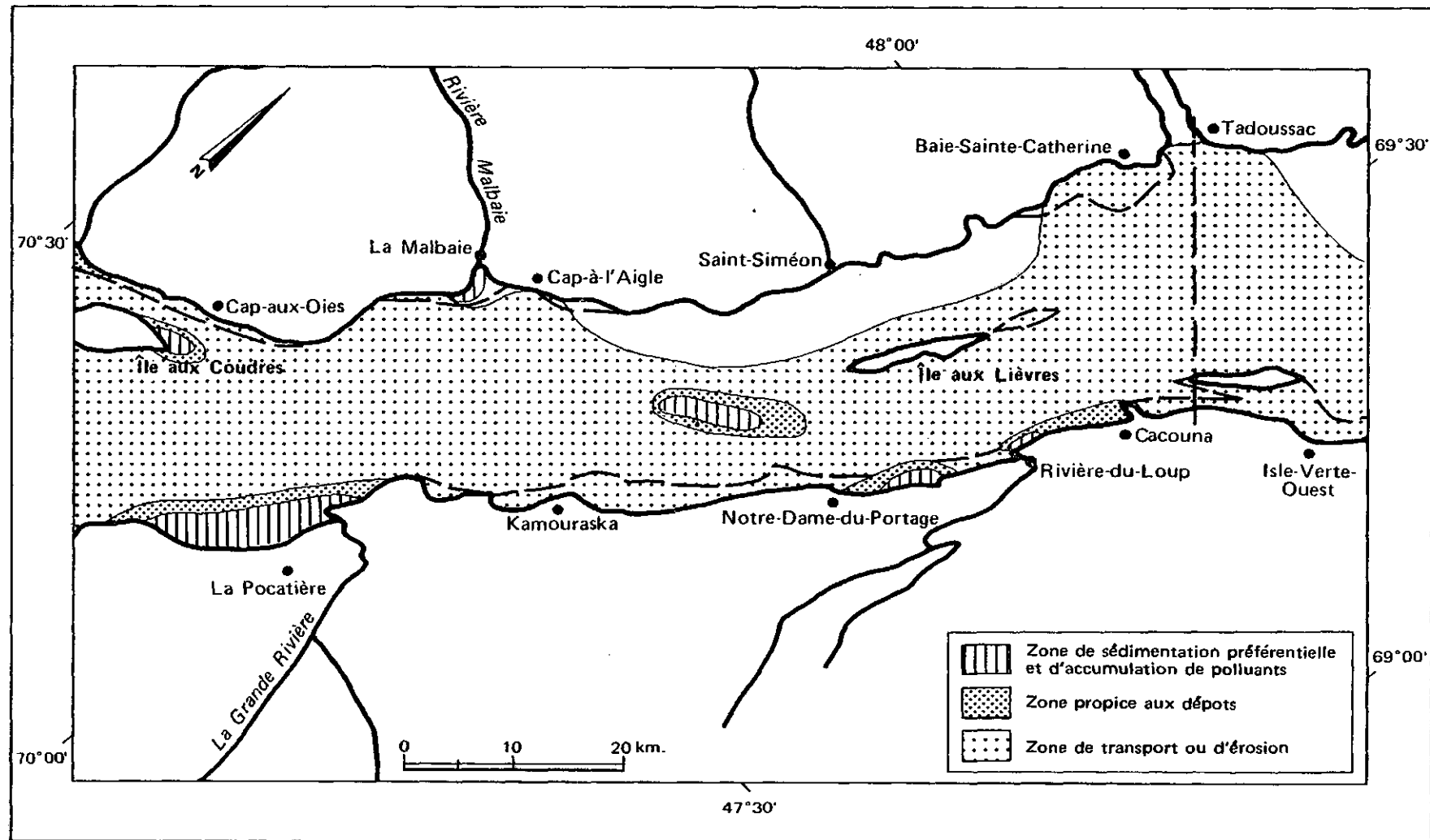


Figure 56. Cartographie des zones de sédimentation (suite)
(SOUCY et SÉRODES, 1975)

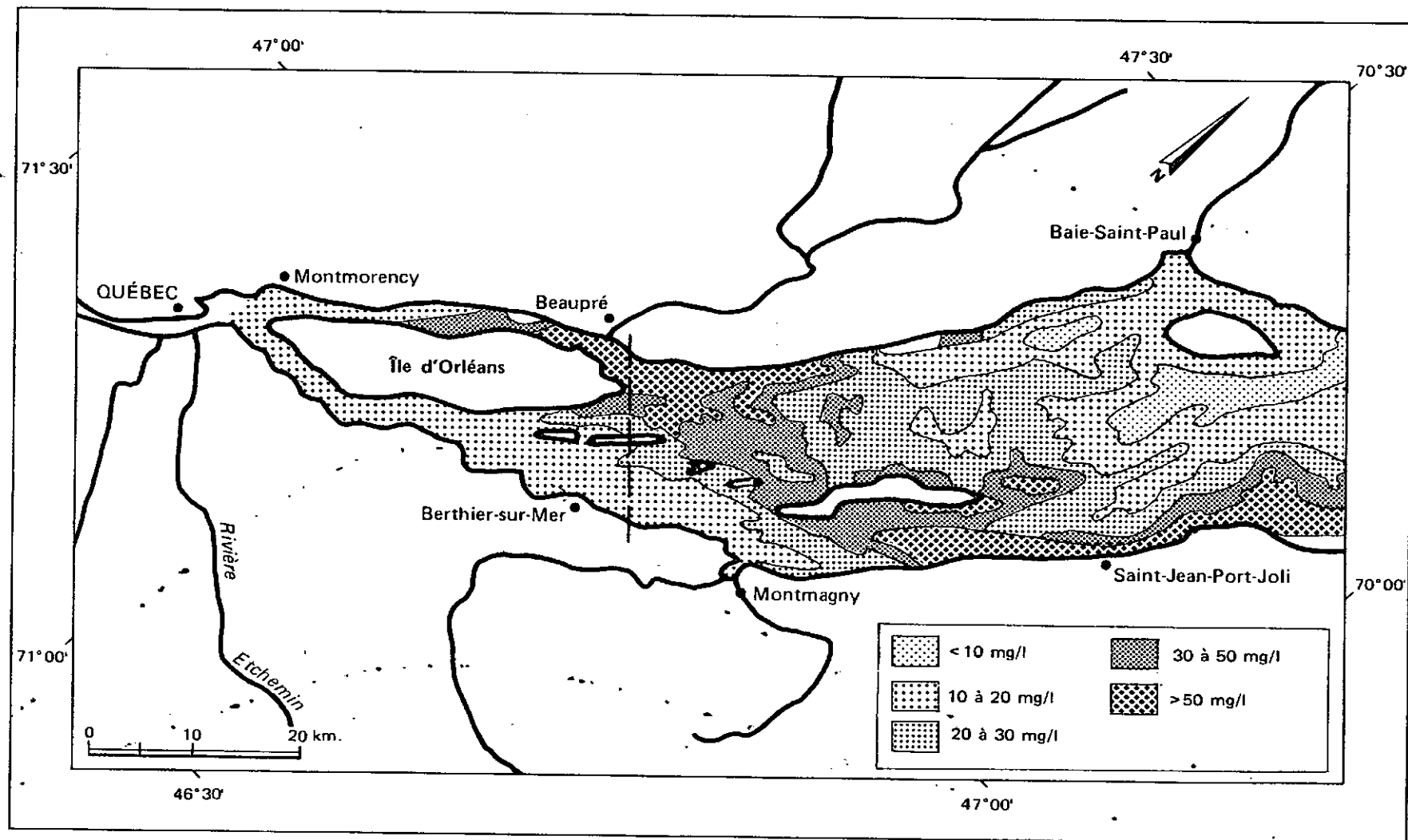


Figure 57. Distribution des suspensoides dans l'estuaire moyen
(SOUCY et al , 1976)

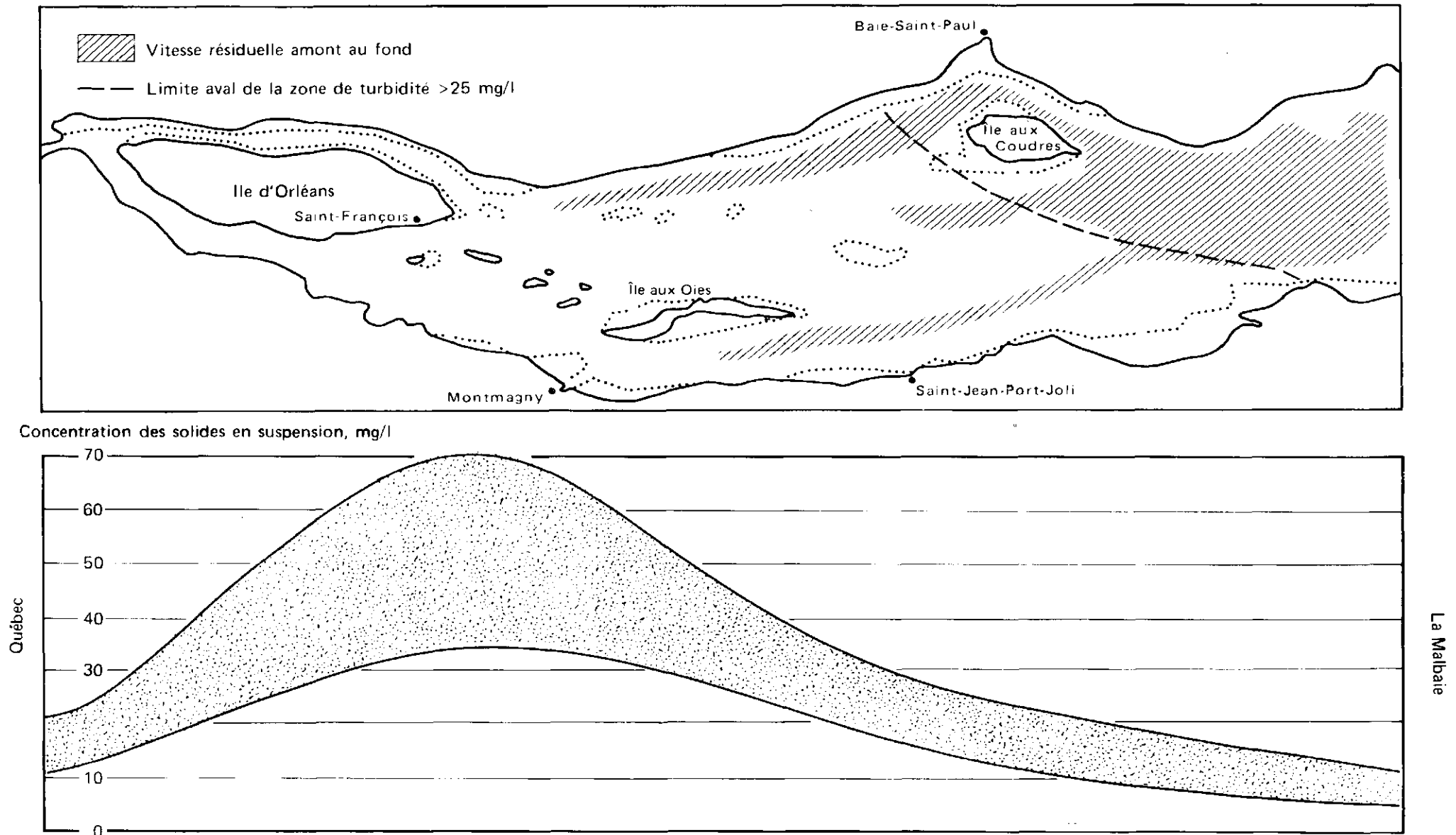


Figure 58. Enveloppe des valeurs de turbidité observées par le CENTREAU (SOUCY et SÉRODES, 1975)

concentrations en suspensoides pourraient atteindre 480 mg l^{-1} (communication personnelle de B. Sundby à Pelletier et Lebel, 1978). La turbidité des eaux affiche un fort gradient nord-sud (Figures 57 et 58), et décroît très rapidement en aval de l'Île aux Coudres, pour atteindre, au niveau du Saguenay, des valeurs voisines de celles de l'estuaire maritime et du golfe (d'Anglejan et Smith, 1973). Cette diminution est si abrupte que d'Anglejan et Smith (1973) parlent même d'un "front de turbidité", caractérisé par des gradients latéraux variant en position et en intensité en fonction du temps.

La distribution de la turbidité en fonction de la profondeur peut être visualisée à la Figure 59 (Cossa et Poulet, 1978); cette représentation ne correspond cependant qu'à un seul transect, effectué du côté nord.

La dynamique des suspensoides a reçu une attention toute particulière de d'Anglejan et Ingram (1976) et d'Ingram et d'Anglejan (1977). Leurs résultats montrent que pour les stations situées dans la région de La Malbaie, la concentration des suspensoides à une profondeur donnée varie sur une fréquence semi-diurne, les concentrations maximales étant observées une ou deux heures après la marée basse. Les quantités les plus grandes se trouvent au milieu de la colonne d'eau. Près du Saguenay, du côté sud, le maximum des suspensoides est là aussi observé vers la fin du jusant, alors que du côté nord, il ne semble pas y avoir de lien avec la marée. Cette dernière région est caractérisée par des valeurs inférieures à 3 mg l^{-1} , comparativement aux autres stations, dont la concentration en suspensoides est de 10 mg ou plus (d'Anglejan et Ingram, 1976) (les stations d'échantillonnage sont situées en aval du front de turbidité, sauf une, qui pourrait en être à la limite). Les auteurs insistent sur l'importance des flux de suspensoides pour expliquer les caractéristiques observées dans les concentrations. Ainsi, ils trouvent que pour les stations de 25m et plus de profondeur, l'apport en suspensoides par la resuspension locale est moins importante que l'advection. En une

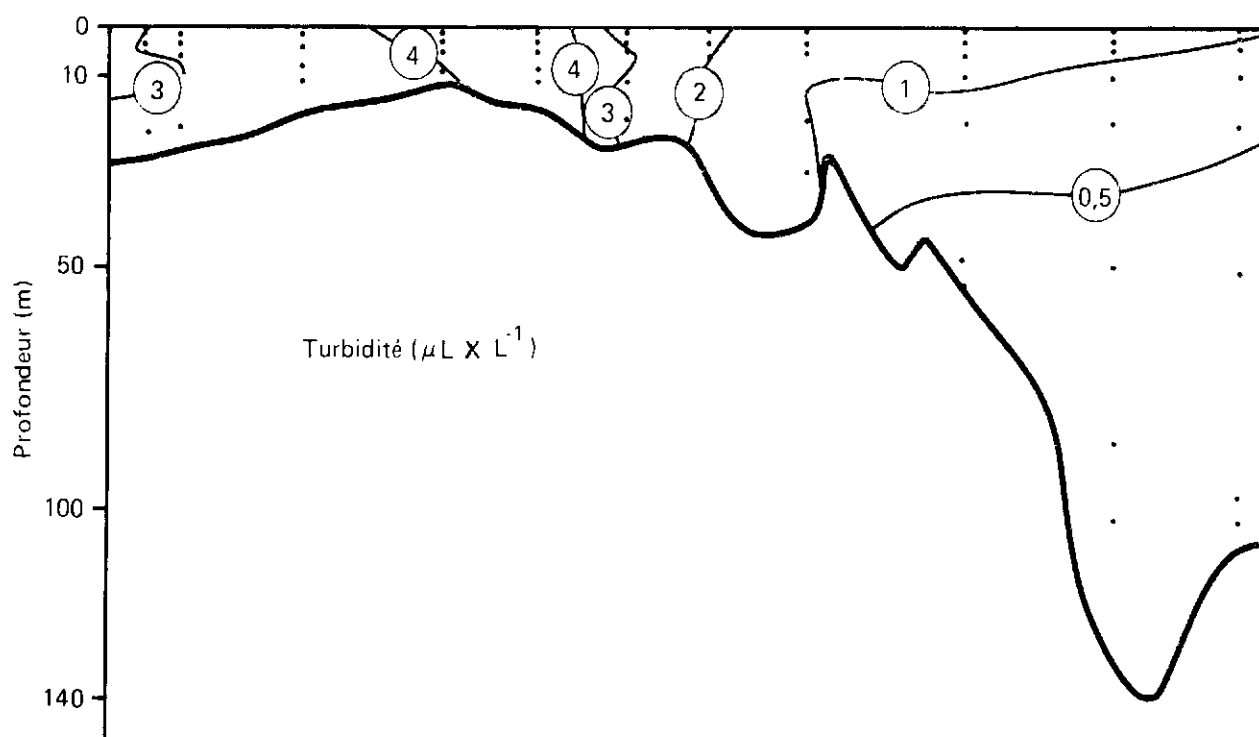


Figure 59 Distribution verticale de la turbidité
(COSSA et POULET, 1978)

station au large de Pointe-aux-Orignaux ($Z=25\text{m}$), la resuspension par la marée pourrait cependant être importante: de fortes concentrations sont observées à la fin du montant, bien qu'à quelques mètres au-dessus du fond. Les données mettent en relief le rôle joué par les courants transversaux dans l'apparition des maxima. La grande importance des courants de marée dans la dynamique des suspensoides pourrait expliquer le fait que le maximum de turbidité dans l'estuaire du Saint-Laurent se produise dans les eaux de salinité intermédiaire ($\approx 15-18\%$), plutôt que dans la zone de salinité presque nulle, à la tête de l'estuaire (d'Anglejan et Ingram, 1976). Signalons enfin une observation plus conforme à la situation classique, à savoir que l'on observe, en une station située un peu en aval de LaMalbaie, une situation où le transport net près du fond est à peu près nul, alors que plus en aval, il est orienté vers l'amont (d'Anglejan et Ingram, 1976). Une zone de transport net à peu près nul signifie que les particules y auraient un temps de séjour relativement long, ce qui favoriserait leur précipitation. Soucy et Sérodes (1975) observent effectivement une région de sédimentation non loin de la station de transport net nul (Figures 55 et 56).

4.5 Les dragages

Dans l'estuaire moyen, il existe actuellement très peu de dragage. Selon Environnement-Canada (1981*) les dragages effectués en 1980 ont eu lieu à Rivière-du-Loup ($50,000\text{m}^3$), à St-Joseph-de-la-Rive (5000m^3) et à l'Île aux Coudres ($32,500\text{m}^3$). Les rejets ont été faits à proximité du lieu de dragage dans des fosses existantes. Il ne s'agissait pas de résidus contaminés. Selon Environnement-Québec (1981**) il n'y a pas eu davantage d'autorisation demandée par l'entreprise privée pour du dragage dans l'estuaire moyen.

* Communication personnelle de Diane André, S.P.E. Canada

** Communication personnelle de Guy d'Astous, M.E.Q.

Dans l'ensemble le peu de dragages effectués et les faibles volumes impliqués nous laissent croire qu'il n'y aura que peu d'effets sur la sédimentation, que ce soit du point de vue quantitatif ou qualitatif.

4.6 Les zones intertidales

Deux études récentes de Sérodes (1980a et 1980b) nous permettent de mieux comprendre les phénomènes reliés à la sédimentation dans les zones intertidales de l'estuaire moyen.

Ces zones intertidales ont une superficie appréciable dans l'estuaire moyen. Elles pourront donc permettre une accumulation, considérable par endroit, de matériaux fins. Sérodes (1980a) a évalué la quantité de sédiments fins accumulés en différents sites sur l'estuaire moyen. L'accumulation varie à chacun des sites en fonction de divers facteurs physiques (pente, marnage, végétation). Les résultats obtenus sur les diverses battures sont rapportés au tableau 17. Sérodes en tire les conclusions suivantes.

"Trois régions ne permettent qu'une accumulation modérée au cours de l'été; il s'agit de la baie de Sainte-Anne-de-la-Pocatière, Petite-Rivière-Saint-François et le sud de l'île aux Oies. La batture de Montmagny présente un potentiel moyen tandis que les zones les plus actives sont le nord de l'île Aux Grues et l'extrémité aval du Bras Nord de l'île d'Orléans, particulièrement la batture de Cap Tourmente." (Sérodes, 1980a)

L'accumulation sur l'ensemble des battures équivaut à 2.7 millions de tonnes de solides. Ceci est l'équivalent du débit solide du St-Laurent pendant 6 mois.

L'importance de la végétation est d'autant plus évidente dans ce phénomène que l'érosion commence aussitôt que la végétation s'effondre en octobre.

Sérodes (1980b) a en plus mis au point une technique originale basée sur l'étude des radionucléides et son affinité vis-à-vis la phase solide et la phase liquide.

Tableau 17. Superficies, volumes et poids maxima de l'accumulation intertidale de sédiments à la fin de l'été sur diverses battures de l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Sérodès, 1980a)

Région	Superficie (km ²)	Epaisseur moyenne des sédi- ments(cm)	Volume des sédiments (10 ⁶ .m ³)	Poids humide sédiments (10 ⁶ tonnes)	Poids sec (tonnes)
Baie de Ste-Anne-de-la- Pocatière	4.90 10.35	8 10	1.42	1.85	611 000
Petite-Rivière- Saint-François	3.0	13	0.39	0.50	168 000
Sud de l'île aux Oies	3.1	8	0.25	0.32	137 000
Batture est de Montmagny (estimation)	4.7	10	0.47	0.61	202 000
Batture ouest de Montmagny	1.12 3.26	18 11	0.56	0.73	241 000
Nord de l'île aux Grues	1.45 1.45	15 30	0.64	0.83	275 000
Batture de Cap Tourmente jusqu'à Beaupré	4.41 1.70 0.97	20 30 15	0.88 0.51 0.14	1.99	658 000
Sainte-Anne-de- Beaupré	7.08 3.74	18	0.67	0.87	288 000
Aval du Bras Nord côté Ile d'Orléans	1.60 0.44	16 10	0.30	0.39	129 000
Amont du Bras nord	0.74 0.27	5 10	0.07	0.09	30 000

Lorsqu'elle sera couplée à un mode d'échantillonnage adéquat, cette technique devrait permettre d'évaluer le temps de résidence de l'eau et des solides dans la zone intertidale.

O U V R A G E S C I T E S

- ARNAC, M., 1974. Teneur de quelques éléments traces dans l'estuaire du St-Laurent. 2è Colloque International pour l'exploitation des Océans, Bordeaux. Vol. 3 (Bx 316) : 1-12.
- BEWERS, J.M. et P.A. YEATS, 1979. The behavior of trace metals in estuaries of the St. Lawrence basin. In Le Naturaliste canadien, 106(1) : 149-161.
- BRISEBOIS, M., 1975. Distribution des sédiments récents dans l'estuaire moyen du St-Laurent. Marine Sciences Center, McGill University, thèse M.Sc., 166 pp.
- CESCAS, M. et A. PIERRE, 1977. Facteurs physico-chimiques les plus responsables de l'absorption du phosphore par des sédiments du fleuve Saint-Laurent. CENTREAU, Vol. II, No 3. 34 p.
- COSSA, D. et S.A. POULET, 1978. Survey of trace metal contents of suspended matter in the St. Lawrence Estuary and the Saguenay Fjord. In JFRB 35 (3) : 338-345.
- D'ANGLEJAN, B.F., 1971. Submarine sand dunes in the St. Lawrence Estuary. In Can. J. Earth Sci. 8 : 1480-1486.
- D'ANGLEJAN, B.F. et M. BRISEBOIS, 1978. Recent sediments of the St. Lawrence middle estuary. In J. of Sedimentary Petrology 48 (3): 951-964.
- D'ANGLEJAN, B.F. et R.G. INGRAM, 1976. Time depth variations in tidal flux of suspended matter in the St. Lawrence Estuary. In Est. and Coast. Mar. Sci. 4(4) : 401-416.
- D'ANGLEJAN, B.F. et E.C. SMITH, 1973. Distribution, transport and composition of suspended matter in the St. Lawrence Estuary. In Can. J. Earth Sciences 10 (9) : 1380-1396.
- D'ANGLEJAN, B.F., E.W. SMITH et M. BRISEBOIS, 1974. Modern sedimentation and suspended transport in the St. Lawrence Estuary. In Mem. Inst. Bassin Aquitaine, 7 : 9-17.
- DIONNE, J.C., 1971a. Erosion glacielle de la slikke, estuaire du St-Laurent. In Rev. Géomorph. Dyn., Vol. 20 (1) : 5-21.
- DIONNE, J.C., 1971b. Nature lithologique des galets des formations meubles quaternaires de la région de Rivière-du-Loup/Trois-Pistoles, Québec. In Rev. Géogr. Montréal, Vol. 25 (2) : 129-142.
- DIONNE, J.C., 1979. Action géologique des glaces de l'estuaire du Saint-Laurent. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- GOBEIL, C. 1979. Géochimie du matériel particulaire en suspension dans la zone de turbidité maximale de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.

- HOFF, J., 1979. Distributions of the dissolved and particulate trace metals in the estuary and gulf of St. Lawrence. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé) 12-14 avril 1978. UQAR. 91 p.
- INGRAM, R. Grant et B. D'ANGLEJAN, 1977. On the importance of cross-channel suspended matter-flux in the upper St. Lawrence Estuary. In Proc. Symp. on the modeling of transport mechanisms in oceans and lakes, Burlington, Ont., 1975, p. 149-158.
- KHALIL, M. et M. ARNAC, 1975. Le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent. Revue des principaux travaux d'océanographie chimique. Revue Int. d'Océanogr. Médicale, tomes (39/40) : 153-170.
- KHALIL, M., B. ROY, 1979. Caractéristique du carbone total dans les eaux du Saint-Laurent et du Saguenay. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. 91p.
- KRANK, K., 1979. Dynamics and distribution of particulate matter in the St. Lawrence Estuary. In Le Naturaliste canadien, 106 (1) : 163-173.
- LEBEL, J. et A. POISSON, 1979. Les relations chlorinite - 5% densité dans l'estuaire du Saint-Laurent et le fjord du Saguenay. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- LORING, D.H. et DJG. NOTA, 1973. Morphology and sediments of the Gulf of St. Lawrence. In JFRB, Bull. 182, 147 pp.
- NOTA, D.J.G. et D.H. LORING, 1969. Recent depositional conditions in the St. Lawrence River and Gulf. A reconnaissance survey. In Mar. Geol. 2 : 198-235.
- PELLETIER, E. et J. LEBEL, 1978a. Détermination du bore inorganique dans l'Estuaire du Saint-Laurent. In J. Can. Sci. Terres. Vol. 14 (8) : 1732-1739.
- PLOCKINGTON, R. et J.D. LEONARD, 1979. Terigenous organic matter in sediments of the St. Lawrence Estuary. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). UQAR. 91p.
- SERODES, J.B., 1980a. Etude de la sédimentation intertidale de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Département de génie civil, Université Laval, 29 pp.
- SERODES, J.B., 1980b. Etude des éléments radio-actifs dans l'eau et les suspensions de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Département de génie civil, Université Laval, 39 pp.
- SOUCY, A. et al, 1976. Evolution des suspensions et sédiments dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. CENTREAU, I, no 5, 67 pp.
- SOUCY, A. et J.B. SERODES, 1975. Etude de la qualité des sédiments et suspensions du fleuve Saint-Laurent entre Québec et Trois-Pistoles. Centre de recherches sur l'eau, Université Laval. Rapport CRE-75/14, mars 1975, 154 p., cartes et tableaux (2 tomes).
- STRAIN, P.M. et F.C. TAN, 1979. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ of total dissolved CO_2 in the Saguenay fjord and the St. Lawrence Estuary. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). UQAR. 91p.

SUBRAMANIAN, V. et B. D'ANGLEJAN, 1976. Water chemistry of the St. Lawrence Estuary. In J. Hydrology 29 (3-4) : 341-354.

5.0 LE MILIEU BIOLOGIQUE

Le rapport du Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent résulte d'un effort de synthèse antérieur au présent travail. Le risque de répétitions est donc grand. Malgré l'inévitable redondance que cela entraîne, il nous apparaît cependant nécessaire de traiter chacun des sujets, du moins sommairement. Toutefois, pour chacune des sections du présent documentaire, l'accent sera mis sur les travaux les plus récents. Il est à espérer qu'ainsi l'information véhiculée reflètera les préoccupations actuelles des chercheurs.

5.1 La production primaire

5.1.1 La production primaire pélagique

5.1.1.1 Composition taxonomique, distribution et biomasse

L'abondance du phytoplancton de l'estuaire moyen suit une distribution spatiale pouvant être représentée par un double gradient longitudinal, l'un décrivant la disparition des espèces dulcicoles avec l'augmentation de la salinité (Cardinal et Bérard-Therriault, 1976) (Figure 60), et l'autre, l'apparition des espèces marines en nombre de plus en plus grand au fur et à mesure que l'on se dirige vers l'aval (Cardinal et Lafleur, 1977).

Les quantités maximales sont mesurées par Cardinal et Bérard-Therriault (1976) en juillet, situation que les auteurs attribuent au maximum de température observée lors de ce mois. Les concentrations maximales atteignent 10 millions de cellules par litre, alors que les valeurs minimales sont de l'ordre de .3 million de cellules par litre (Figure 60). La station 322 cm montre de fortes variations selon l'état de la marée: les nombres passent de .9 million de cellules par litre à marée haute, à 2 millions de cellules par litre à marée basse (Cardinal et Bérard-Therriault, 1976). La composition spécifique montre des patrons saisonniers. Les six espèces

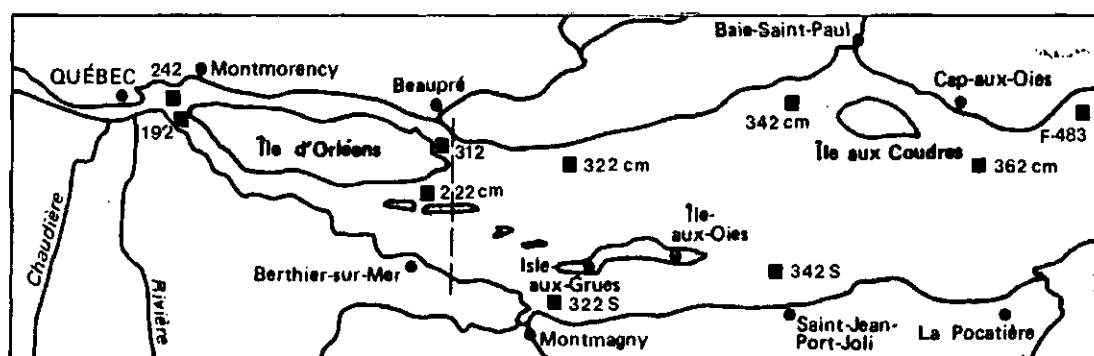
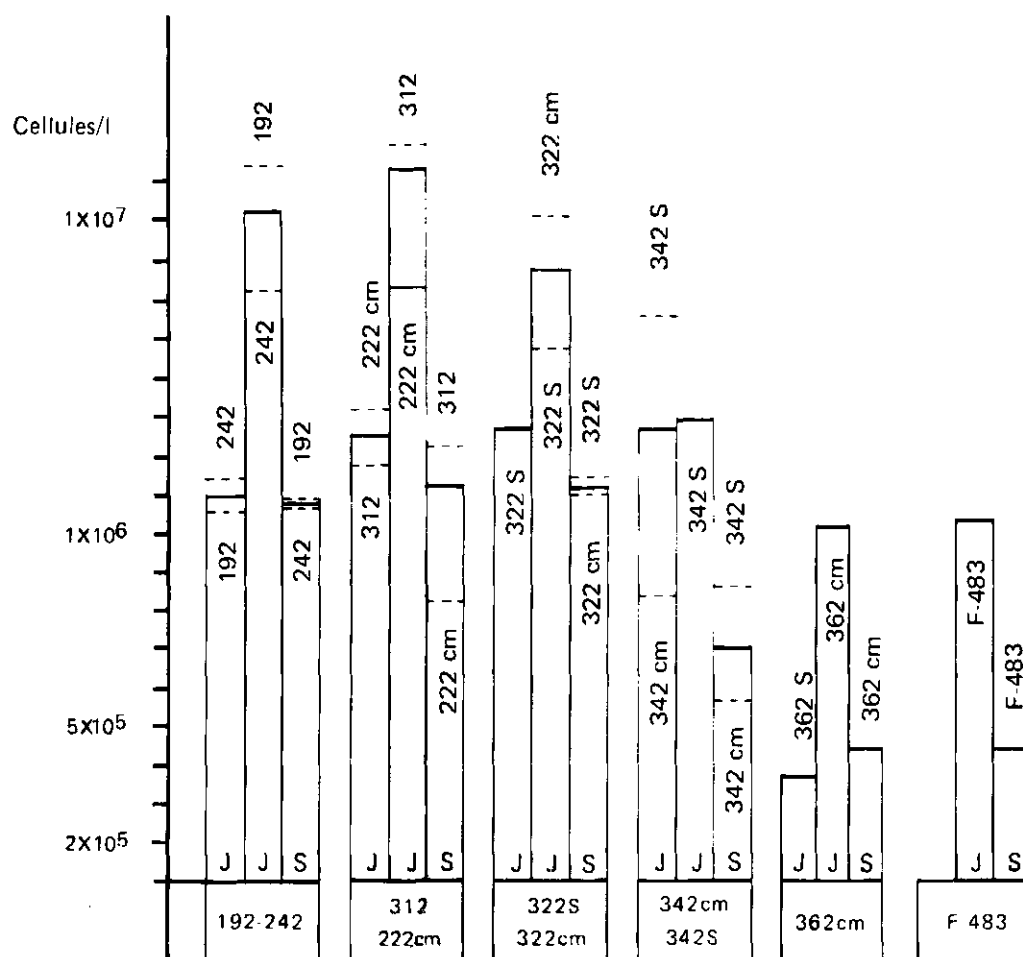


Figure 60. Localisation des différentes stations et densité moyenne des cellules phytoplanctoniques sur les radiales échantillonnées, selon les trois mois d'observation, juin (J), juillet (J), septembre (S) en 1973 (CARDINAL et BÉRARD-TERRIAULT, 1976)

dominantes en juin (Melosira binderana, Diatoma elongatum, Asterionella formosa, Fragilaria cotronensis, Melosira islandica, Fragilaria capucina) se font moins importantes en juillet pour finalement disparaître en septembre, à l'exception de M. binderana (Tableau 18). Skeletonema subsalum, Cyclotella striata, Ankistrodesmus falcatus, Scenedesmus quadricauda atteignent leur maximum en juillet; la population est alors dominée par S. subsalum. En septembre, seules se maintiennent les quelques espèces indiquées au Tableau 18, en plus d'une nouvelle espèce, Sphaerocystis Schroeteri. Il semble que la limite amont de la distribution de la plupart des espèces marines se situe aux alentours de la station 362 cm (Ile aux Coudres). Dans la partie aval de l'estuaire moyen on signale entre autres une "assez grande abondance" de Thalassiosira gravida et Chaetoceros debilis (Cardinal et Bérard-Therriault, 1976). Cette région a également été étudiée dans le cadre d'une autre étude (Cardinal et Lafleur, 1977) couvrant le tronçon délimité par les segments St-Siméon-Cap Colombier au nord, et Notre-Dame-du-Portage-Pointe-aux-Pères au sud (Figure 61). La liste des espèces observées apparaît au Tableau 19. Les auteurs établissent une distinction entre les espèces "cosmopolites" - elles se retrouvent sur toute l'aire étudiée - les espèces sténohalines marines - elles ne pénètrent que très difficilement en amont du Saguenay -, et les espèces d'eau douce, dont la distribution se limite en aval à l'estuaire moyen. On trouve au Tableau 19 la confirmation (voir aussi Figure 62) d'une observation précédente de Cardinal et Bérard-Therriault (1976), à savoir l'importance de Thalassiosira gravida et Chaetoceros debilis. L'importance moyenne, en fonction de la saison, de ces deux espèces, ainsi que de Skeletonema costatum et A. falcatus, est représentée à la Figure 62. Le gradient croissant de l'amont vers l'aval ressort également pour 3 des 4 espèces indiquées, A. falcatus, une chlorophycée d'eau douce, faisant exception à la règle. Les variations temporelles furent abordées par les auteurs en considérant les espèces individuellement, les stations étant toutes regroupées ensemble. Les différences temporelles dans les concentrations phytoplanctoniques de l'estuaire moyen n'ont pas fait l'objet d'une discussion séparée;

Tableau 18. Distribution par ordre d'importance des espèces dominantes
durant les trois mois d'échantillonnage en 1973
(Cardinal et Bérard-Therriault, 1976)

Juin	Juillet	Septembre
Melosira binderana	Skeletonema subsalsum	Skeletonema subsalsum
Diatoma elongatum	Cyclotella striata	Cyclotella striata
Asterionella formosa	Ankistrodesmus jalcatus	Melosira binderana
Fragilaria crotonensis	Melosira binderana	Scenedesmus quadricauda
Melosira islandica	Scenedesmus quadricauda	Ankistrodesmus jalcatus
Ankistrodesmus jalcatus	Fragilaria crotonensis	Coelastrum microporum
Fragilaria capucina	Melosira islandica	Dictyosphaerium ehren- bergianum
Cyclotella striata	Diatoma elongatum	Pediastrum duplex
Scenedesmus bijuga	Melosira distans	Sphaerocystis Schroeteri
Melosira distans	Anabaena flos-aquae	
Tabellaria fenestrata	Coelastrum microporum	
Skeletonema subsalsum	Dictyosphaerium ehren- bergianum	
Scenedesmus quadricauda	Pediastrum duplex	

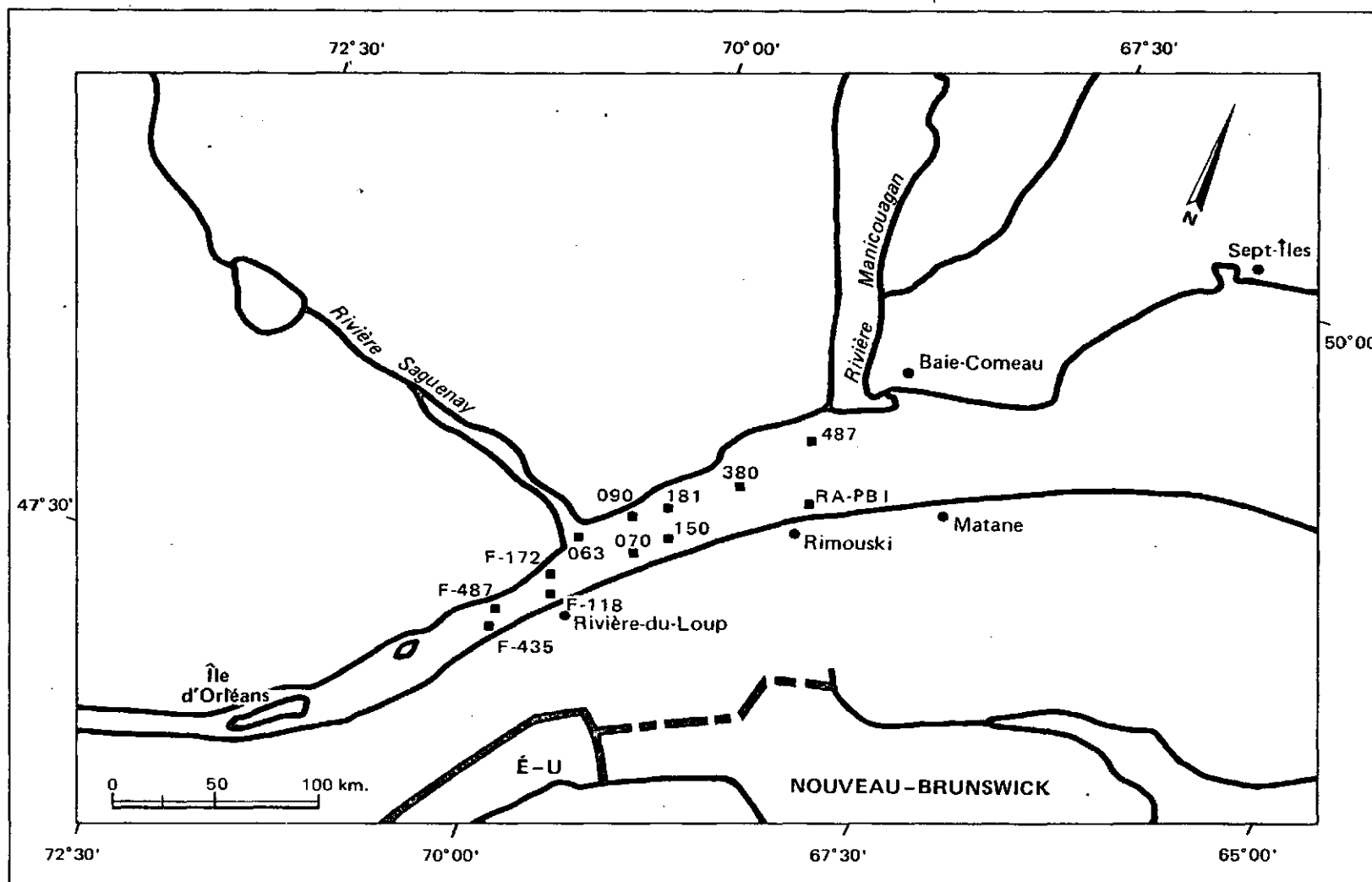


Figure 61. Stations d'échantillonnage de phytoplancton dans l'estuaire du Saint-Laurent
(CARDINAL et LAFLEUR, 1977)

Tableau 19. Distribution spatiale des espèces observées
(Cardinal et Lafleur, 1977)

Station d'échantil- lonnage	Espèces observées
487	CHAETOCEROS DIFFICILIS Eucampia zodiacus Chaetoceros perpusillum Chaetoceros septentrionalis Chaetoceros lorenzianus Chaetoceros diadema Chaetoceros brevis Chaetoceros concavicornis Chaetoceros filiformis Chaetoceros decipiens Chaetoceros radicans Chaetoceros constrictus Chaetoceros atlanticus Chaetoceros furcellatus Chaetoceros similis Detonula confervacea Thalassiothrix nitzschoides
RA-PBI	ANKISTRODESMUS FALCATUS THALASSIOSIRA GRAVIDA CHAETOCEROS COMPRESSUS SKELETONEMA COSTATUM CHAETOCEROS DEBILIS NITZCHIA DELICATISSIMA Coscinodiscus radiatus Coscinodiscus asterom- phalus Coscinodiscus centralis Leptocylindrus danicus Thalassiosira nordens- kjoldii Chaetoceros convolutus f. trisetosus Chaetoceros mitra Chaetoceros teres Chaetoceros laciniosus Chaetoceros convolutus Peridinium depressum Peridinium ovatum Halosphaera viridis Gonyaulax tamarensis Cocconeis scutellum Melosira dubia Melosira nummuloides Melosira jurgensii Melosira islandica Biddulphia aurita Polyasteria problematica Tabellaria fenestrata Asterionella formosa Fragilaria crotonensis Fragilaria capucina
380+	Thalassiosira decipiens Thalassiosira subtilis
181	Ceratium arcticum Melosira glacialis Ceratium longipes Ceratium fusus Coscinosira polychorda Peridinium pellucidum Nitzschia closterium
070+	Nitzschia closterium
150	
090+	
063	

Tableau 19. (suite)

Distribution spatiale des espèces observées

Station d'échantil- lonnage	Espèces observées
Nitazchia seriata F-172+ Rhabdonema arcuatum F-483 Closteriopsis longissima Skeletonema subsalsum Nitzschia longissima Synedra ulna	STEPHANODISCUS BINDERANUS CYCLOTELLA STRIATA Melosira moniliformis Melosira distans Tabellaria flocculosa Nitzschia sigma Pedicellula simplex Pedicellula duplex Diatoma elongatum Scenedesmus bijuga
F-118+ F-435	

* Les majuscules indiquent les espèces dominantes

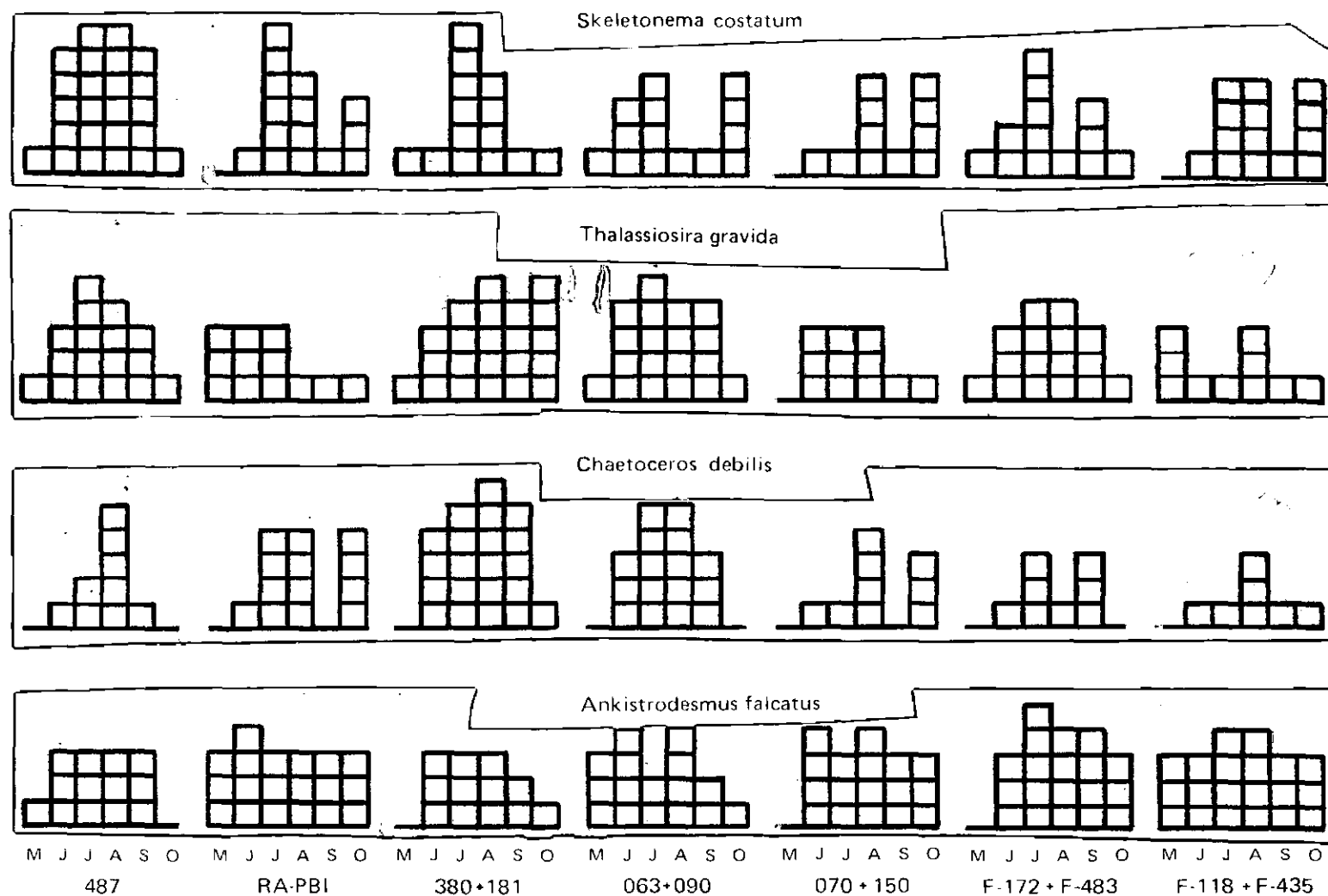


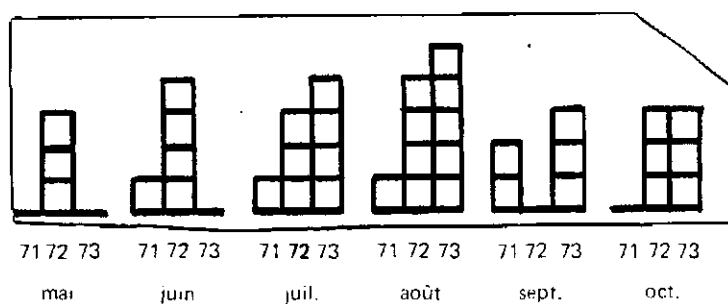
Figure 62. Distribution moyenne pour les trois années, de quatre espèces dominantes selon les stations et les différents mois d'échantillonnage (CARDINAL et LAFLEUR, 1977)

quoiqu'il en soit, les résultats pertinents à cette question sont présentés à la Figure 63.

Cardinal et Lafleur (1976) concluent à la présence d'une seule population phytoplanctonique, avant tout constituée de Diatomées (abstraction étant faite des microflagellés).

Les variations spatio-temporelles du phytoplancton ont fait l'objet de récentes études, l'une de Lafleur (1978) et l'autre de Fortier et al. (1978). Les échantillons furent recueillis à une même station (Figure 64), à l'été 1975, sous forme de séries temporelles. L'échantillonnage de Lafleur lui a permis d'obtenir une série de prélèvements horaires de 175 points, tandis que les observations de Fortier et al ont permis de boucler un cycle de marée (13 heures), à raison d'un échantillon à toutes les 10 minutes. Ceci permet donc la combinaison d'observations sur la structure spatio-temporelle des populations phytoplanctoniques à courte échelle (Fortier et al.) et aux échelles intermédiaires (Lafleur). Selon les conclusions de Lafleur (1978), la station ECOVARIATE 75 se trouverait dans la région de jonction des deux gradients longitudinaux d'abondance phytoplanctonique, dont nous faisons état plus haut. Il appert cependant que ces gradients se déplacent au cours du cycle marquant l'alternance des marées de morte-eau et de vive-eau. En plus de la faible concentration des cellules, on remarque à la Figure 65 une augmentation significative du nombre de cellules, augmentation se produisant vers le milieu de la croisière. Si le nombre moyen d'espèces varie peu, on observe cependant que l'importance des taxons d'eau douce augmente avec le nombre de cellules. De plus, en morte-eau, le maximum de cellules est observé au flot, tandis qu'il se produit au jusant pendant la période de vive-eau. Ces observations, jointes à celles de Demers et al., amènent Lafleur à conclure qu'il y a déplacement des gradients horizontaux vers l'aval. Ce déplacement se fait à la faveur des marées de vive-eau, le transport net moyen vers l'aval étant plus grand qu'en marées de morte-eau (≈ 20 km cycle⁻¹ vs 5-6 km cycle⁻¹) (Lafleur, 1976, d'après

F-172 + F-483



F-118 + F-435

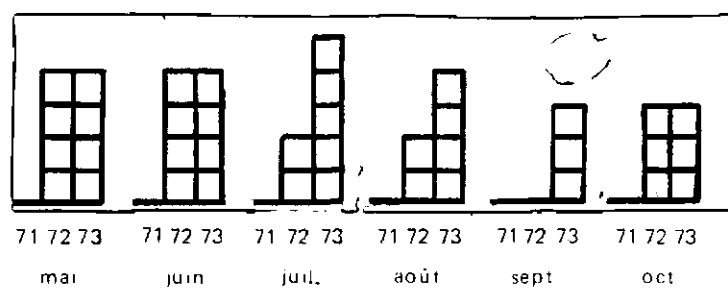


Figure 63. Nombres totaux de cellules en fonction des stations selon les mois et les années d'échantillonnage (CARDINAL et LAFLEUR, 1977)

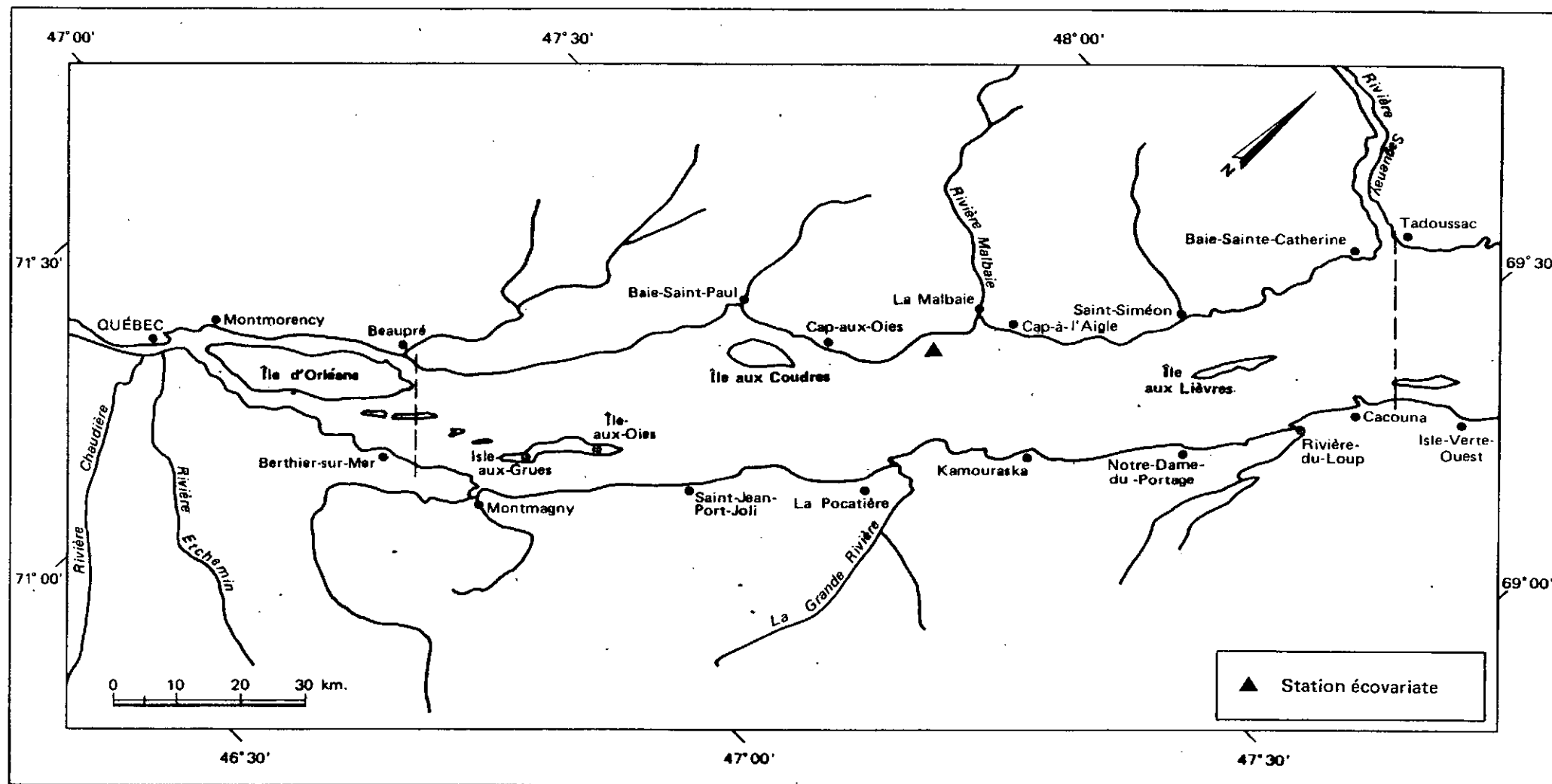


Figure 64. Station d'échantillonnage de phytoplancton
(LAFLEUR, 1978) et (FORTIER et al, 1978)

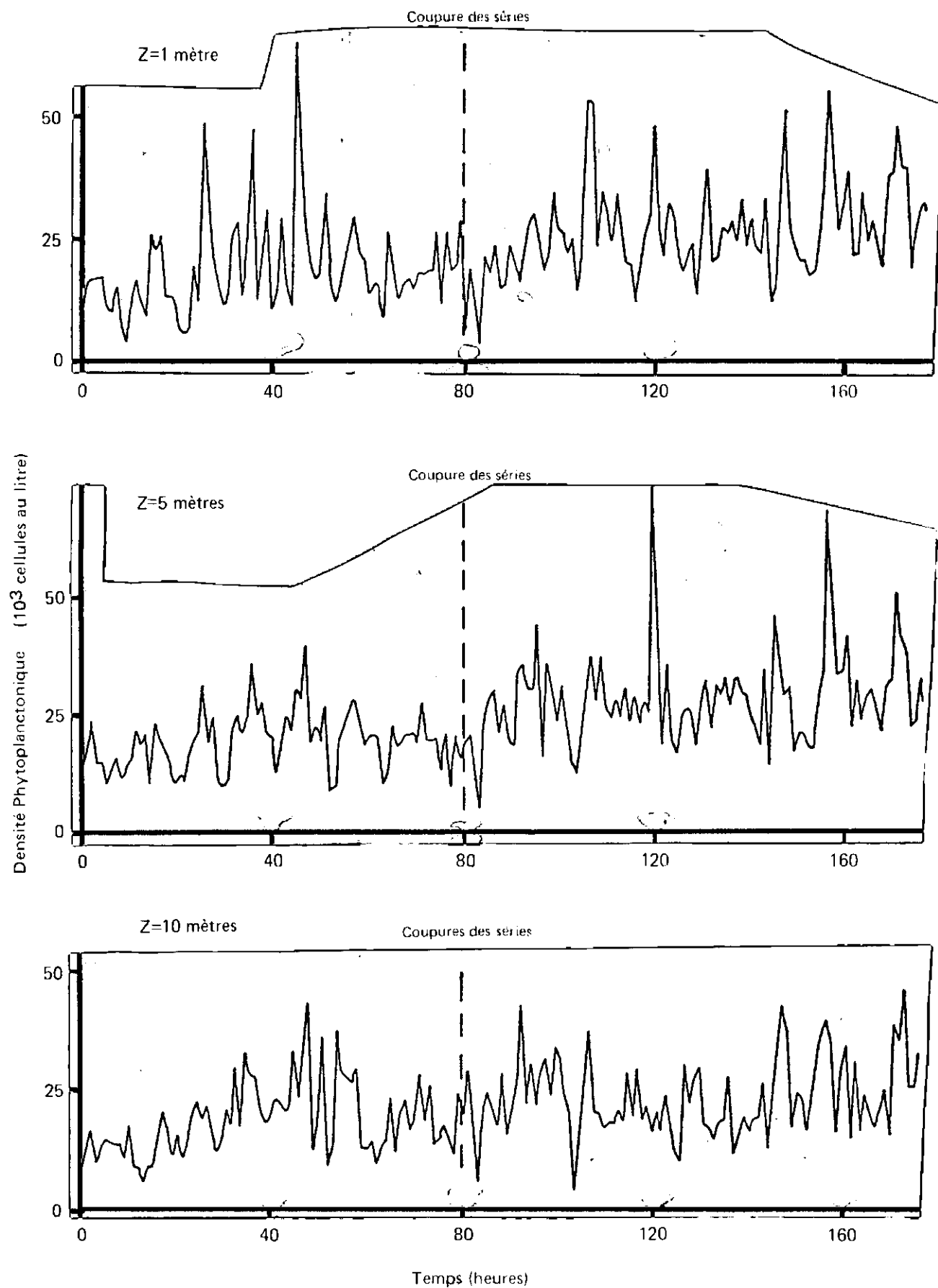


Figure 65. Séries temporelles des densités phytoplanctoniques brutes observées à 1 m, 5 m et 10 m (LAFLEUR, 1978)

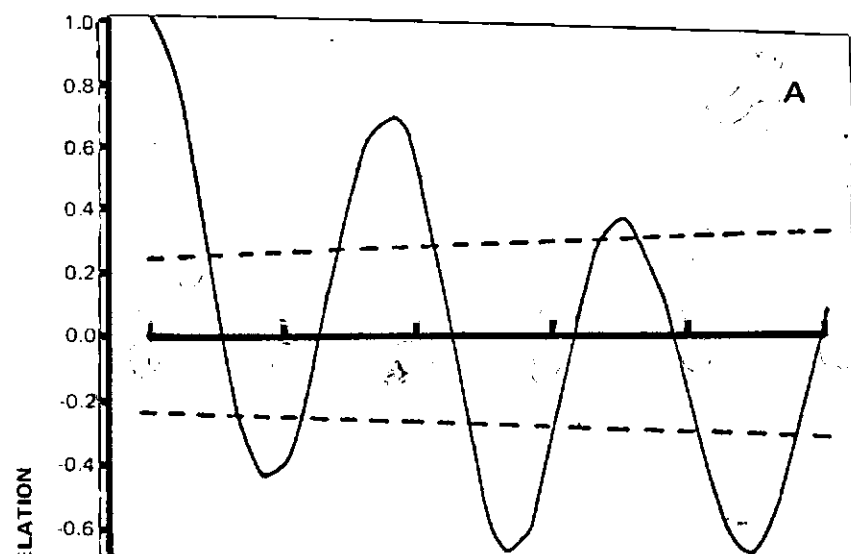
une communication personnelle de Marc Gagnon).

Des gradients physiques verticaux plus prononcés en morte-eau permettent de plus une hétérogénéité verticale du phytoplancton plus marquée qu'en vive-eau.

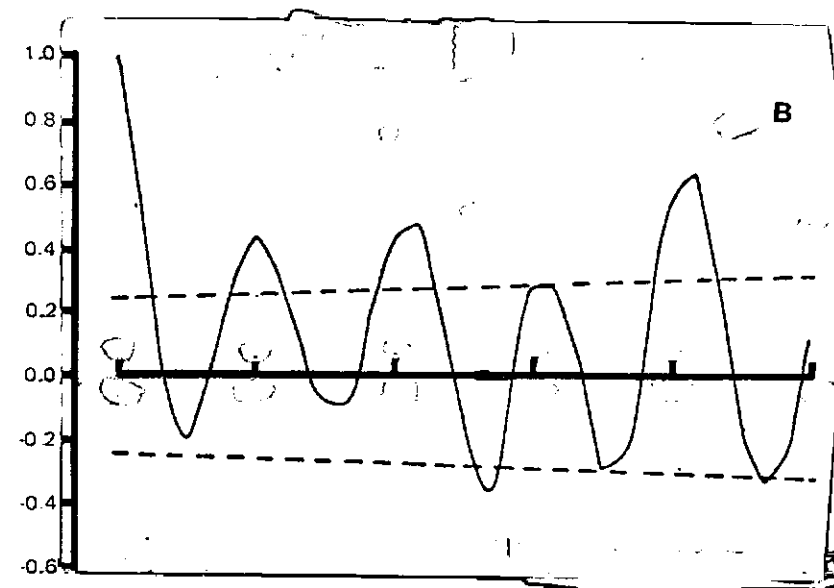
A une échelle temporelle de l'ordre de celle du cycle de marée, l'alternance des marées de morte-eau avec celles de vive-eau amène également des changements dans la dynamique des concentrations phytoplanctoniques. C'est la conclusion que nous permet de tirer l'examen des autocorrélogrammes de la Figure 66. En morte-eau, on retrouve une structure cyclique d'environ $.10 \text{ cycleh}^{-1}$ (dans les quantités de phytoplancton), et une périodicité de $.17 \text{ cycleh}^{-1}$ dans la structure physique; ces observations sont mises en relation avec les ondes internes observées par Muir (1979) et des événements isolés importants, séparés d'une dizaine d'heures, qui auraient pu affecter la fonction d'autocorrélation (Lafleur, 1978). En vive-eau, le patron de variation du phytoplancton suit un cycle correspondant à la marée (Figure 66), ce qui est plus conforme au schéma classique des gradients.

Fortier et. al. (1978) parviennent eux aussi à la conclusion que "le patron principal de variation du phytoplancton reflète simplement l'oscillation des masses d'eau dans la région d'échantillonnage, phénomène lié aux courants de marée". Les variations du phytoplancton apparaissent à la Figure 67. On peut observer un cycle plus rapide que celui de la marée, ce qui, compte-tenu des conclusions énoncées précédemment, peut sembler paradoxal. Les auteurs expliquent cette observation par un phénomène d'oscillation locale de l'onde de marée, vraisemblablement "causé par la géométrie de la région et provoquant un déplacement alternatif des gradients de salinité et de température" (Fortier et. al., 1978) (Figure 67).

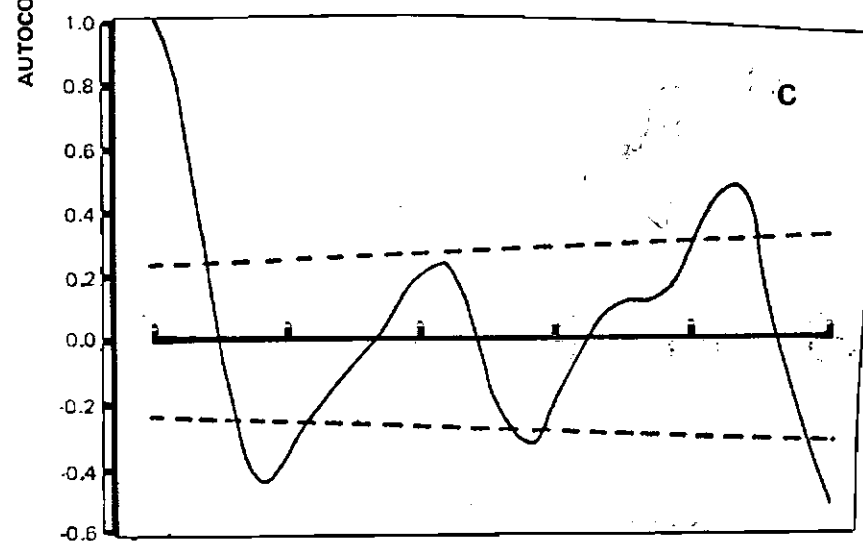
De plus, ils observent, superposé à ce patron principal, des variations plus fines, attribuées à la formation en taches du phytoplancton. Ces taches auraient, dans le cas présent, un diamètre moyen d'environ $.75 \text{ km}$.



TEMPS (H)



TEMPS



TEMPS (H)

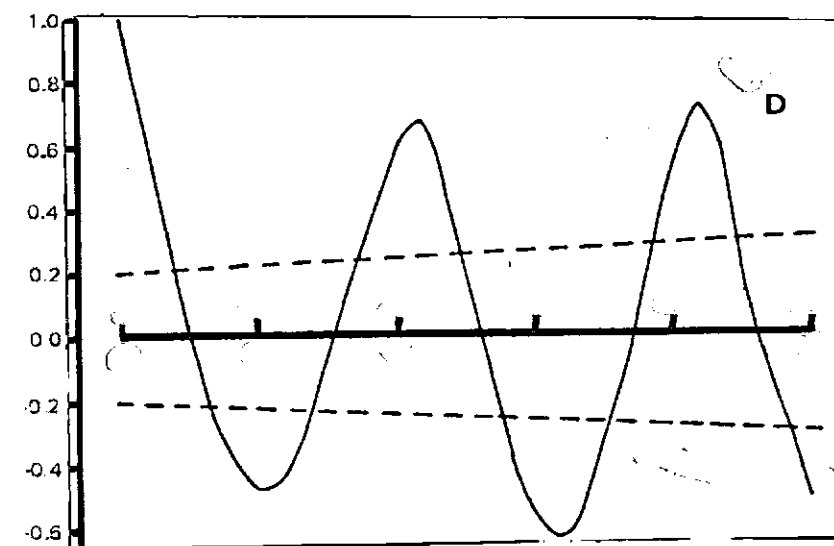


Figure 66. Autocorrélations calculées sur les séries filtrées de densité phytoplanctonique et de température, durant les marées de morte-eau (A,B) et de vive-eau (C,D) Profondeur 5 m. Les lignes pointillées indiquent une corrélation significative, au seuil de 5%
(LAFLEUR, 1978)

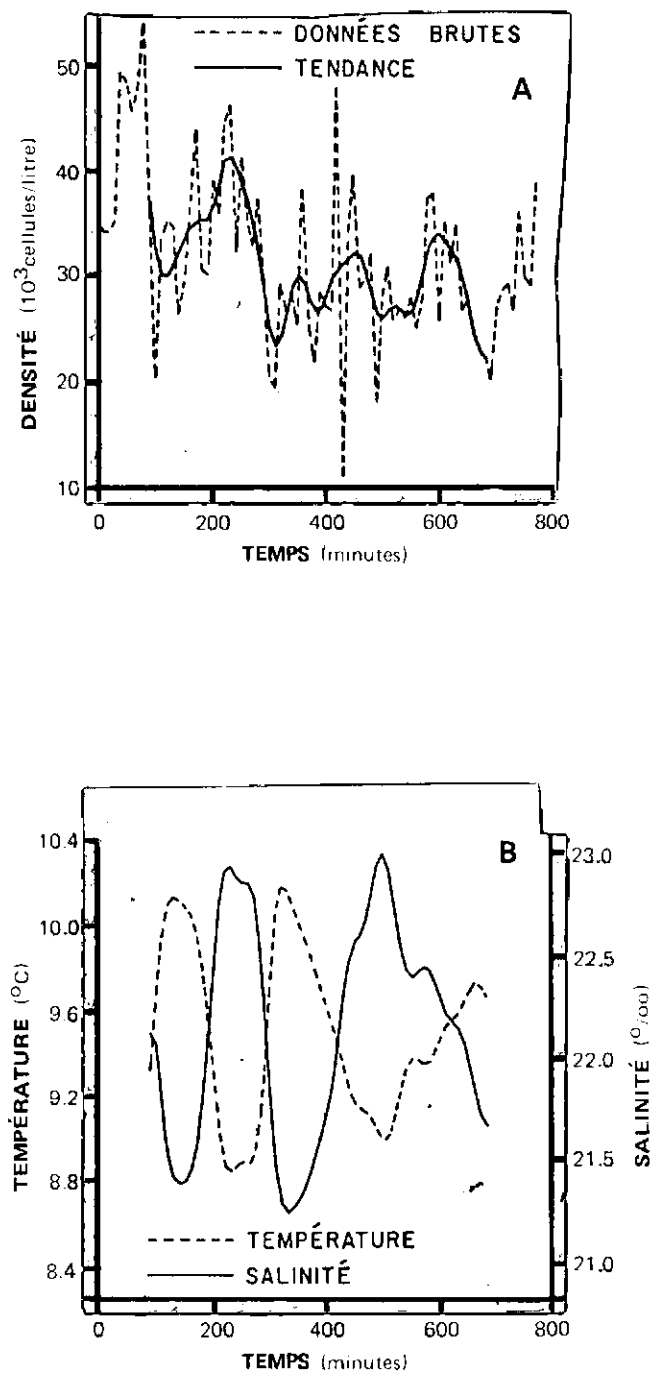


Figure 67. Série temporelle à la station "Ecovariate 75" pendant 13 h, les 5 et 6 août 1975
 A) Phytoplancton (données brutes et tendances)
 B) Température et salinité (tendance)
 (FORTIER et al, 1978)

Les auteurs ont dressé la liste des taxons observés, liste présentée au Tableau 20. A l'instar des autres travaux (Cardinal et Bérard-Therriault, 1976; Cardinal et Lafleur, 1977; Lafleur 1978), leurs observations n'ont porté que sur les diatomées, l'identification des microflagellés s'avérant impossible dans les conditions rencontrées dans cette partie de l'estuaire.

5.1.1.2 Production, écologie

La connaissance de l'écologie et de la production du phyto-plancton de l'estuaire moyen, jusqu'à tout récemment, était relativement faible. Des contributions récentes de Demers et Legendre (1979) ainsi que de Demers et al. (1979) donnent de premières indications sur les phénomènes éco-physiologiques, accompagnant la structure en double gradient inversé, mis en évidence par les travaux cités à la section précédente.

Demers et al. (1979) concluent de leurs observations sur les spectres de variance de la chlorophylle, qu'en morte-eau, la distribution de la chlorophylle était vraisemblablement contrôlée par des processus physiques, jusqu'à des fréquences de $5.0 \text{ cycles h}^{-1}$ (Figure 68). Sur une échelle spatiale — les auteurs insistent sur la fragilité des postulats — qui sous-tendent le passage du domaine temporel (les données sont sous forme de série temporelle, en station fixe) au domaine spatial —, le contrôle de la chlorophylle par les facteurs physiques se ferait sur une échelle allant de 1 à 20 km. Les auteurs considèrent qu'en vive-eau, l'aplatissement du spectre de la variance de la chlorophylle (Figure 68) indique un plus grand rôle de phénomènes biologiques dans le contrôle de la chlorophylle. La figure 69 permet de constater la diminution de la fluorescence (chlorophylle a), de la température, ainsi que de la variance de leur signal pendant les marées de vive-eau.

Les auteurs interprètent ces observations en termes d'une plus grande structuration du milieu pendant les marées de morte-eau, une plus grande énergie de marées en vive-eau tendant d'autre part à détruire les gradients.

Tableau 20. Importance relative moyenne des principaux taxons observés au cours des 13 heures d'échantillonnage
(Fortier et al., 1979)

Taxon		Pourcentage moyen
Thalassiosira pacifica	M *	44
Ebria fornix (silicoflagellé)	M	12
Cyclotella striata	M	10
Melosira jurguensii	D	4
Tabellaria sp.	D	4
Skeletonema costatum	M	2
Pennales	-	21
Taxons secondaires	-	3

* M : taxon marin
D : taxon dulcicole

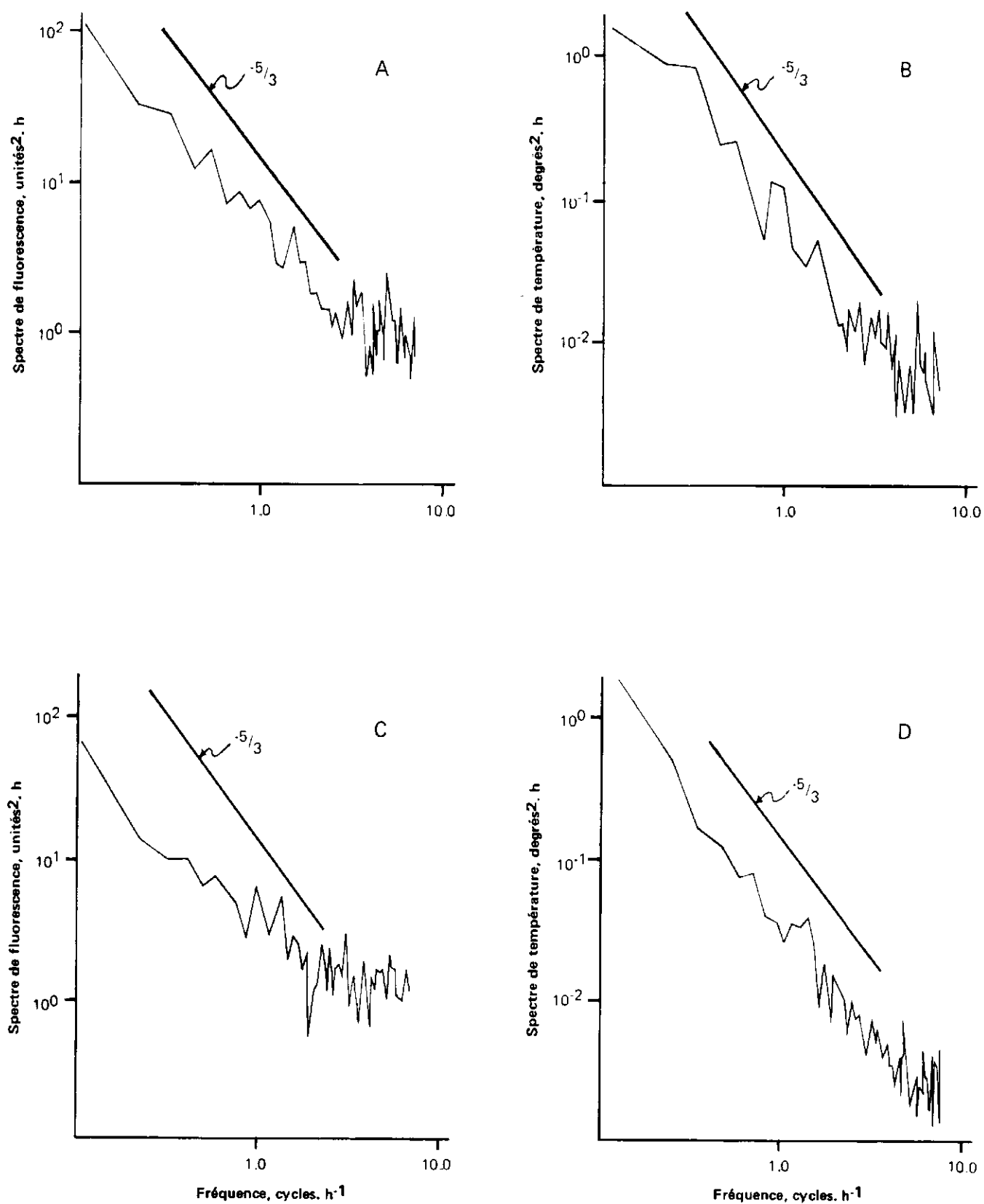


Figure 68. Fonction spectrale de densité de la fluorescence de la chlorophylle a et de la température pour la première (A,B) et la seconde (C,D) parties du programme d'échantillonnage (DEMERS et al, 1979)

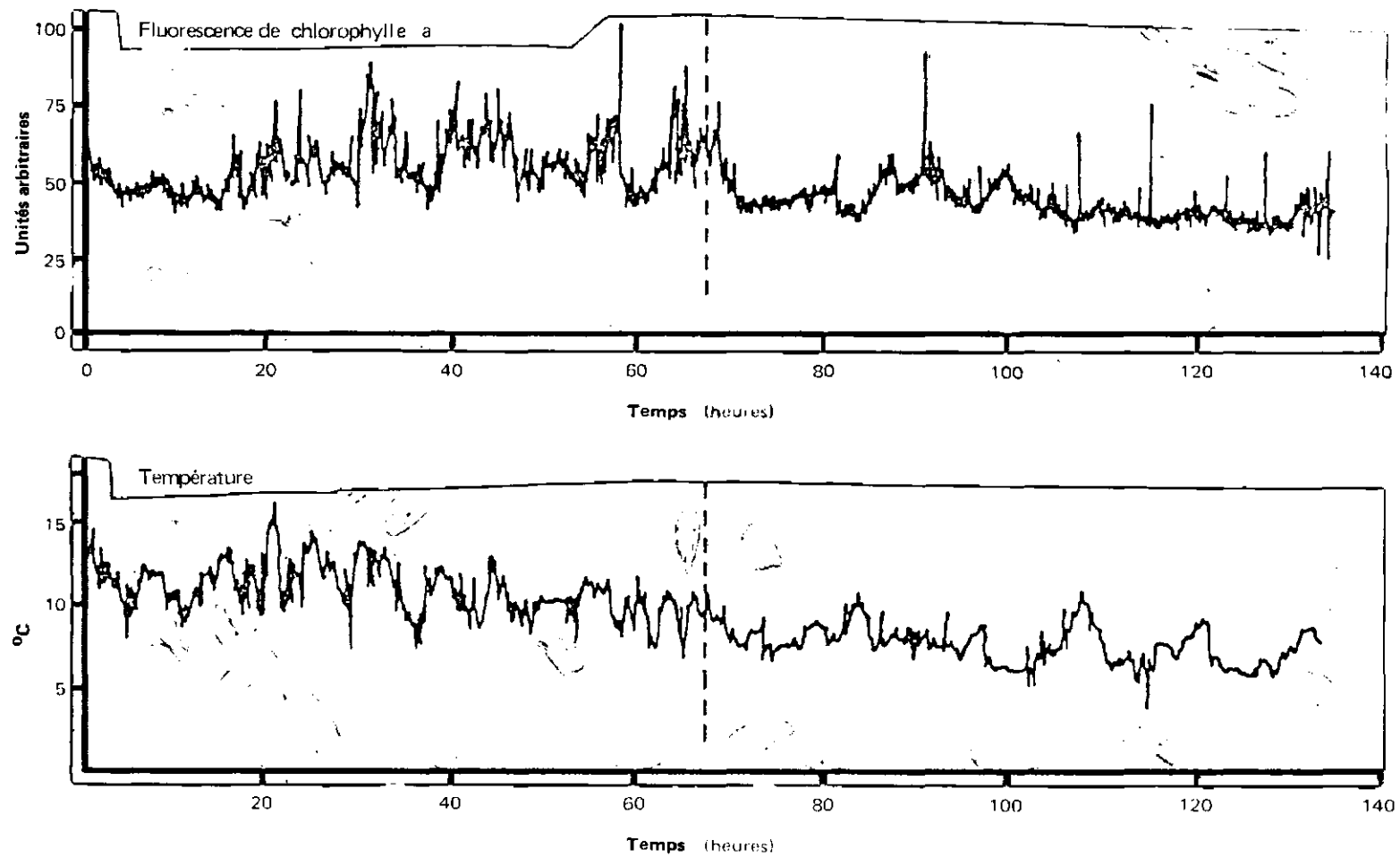


Figure 69. Séries temporelles de la fluorescence de la chlorophylle a et de la température (Fréquence = 4 minutes)
(DEMERS et al , 1979)

La diminution de la production primaire et de la chlorophylle amènent les auteurs à interpréter l'aplatissement du spectre de variance de la chlorophylle (Figure 69) non pas comme un effet de la croissance des organismes, mais plutôt comme une manifestation du stress auquel font face les organismes échantillonnés en vive-eau.

Demers et Legendre (1979) se sont attachés à l'étude du cycle circadien de photosynthèse phytoplanctonique, toujours à la station ECOVARIATE 75. L'autocorrélogramme obtenu de leurs observations (Figure 70) met en évidence une dynamique différente du rapport production/biomasse P/B ($\text{mg C mg chl a}^{-1} \text{ h}^{-1}$) selon que l'on soit en régime de morte-eau ou de vive-eau: en vive-eau, on observe un cycle circadien, alors qu'en morte-eau, un cycle aligné sur celui de la marée vient masquer le cycle de 24 heures. Le cycle de 12 heures est mis en relation avec un gradient horizontal de densité traduisant l'advection d'eaux contenant du phytoplancton vraisemblablement capable d'une réponse photosynthétique plus ou moins grande selon sa position dans le gradient. En marée de vive-eau, les auteurs ont été incapables de mettre ce gradient en évidence, ce qui explique selon eux qu'ils n'aient observé que le seul cycle circadien. Cette dernière oscillation reçoit d'ailleurs une attention soutenue lors de la discussion de leurs résultats.

Demers et Legendre (1979) signalent de plus la faible capacité photosynthétique du phytoplancton de ces régions (Figure 71). On peut donc s'attendre à de faibles taux de production locale.

5.1.2. Le phytobenthos

5.1.2.1 Espèces, distribution, biomasse

Le gradient de salinité, dont nous avons vu les effets sur la distribution des organismes phytoplanctoniques, se retrouve évidemment le long des rives, bien que sa manifestation puisse être nuancée localement par des apports d'eau douce.

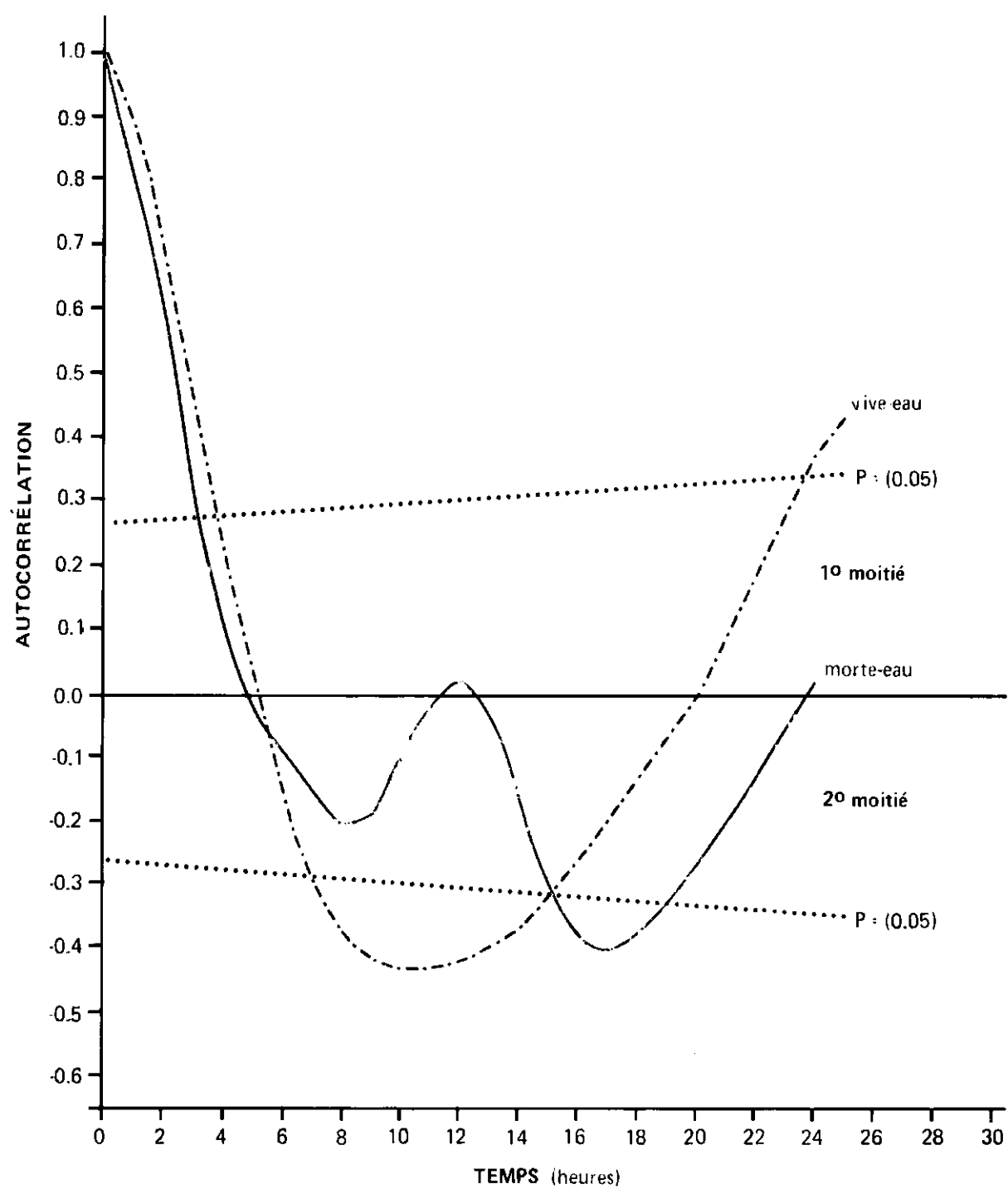


Figure 70. Autocorrélation de chacune des deux parties de la série du rapport P/B en lumière blanche saturante (DEMERS et LEGENDRE, 1979)

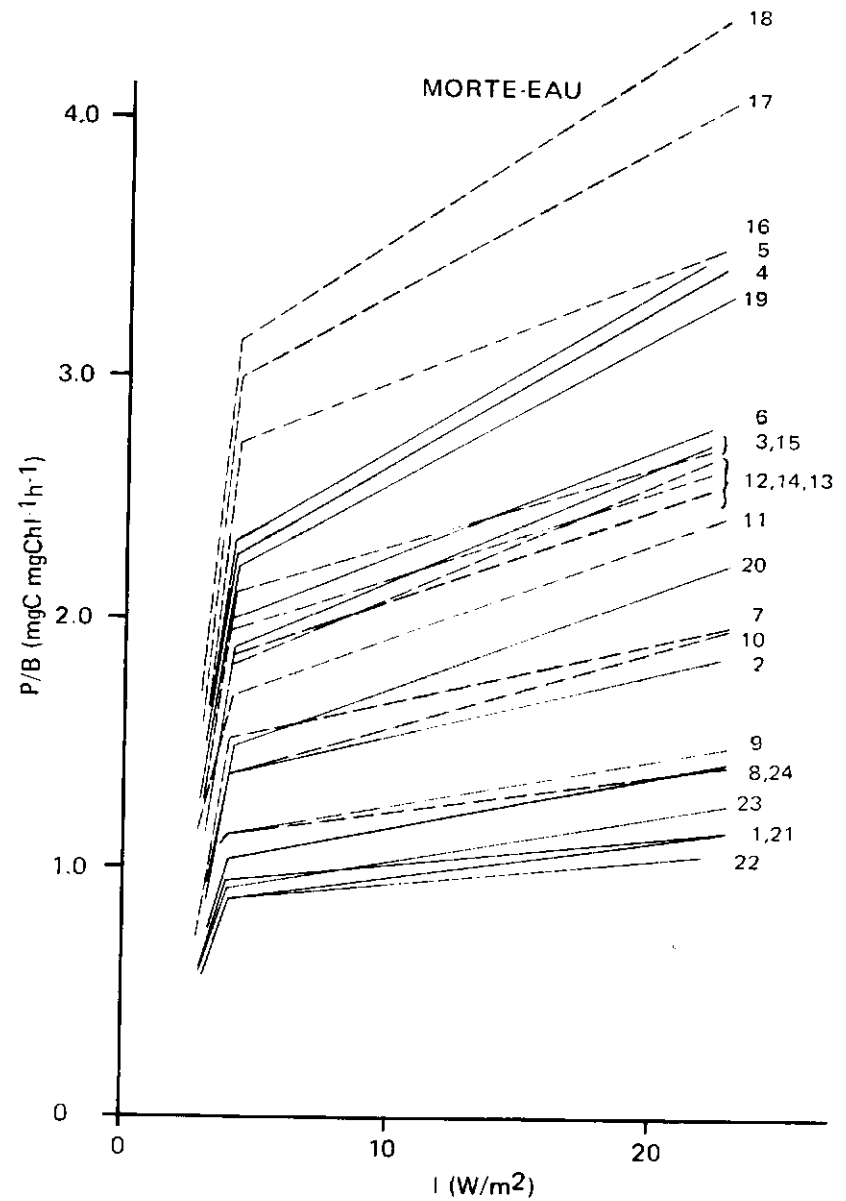
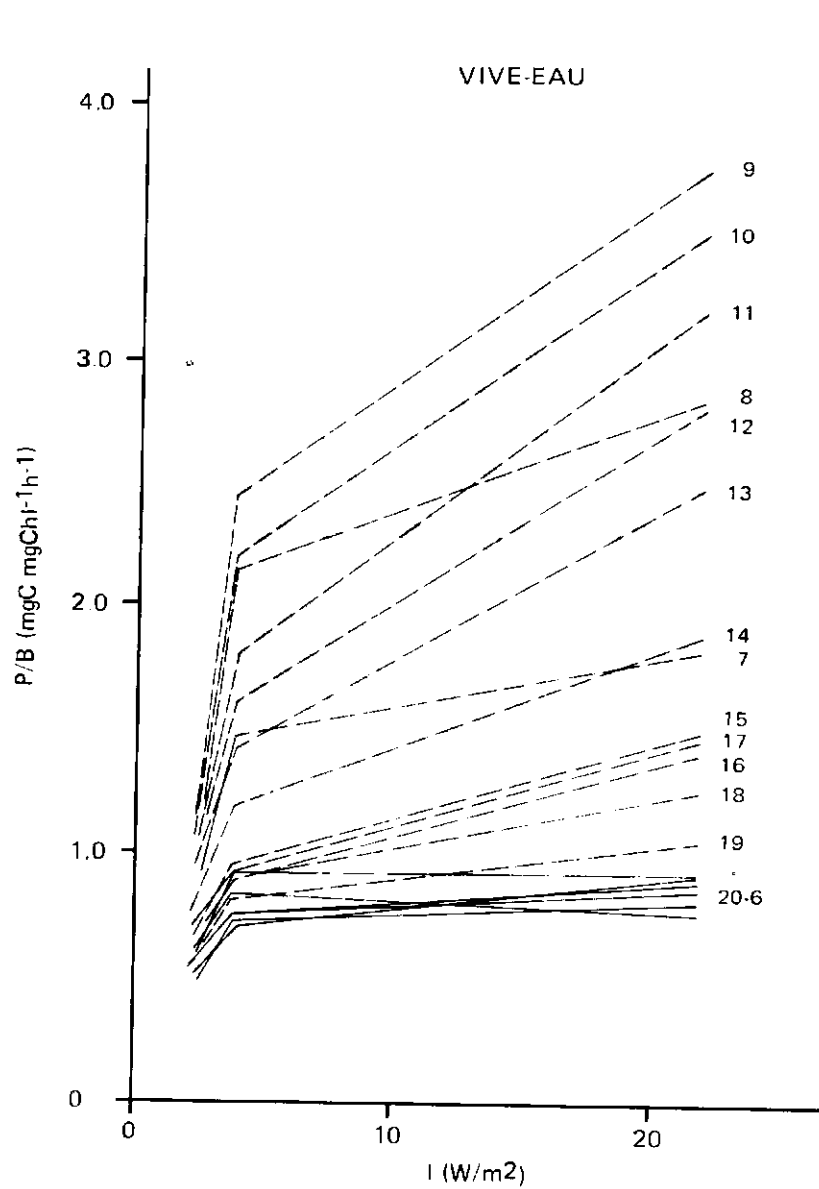


Figure 7I. Courbes de réponse photosynthétique du phytoplancton à la lumière, pour différentes heures de la journée (DEMERS et LEGENDRE, 1979)

On ne se surprendra donc pas de retrouver chez les organismes benthiques le même processus de disposition des espèces marines vers l'amont. C'est ce que l'on observe pour les Fucacées, les Laminariales, les Rhodophycées (Figures 72, 73, 74). La région de l'Ile aux Coudres apparaît donc critique dans la détermination des limites de distribution des algues benthiques du côté nord de l'estuaire. Sur la rive sud, il semble que les Laminariales soient plus sensibles aux conditions estuariennes que les deux autres groupes: leur limite de distribution se trouve beaucoup plus en aval.

La floristique des algues benthiques a fait l'objet de quelques travaux (Cardinal et Villalard, 1971, South et Cardinal, 1970, 1973).

L'inventaire de Cardinal et Villalard (1971) couvre une aire géographique plus étendue que les limites de l'estuaire moyen. Les auteurs observent 154 espèces, réparties dans les trois classes auxquelles ils se sont intéressés: les Chlorophyceae (50), Rhodophyceae (49) et Phaeophyceae (55). Le rapport R/P (Rhodophyceae/Phaeophyceae) est de .89. Il indique le caractère moins arctique de l'estuaire relativement au Labrador (R/P = .7). Toutefois, le rapport R/P obtenu pour l'ensemble de l'est du Canada (1.2) est plus élevé que celui de l'estuaire (Cardinal et Villalard, 1971). Les auteurs ont dressé la liste des espèces observées, y ajoutant l'endroit de collection et quelques indications de nature générale.

Les deux contributions de South et Cardinal (1970, 1973) permettent de dresser la liste des espèces observées dans tout l'est canadien (South et Cardinal, 1970) et brossent un historique des recherches floristiques sur les algues benthiques de l'est canadien, ainsi qu'une clé d'identification allant aux genres (South et Cardinal, 1973).

Gauthier et Lavoie (1975) ont étudié les discontinuités végétales à l'intérieur de l'archipel de Montmagny, en se fondant sur la distribution d'une cinquantaine de taxons. Ils

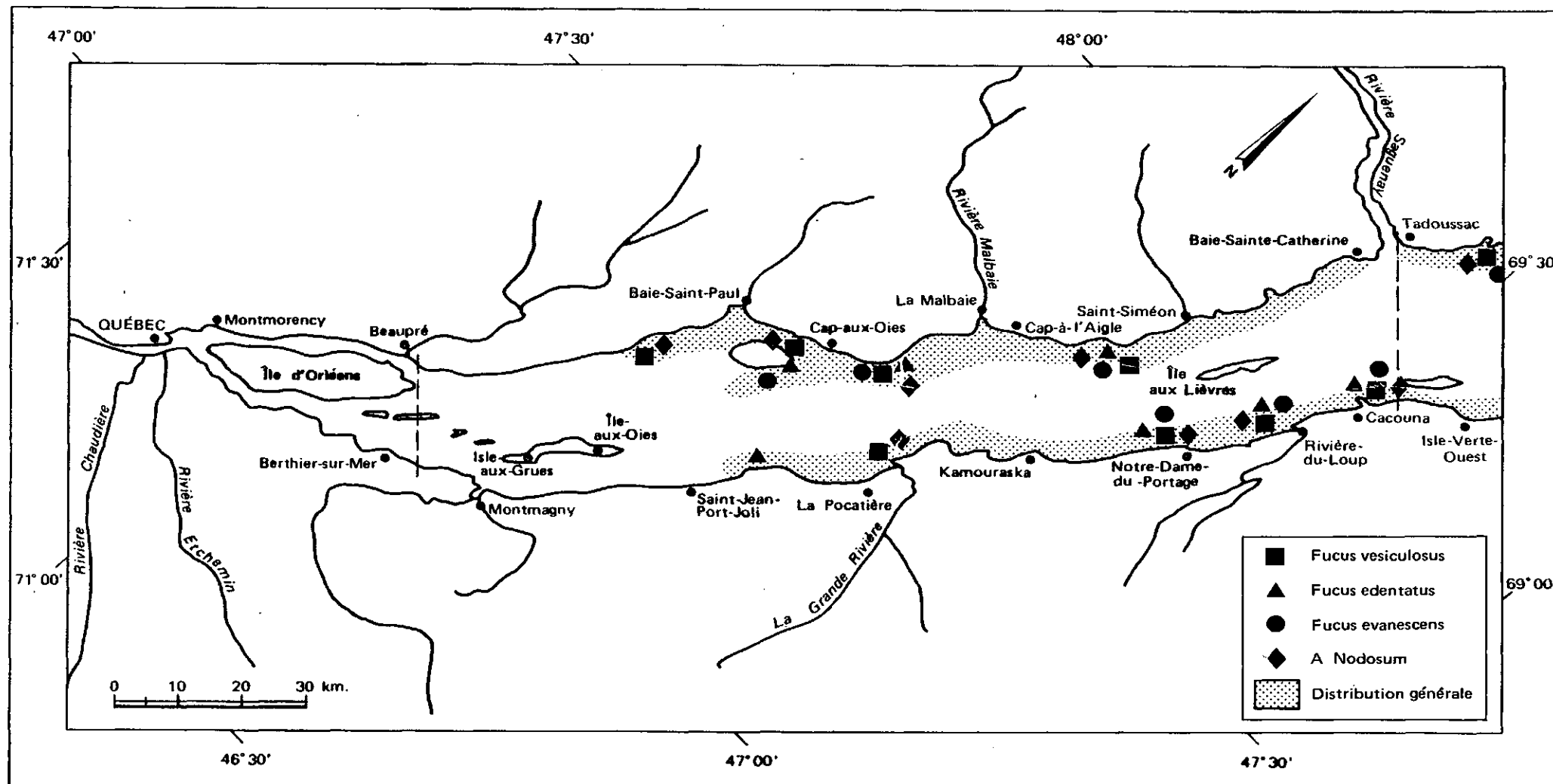


Figure 72. Distribution longitudinale des Fucacées
(COMITÉ D'ÉTUDE SUR
LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978 b)

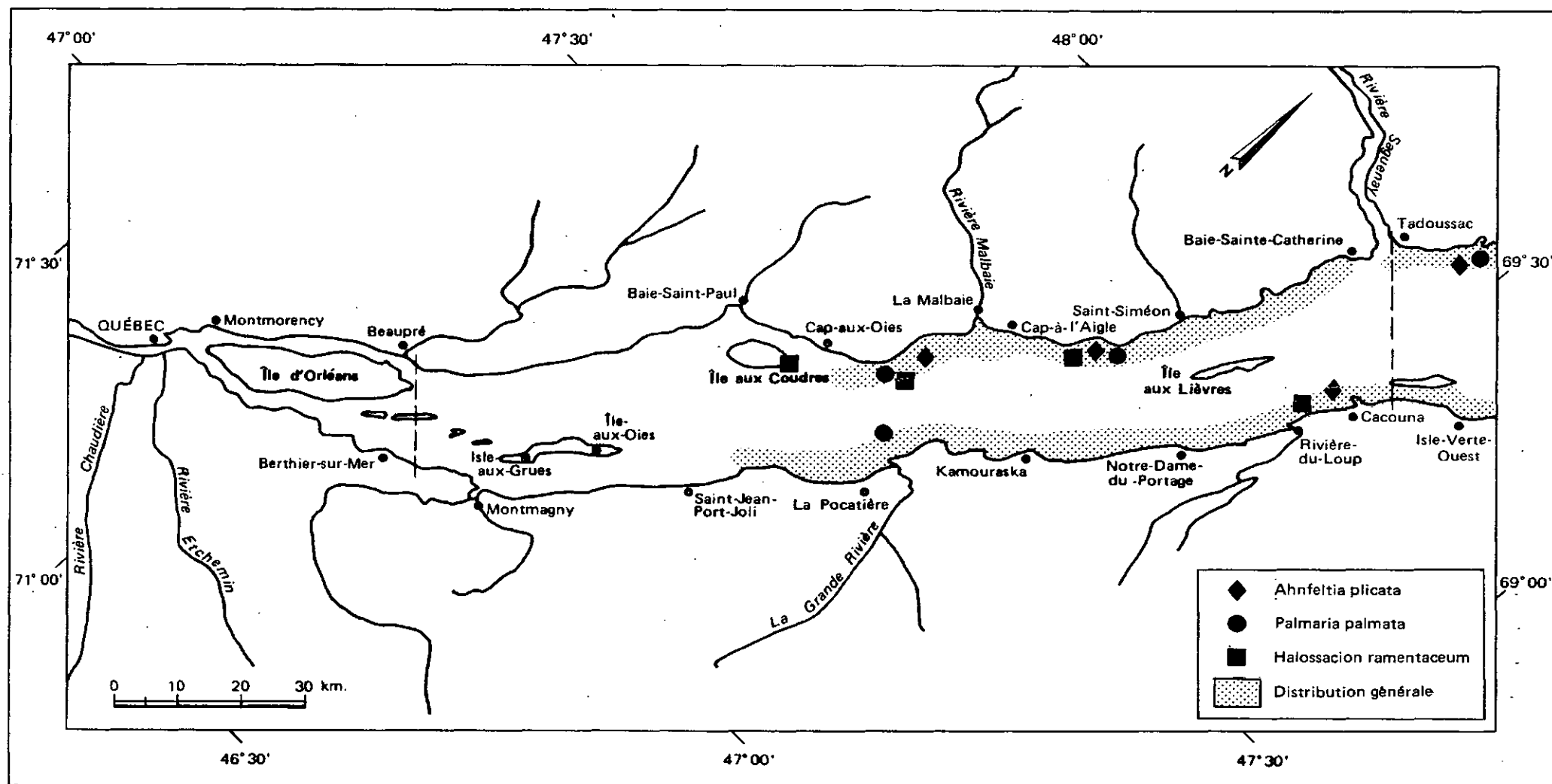


Figure 73. Distribution des Rhodophycées
(COMITE D'ETUDE SUR
LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978b)

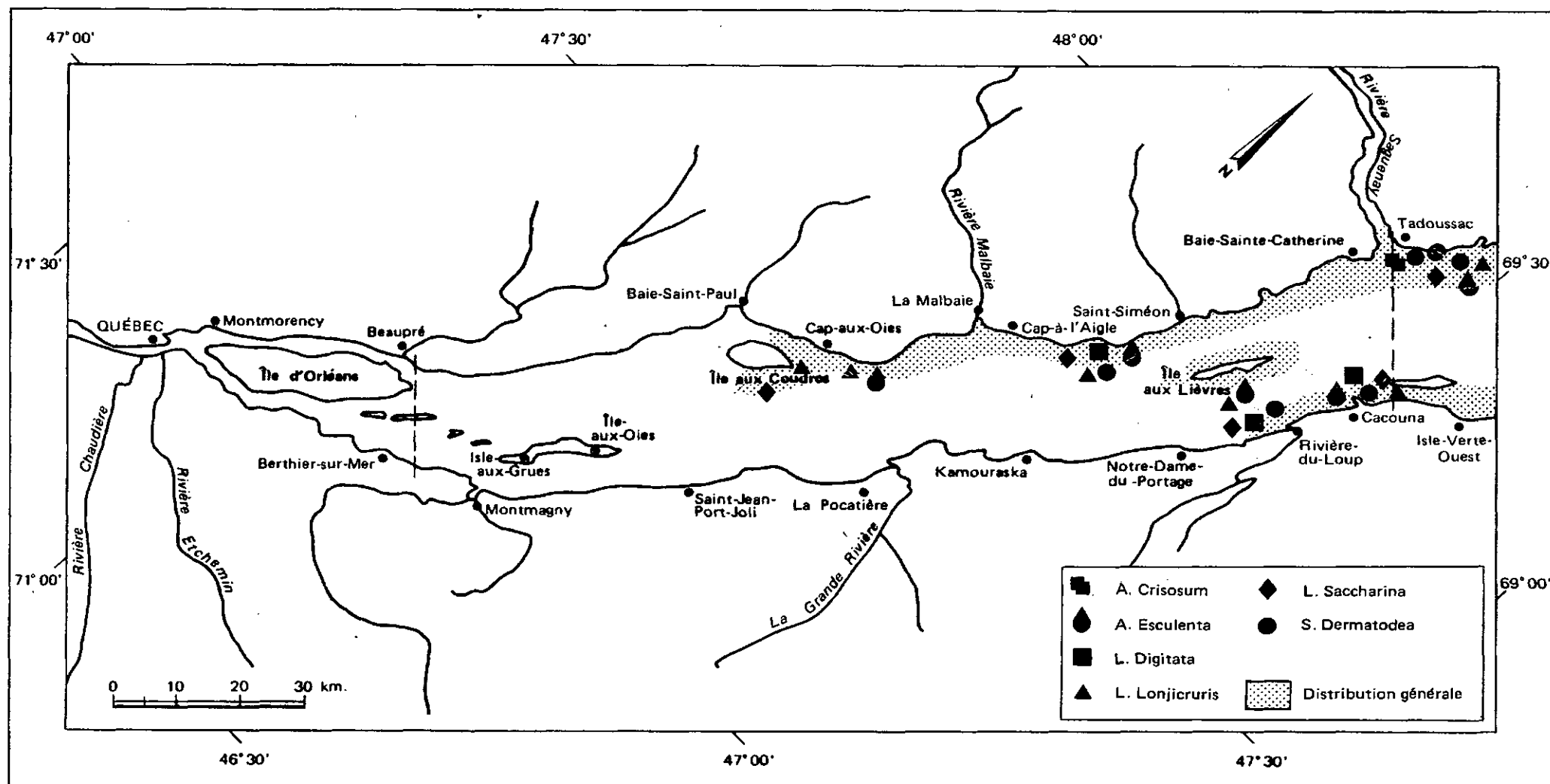


Figure 74. Distribution des Laminariales
(COMITÉ D'ÉTUDE SUR
LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978c)

obtiennent quatre zones principales de discontinuités représentées à la Figure 75. D'autres travaux de Gauthier (1977) permettent d'établir certaines subdivisions biogéographiques de l'estuaire moyen: les divisions coupent l'estuaire de biais (Figure 76), contrairement à la plupart des divisions proposées antérieurement (Gauthier, 1971).

Le Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny (Comité d'étude sur le St-Laurent, 1978) fournit des indications sur la distribution des marécages à scirpe et des marécages à spartine (Figures 77 et 78). On connaît le rôle de ces marécages dans l'écosystème estuarien, particulièrement en relation avec l'avifaune. Les marécages à scirpes servent de halte aux grandes oies blanches lors de leurs migrations, alors que le marécage à spartine est utilisé par le Grand héron, le bihoreau à couronne noire, la bernache du Canada et la bernache cravant, pour ne nommer que ces espèces (Reed et Moisan, 1971).

5.1.2.2 Production, écologie

L'étude des problèmes écologiques locaux semble faire défaut, particulièrement en ce qui concerne les algues benthiques. Ainsi, les travaux menés par Cardinal et quelques collaboratrices (Cardinal et Provencher, 1977; Breton-Provencher et Cardinal, 1976; Bérard-Therriault et Cardinal, 1973 a,b), concernant l'écologie des algues benthiques, ont été réalisés dans l'estuaire maritime, dans la région du Bic. On pourra consulter le volume 2 du rapport du Comité d'étude sur le Saint-Laurent (Comité d'étude sur le fleuve St-Laurent, 1978) qui permet une vue rapide de quelques-unes de ces questions. Des travaux récents de Breton-Provencher et al. (1979) et de Gagné (1977) sur la production des algues benthiques sont également menés dans l'estuaire maritime. Il ne semble donc pas y avoir de travaux traitant spécifiquement de l'écologie des algues benthiques dans l'estuaire moyen.

L'information actuellement disponible doit donc être extrapolée à partir de travaux réalisés dans d'autres régions. C'est

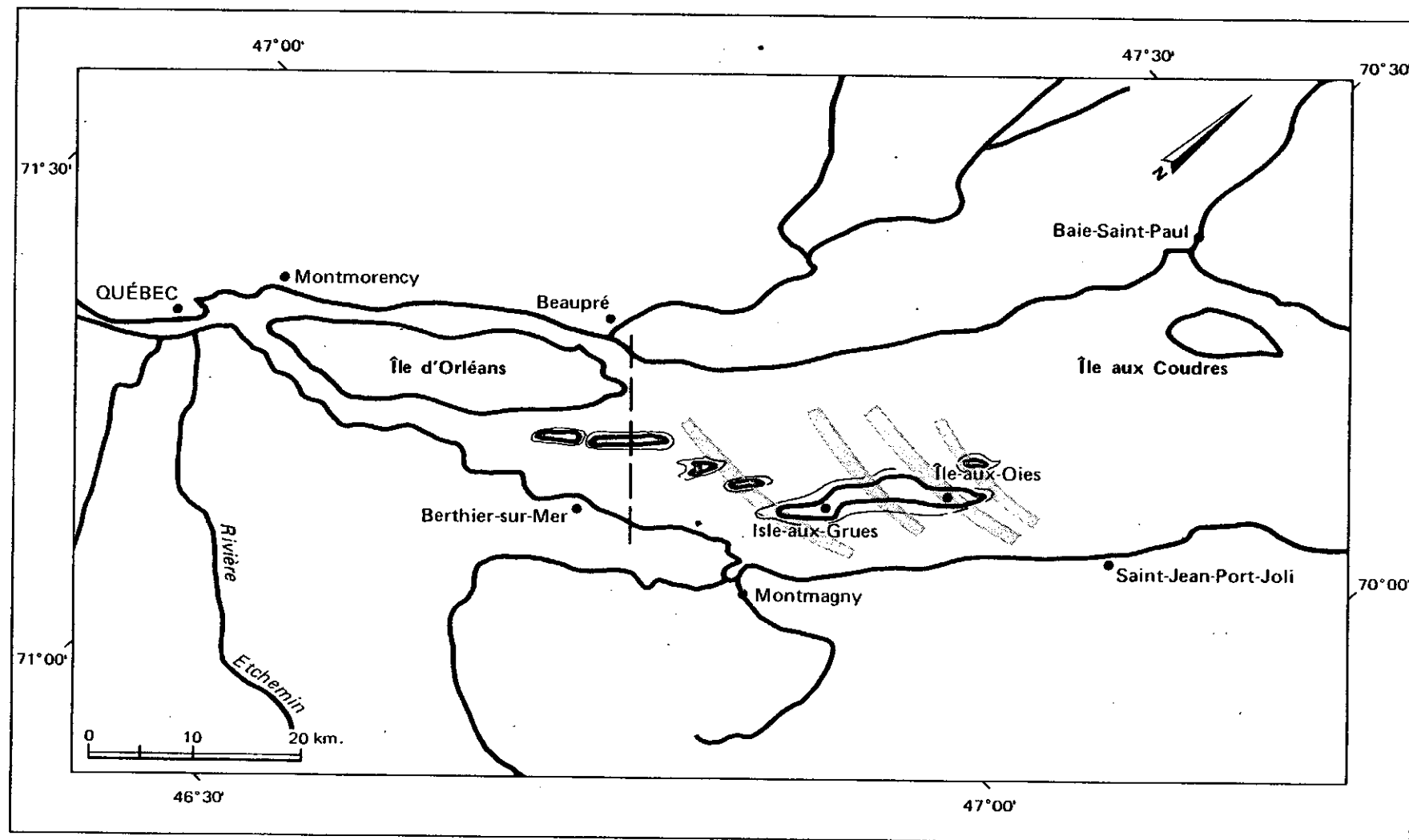


Figure 75. Limites hydrobiologiques, archipel de Montmagny
(GAUTHIER et LAVOIE, 1975)

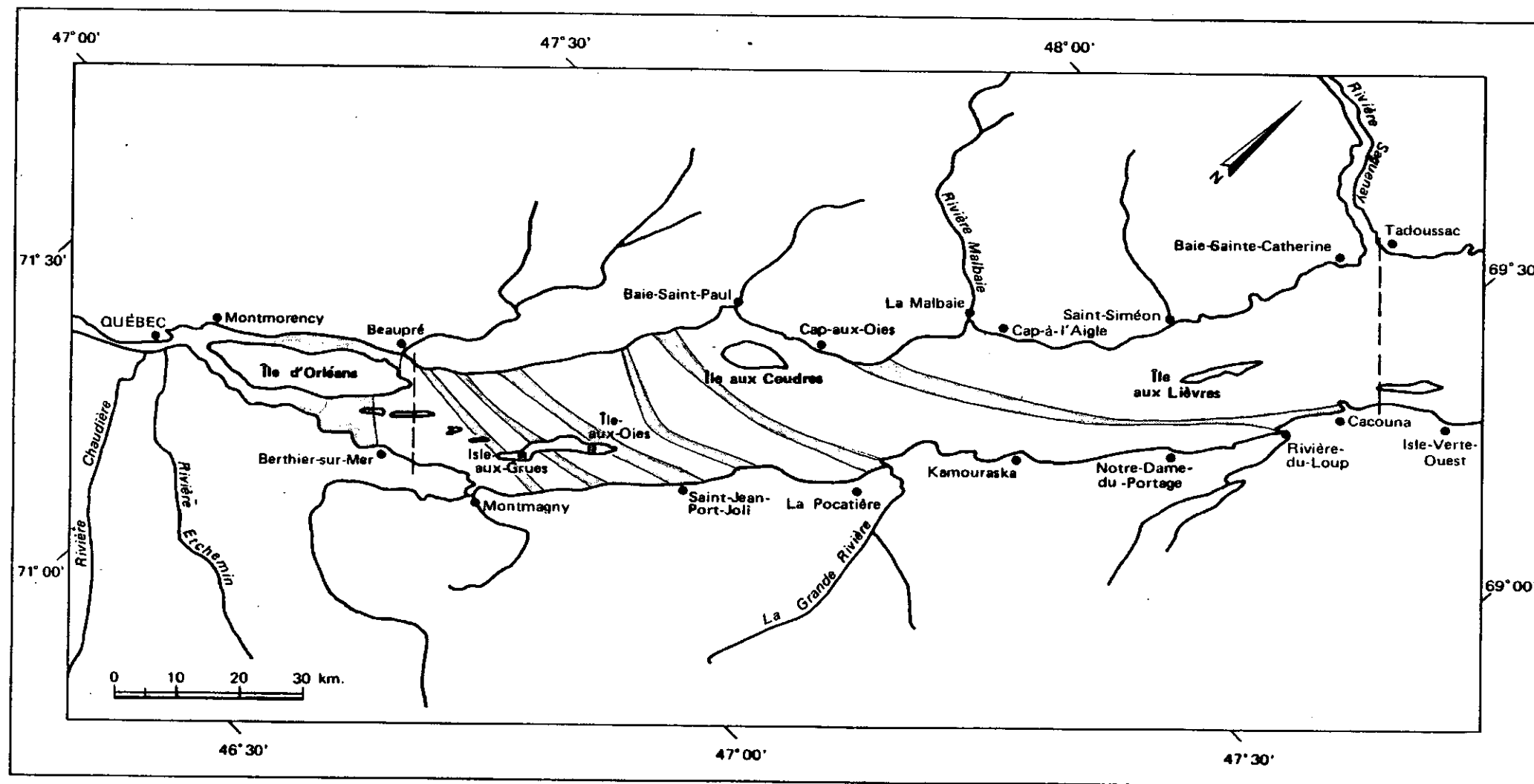


Figure 76. Subdivisions des milieux saumâtres et maritimes du Saint-Laurent (GAUTHIER, 1977)

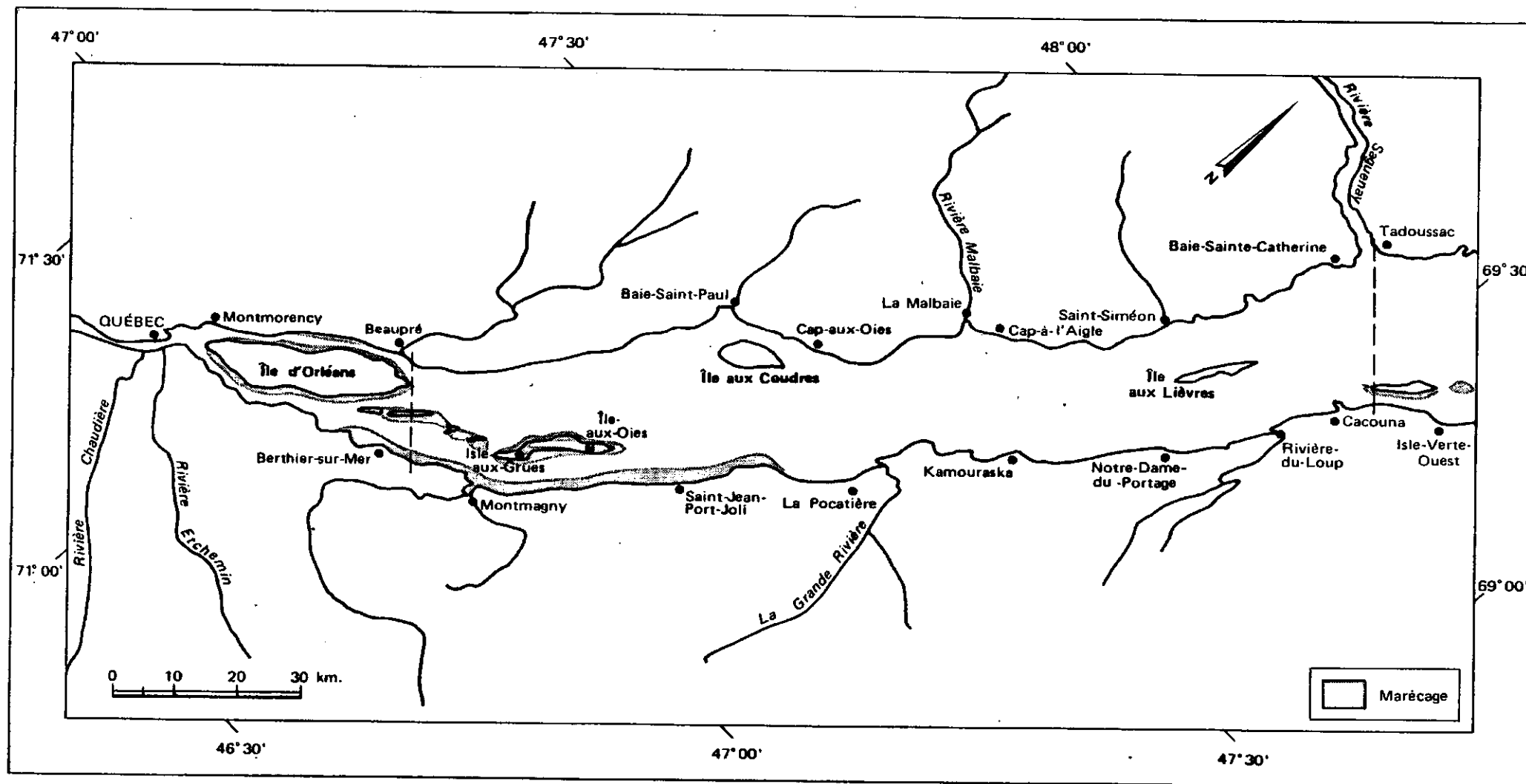


Figure 77. Distribution des marécages à *Scurpus americanus*
(COMITÉ D'ÉTUDE SUR
LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978a)

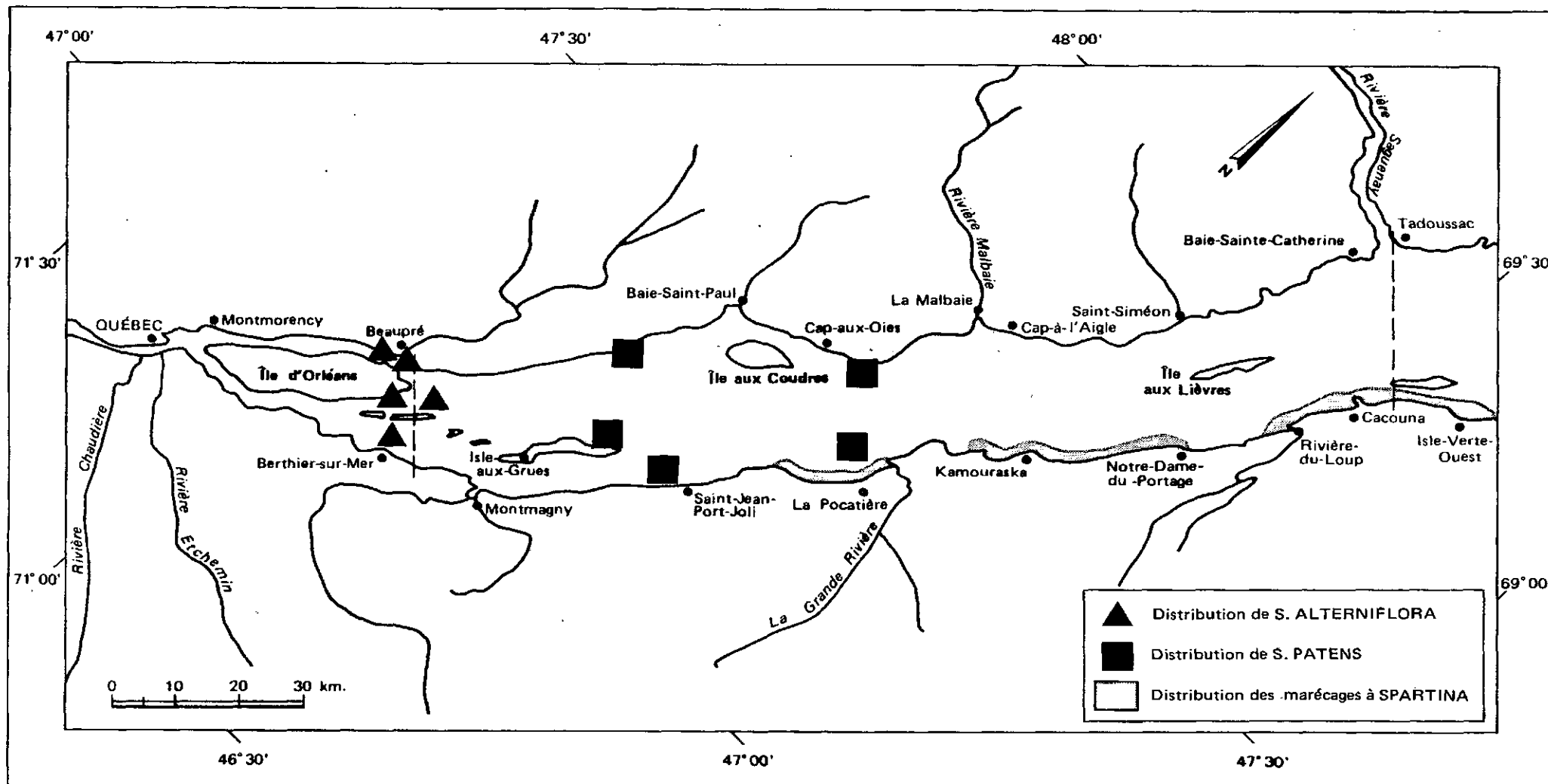


Figure 78. Distribution des marécages à *Spartina*
 (COMITÉ D'ÉTUDE SUR
 LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978a)

le procédé qu'utilisent Reed et Moisan (1971) dans leur discussion sur l'importance des marais à Spartina dans l'estuaire. La figure 79 représente la zonation typique d'un marécage à Spartina de l'estuaire du St-Laurent. Le rôle écologique des marais réside entre autres dans leur production élevée et leur importance pour l'avifaune. Ces considérations de Reed et Moisan (1971) font suite à la constatation de l'impact de certaines pratiques agricoles sur les marécages. Près du tiers de la surface des marais à Spartina de l'estuaire moyen a subi des aménagements agricoles (aboiteaux) dans le but d'augmenter les surfaces cultivables.

Selon Reed et Moisan (1971), ce sont là des "gains" pour le moins douteux, lorsque l'on compare la valeur écologique, récréative, éducative, esthétique et touristique des surfaces marécageuses ainsi éliminées aux valeurs agricoles qui les ont remplacées.

La végétation de la zone intertidale d'une partie de l'île d'Orléans (de Ste-Famille à la pointe d'Argenteuaye) a reçu l'attention de Lacoursière et Grandtner (1972). Ces auteurs y distinguent 13 associations végétales; 10 d'entre elles se rencontrent dans la prairie riparienne, 2 dans la saulaie arbustive et 1 dans la saulaie arborescente. Les auteurs observent donc une succession selon le niveau dans la zone intertidale. Cette succession s'accompagne d'une augmentation du nombre d'espèces dans chacune des associations, les associations des niveaux inférieurs étant caractérisées par un ombre d'espèces moindre que dans les niveaux supérieurs (Tableau 21). Les caractères édaphiques, autant que le niveau, seraient responsables de la distribution des habitats. Leur importance respective n'a toutefois pu être quantifiée.

D'autre part, Carbonneau et Tremblay (1972) ont tenté en vain de mettre en évidence la capacité de Scirpus americanus à assimiler les métaux lourds en suspension.

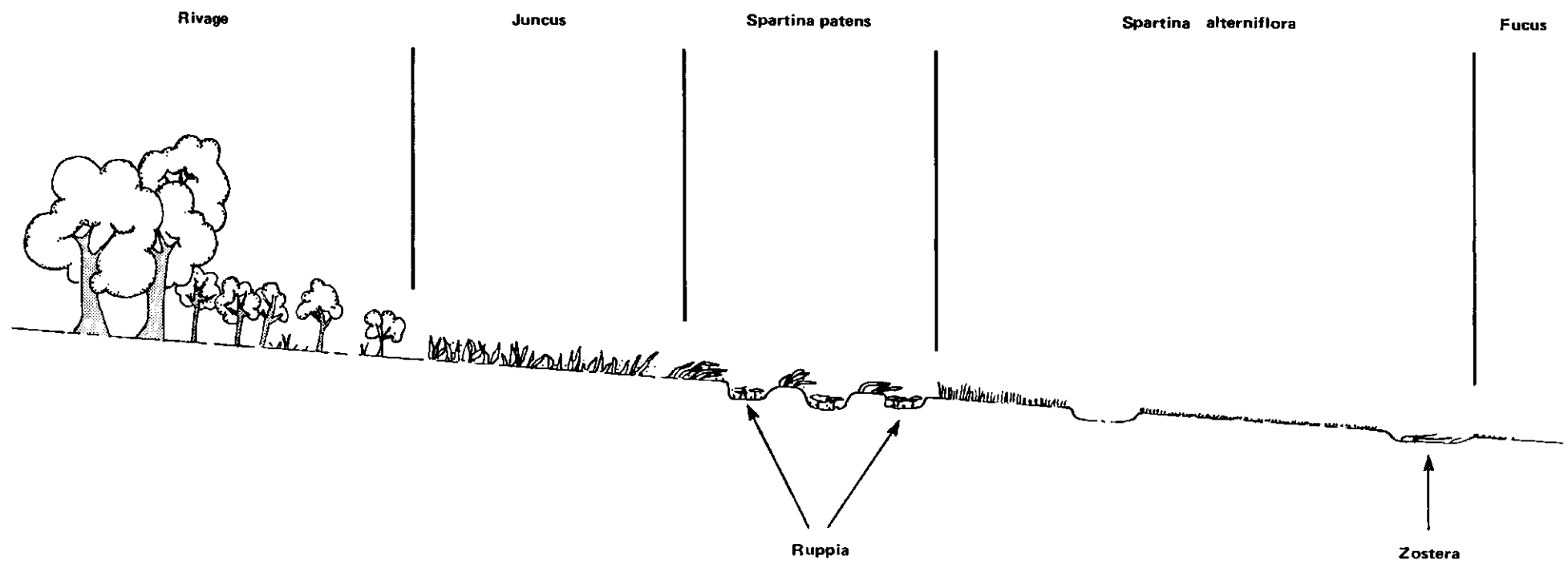


Figure 79. Coupe schématique d'un marécage intertidal du Saint-Laurent
(REED et MOISAN, 1971)

Tableau 21. Richesse floristique des groupements étudiés
dans le littoral de l'île d'Orléans
(Lacoursière et Grantner, 1972)

Richesse floristique des groupements étudiés		
Groupements	Nombre total d'espèces	Nombre moyen d'espèces par relevé
A) Formant des zones successives		
Scirpaie américaine typique	2	2
Scirpaie américaine à <i>Sagittaria rigida</i>	5	3
Scirpaie américaine à <i>Sagittaria cuneata</i>	6	4
Scirpaie américaine à <i>Sium suave</i>	31	9
Scirpaie américaine à <i>Eupatorium perfoliatum</i>	53	20
Spartinaie pectinée	28	18
Saulaie rigide	53	24
Saulaie discolore	55	23
Saulaie fragile	49	24
B) Formant des enclaves		
Scirpaie vigoureuse	10	5
Sagittaie latifoliée	23	7
Roselière latifoliée	30	16
Rubanaie à gros fruits	48	21
Groupements aquatiques	15	7

5.2 La production secondaire

5.2.1 Le zooplancton

5.2.1.1 Espèces, distribution et biomasse.

Il n'y a pas, à notre connaissance, de relevé faunistique sur le zooplancton analogue aux relevés floristiques que nous avons rencontrés précédemment. On pourra toutefois se faire une idée des espèces présentes en consultant différents travaux (Bousfield et al, 1975 Amphipodes, cladocères, copépodes, cirripèdes, emphausiacées, mysidacées; Tattersall, 1954, mysidacées; Comité d'étude sur le St-Laurent, 1978, la crevette Grangon septemspinosus). D'autre part, Cardinal et al (1977) n'ont pu observer aucun Tintinnidé dans les échantillons qu'ils avaient prélevés dans l'estuaire moyen, contrairement à ceux de la Baie des Chaleurs, de l'estuaire maritime du St-Laurent et du Fjord du Saguenay.

5.2.1.2 Ecologie

Le zooplancton de l'estuaire moyen a fait l'objet de recherches de la part du GIROQ depuis 1978. Le présent exposé traitera cependant surtout des travaux de Bousfield et al (1975), résumés par Poulet (1976).

Sa description se lit comme suit:

" Parmi 25 espèces identifiées appartenant à divers phyllums et classes, seules 16 espèces furent analysées par Bousfield et al (1975). Le zooplancton est caractérisé par le fait que la diversité et l'abondance des espèces sont très faibles. On distingue trois populations principales:

Espèces marines côtières

Ces organismes pénètrent dans l'estuaire moyen par

l'intermédiaire de masses d'eau salée profondes. Il s'agit des copépodes Calanus finmarchicus, C. hyperboreus, Acartia clausi, Oithona sp. et quelques spécimens d'euphausiacées du type Thysanoessa sp. Ces espèces ne se reproduisent pas dans cette zone de l'estuaire. Par contre, les espèces de copépodes Acartia longiremis et Eurytemora herdmani se reproduisent dans cette partie de l'estuaire. On rencontre également des larves planctoniques de cirripèdes, Balanus crenatus.

Espèces endémiques

Ces espèces s'accommodent des eaux tempérées et saumâtres de l'estuaire moyen. Elles comprennent les copépodes Eurytemora affinis, Ectinosoma curticorne, les mysidacées, Neomysis americana, Mysis gaspensis et M. stenolepis; et les stades de développement de l'amphipode Gammarus tigrinus.

Espèces d'eau douce

Cela comprend des espèces caractéristiques de l'estuaire supérieur des copépodes diatomidès et essentiellement des cladocères du type Bosmina longirostris, Daphnia sp. et Epishchura. Ces organismes pénètrent dans l'estuaire moyen et sont rapidement tués lorsqu'ils rencontrent des salinités croissantes (5-15 ‰)."

Poulet (1976) résume d'autre part la notion d'abondance du zooplancton dans l'estuaire moyen comme suit:

"Les études de Bousfield et al. (1975) permettent de distinguer deux régions d'abondance en ce qui concerne le zooplancton:

Les secteurs limités en amont et en aval par les eaux douces et saumâtres.

Les parties profondes des chenaux existant dans l'estuaire moyen.

Les organismes sont généralement trois fois plus nombreux en amont de la zone saumâtre qu'en aval. Dans la partie inférieure de l'estuaire moyen, les organismes sont plus abondants

vers la rive nord que vers la rive sud. La plus faible concentration de zooplancton est observée au niveau de l'Ile aux Coudres où les plus forts gradients de salinité se localisent.

D'une façon générale le nombre d'organismes varie de 0.4 à 9 individus par litre, soit 400 à 9,500 zooplanctontes par mètre cube d'eau, pendant la période estivale (juin-septembre). Ces niveaux d'abondance sont relativement faibles comparés à d'autres zones (estuaire maritime et golfe du St-Laurent). Cependant, il faut tenir compte du fait suivant: Les conditions physiques peu favorables entraînent la survivance précaire ou la mort de ces organismes. Cependant, ils peuvent être amenés à s'accumuler dans des zones avalées sous l'effet de la circulation (embouchure du Saguenay). Ces zones d'accumulation correspondent aux secteurs où l'on observe une densité accrue de poissons (capelan, larves de hareng) qui s'en nourrissent et de baleines blanches qui se nourrissent à leur tour de ces poissons."

5.2.2 Les organismes benthiques

5.2.2.1 Espèces, distribution et écologie

Nous avons remarqué pour le phytoplancton et les algues benthiques que les espèces marines disparaissent vers l'amont. Cette règle s'applique encore pour les organismes benthiques. Ceci s'observe à l'examen de la carte de distribution d'espèces comme la mye commune (Mya arenaria), le buccin (Buccinum undatum), la moule bleue (Mytilus edulis) et un polychète, (Nereis virens). Ces distributions sont représentées aux Figures 80, 81, 82 et 83, tirées du rapport du Comité d'étude sur le St-Laurent (1978). La mye commune, qui s'enfouit dans les substrats littoraux vaseux et sableux a fait l'objet d'une attention particulière,

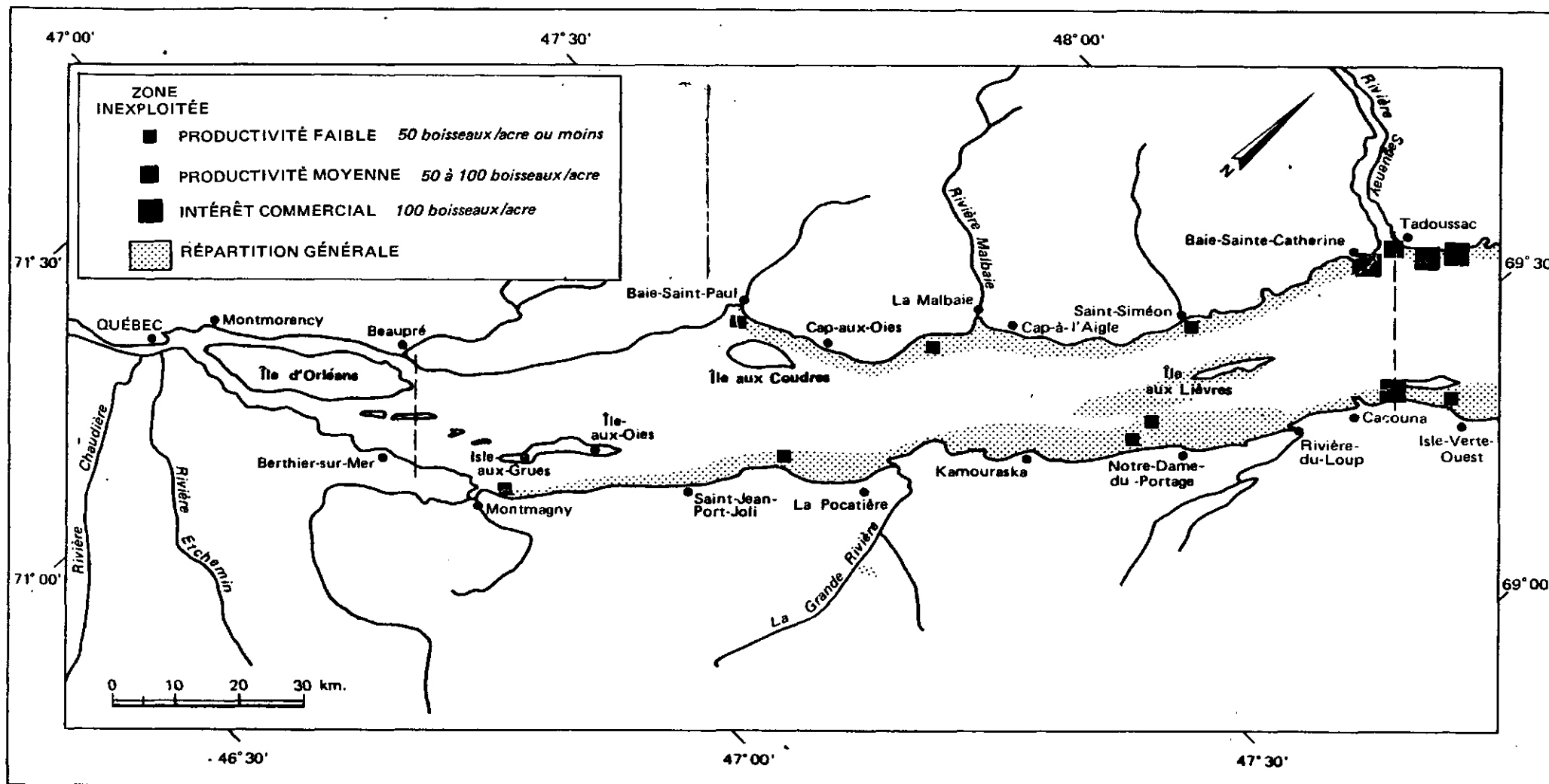


Figure 80. Répartition du *Mya arenaria*
(COMITÉ D'ÉTUDE SUR
LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978a)

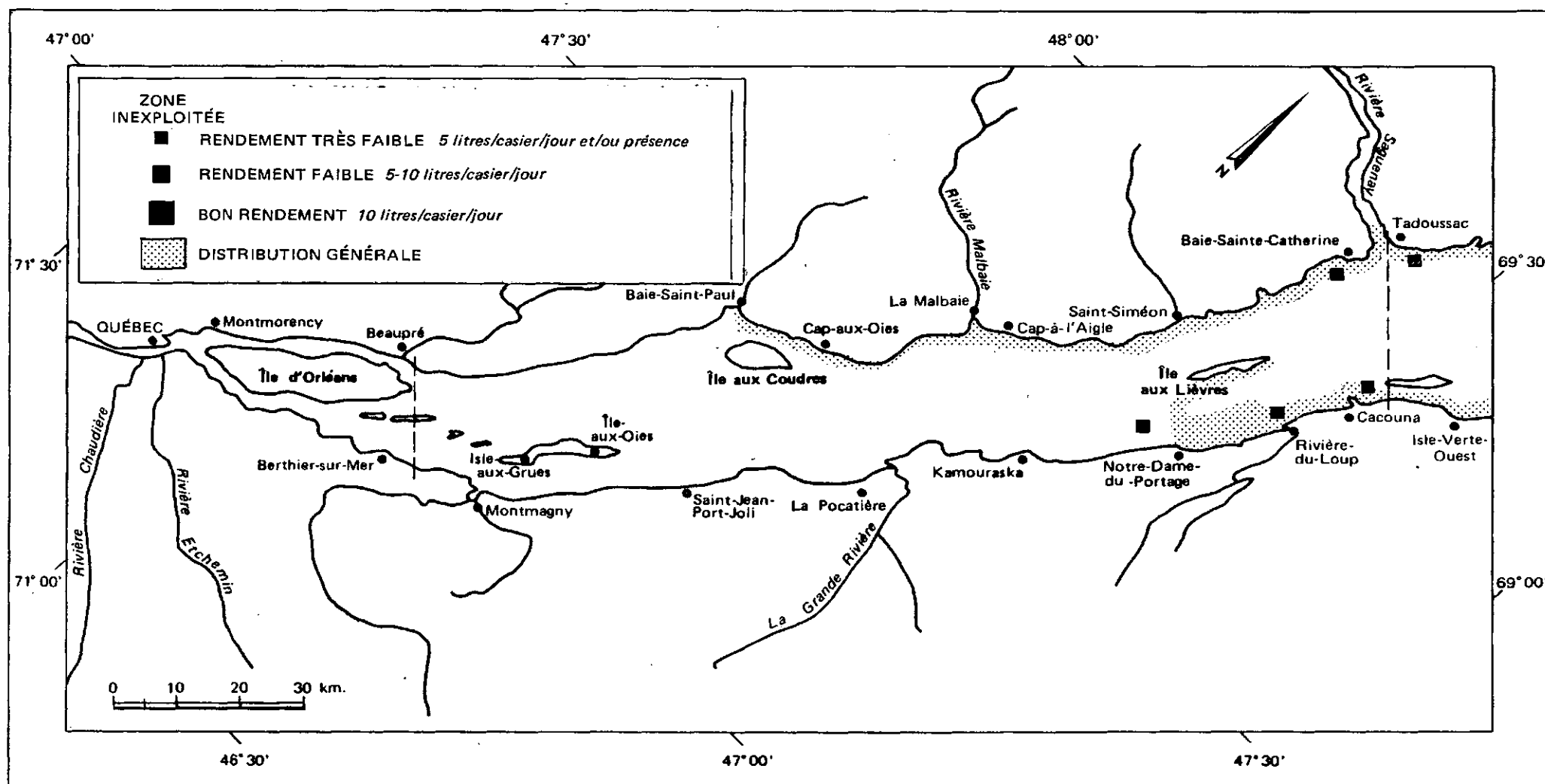


Figure 8I. Distribution de *Buccinum undatum*
(COMITÉ D'ÉTUDE SUR
LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978a)

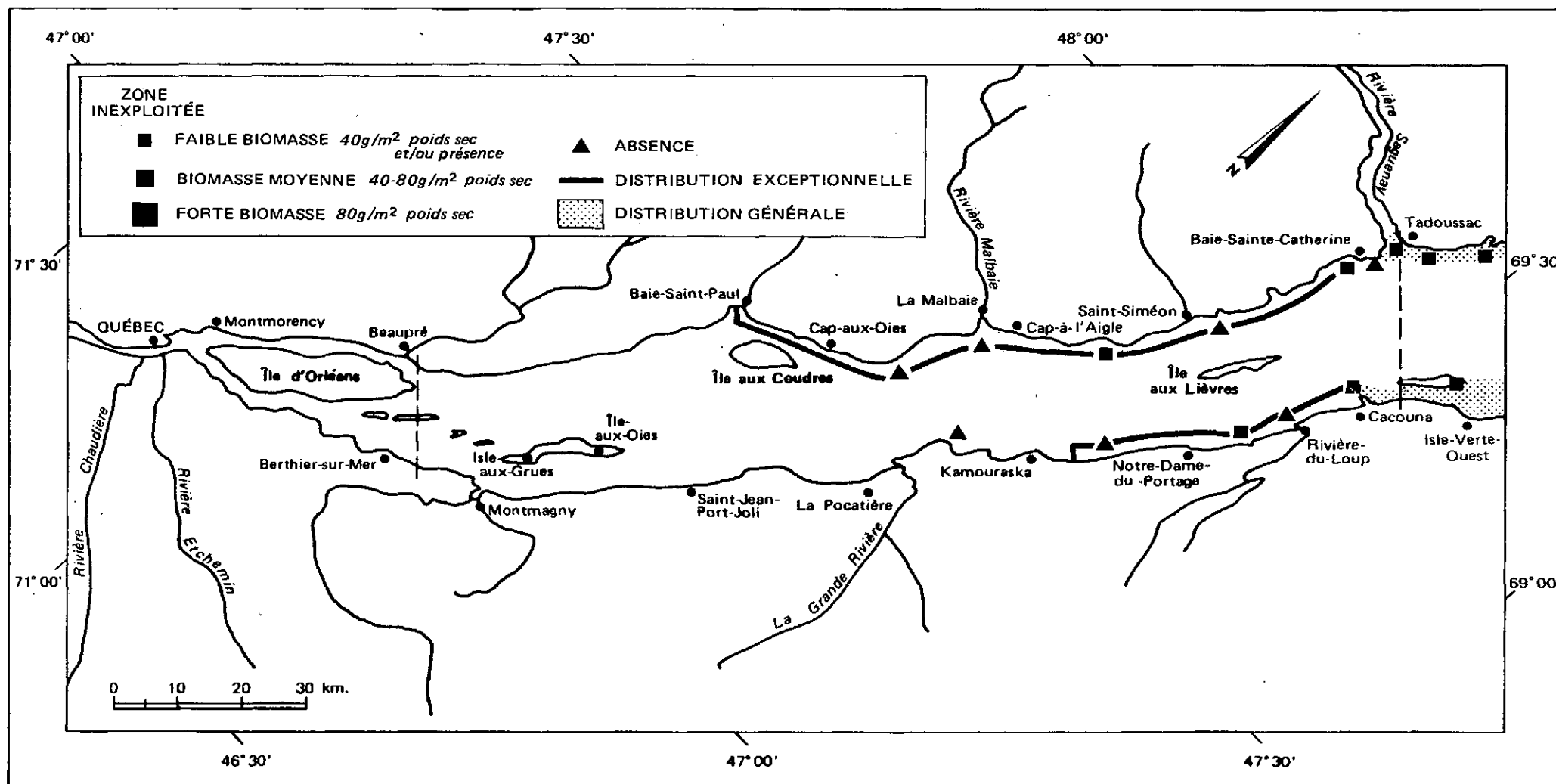


Figure 82. Distribution de *Mytilus edulis*
(COMITÉ D'ÉTUDE SUR
LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978a)

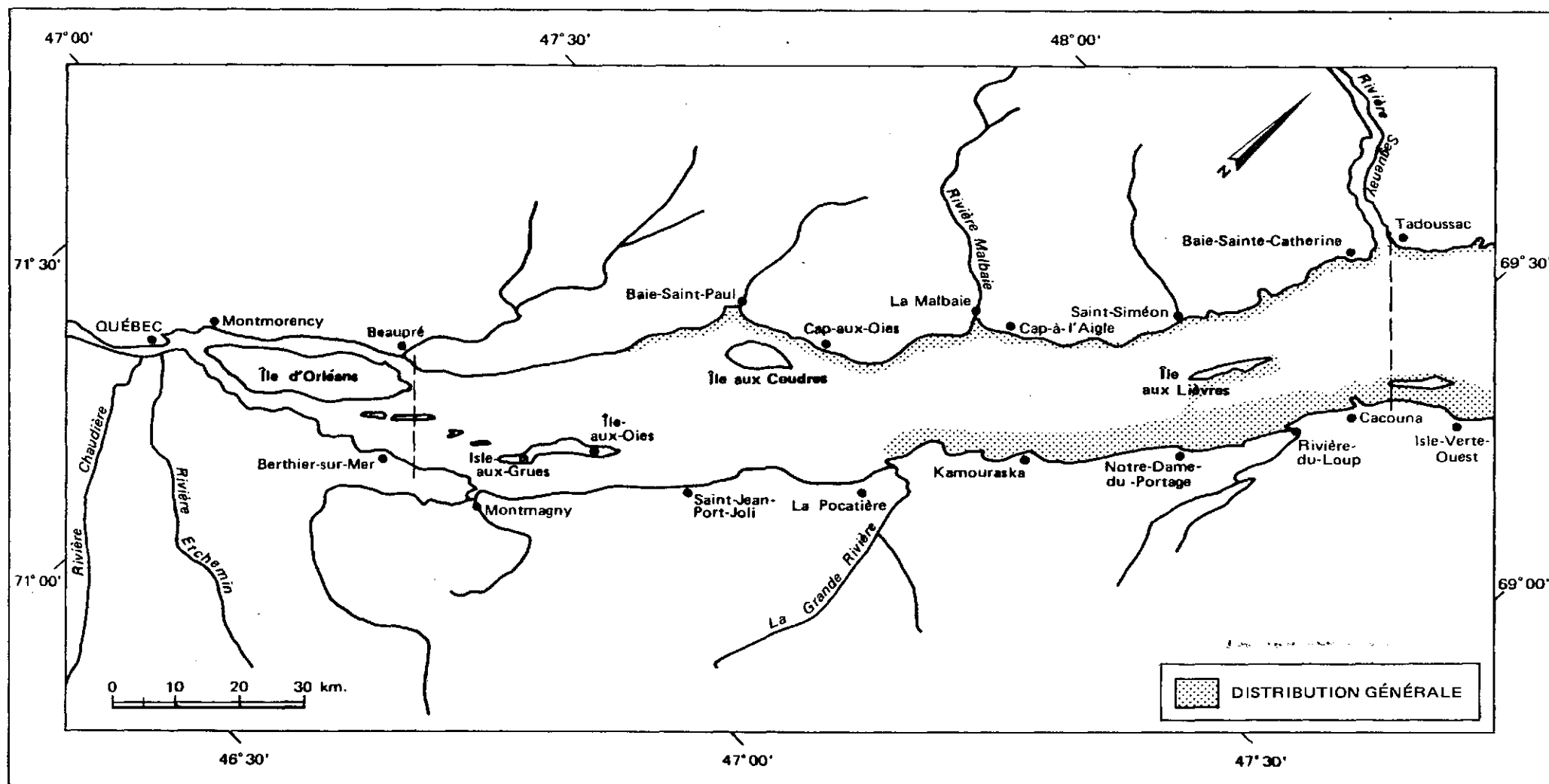


Figure 83. Distribution de *Nereis virens*
(COMITÉ D'ÉTUDE SUR
LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978a)

et Lamoureux (1977) en a estimé l'importance des stocks commerciaux au Québec. Aucune information ne semble présentement disponible sur le benthos du large, si ce n'est la mention, par d'Anglejan et Brisebois (1978), de l'association de fortes densités de polychètes avec la couche superficielle des sédiments de l'estuaire. Leur échantillonnage à l'aide d'une drague a permis également l'observation de nombreuses ophiures.

Les travaux d'écologie expérimentale de Bourget et Lacroix (1972, 1973) sont actuellement les seuls à traiter de l'écologie du zoobenthos marin de l'estuaire moyen. La zone étudiée couvre surtout l'estuaire maritime, mais englobe également l'estuaire moyen. Des 60 espèces identifiées, 3 seulement furent considérées comme abondantes: une espèce de polychète, Polydora ciliate, et deux Cirripèdes, Balanus balanoides et B. crenatus.

Les observations faites sur des plaques d'échantillonnage artificielles révèlent l'importance de la préparation des plaques pour la colonisation. Dans le même ordre d'idées, il appert que les plaques subissent certaines modifications écologiques, les faisant passer par des stades successifs d'inhibition, de suppression de cette inhibition (accompagnée d'une intensification de la colonisation) et finalement, une seconde phase d'inhibition (due à la présence d'algues et d'autres organismes sur les plaques) (Bourget et Lacroix, 1972).

Les périodes de colonisation sont de courte durée et restreintes aux mois de juin, juillet et août. Un pic d'abondance est observé pendant la fixation. La compétition inter et intraspécifique, l'accumulation des sédiments et les conditions hydrographiques automnales viennent réduire les densités.

Les auteurs signalent finalement que si la dynamique de la communauté épibenthique est régie par des facteurs biologiques pendant la saison estivale, les facteurs physiques deviennent prépondérants à l'automne et à l'hiver.

5.2.3 Les poissons

L'ouvrage de Leim et Scott ("Fishes of the Atlantic coast of Canada", 1966) constitue la principale source d'informations sur les espèces marines de l'est canadien. On y traite, indirectement, des espèces peuplant l'estuaire moyen. En plus de permettre l'identification des spécimens, ce livre renferme des informations générales sur la distribution et l'écologie des espèces décrites.

Cependant, Bergeron (1960) offre une approche plus directe au recensement des espèces marines de l'estuaire.

L'ouvrage de Scott et Grossman (1974) traitant des poissons d'eau douce du Canada constitue un complément au document de Leim et Scott (1974).

Par ailleurs, on trouvera dans le Rapport du Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent (1978a) des informations sur la distribution de l'anguille, du capelan, de l'éperlan, du poulamon, du saumon, du hareng, de l'esturgeon jaune et de l'esturgeon noir, de l'aloise savoureuse, de la truite de mer, du bar d'Amérique et de la plie rouge. Ces indications s'accompagnent d'informations sur l'écologie de ces différentes espèces.

A ce chapitre, quelques espèces en particulier semblent avoir retenu l'attention; il s'agit de l'éperlan, du capelan et du hareng.

Ainsi, Magnin et Beaulieu (1965) observent chez l'éperlan (*Osmerus mordax*) une double migration annuelle: ce poisson anadrome effectue au printemps une première migration vers les rivières pour frayer. A l'été, on le retrouve dans l'estuaire, qu'il quittera en octobre pour se déplacer à nouveau vers l'amont. Il passe l'hiver dans l'estuaire, un peu plus en aval qu'à l'été. Ces résultats sont illustrés aux Figures 84, 85, 86 et 87. Il semblerait de plus n'y avoir qu'une seule population d'éperlans. Cette observation contraste avec les résultats de Sharp, Able, Legget et Corncadden (1978) pour le capelan (*Mallotus villosus*). A l'aide de critères morphométriques,

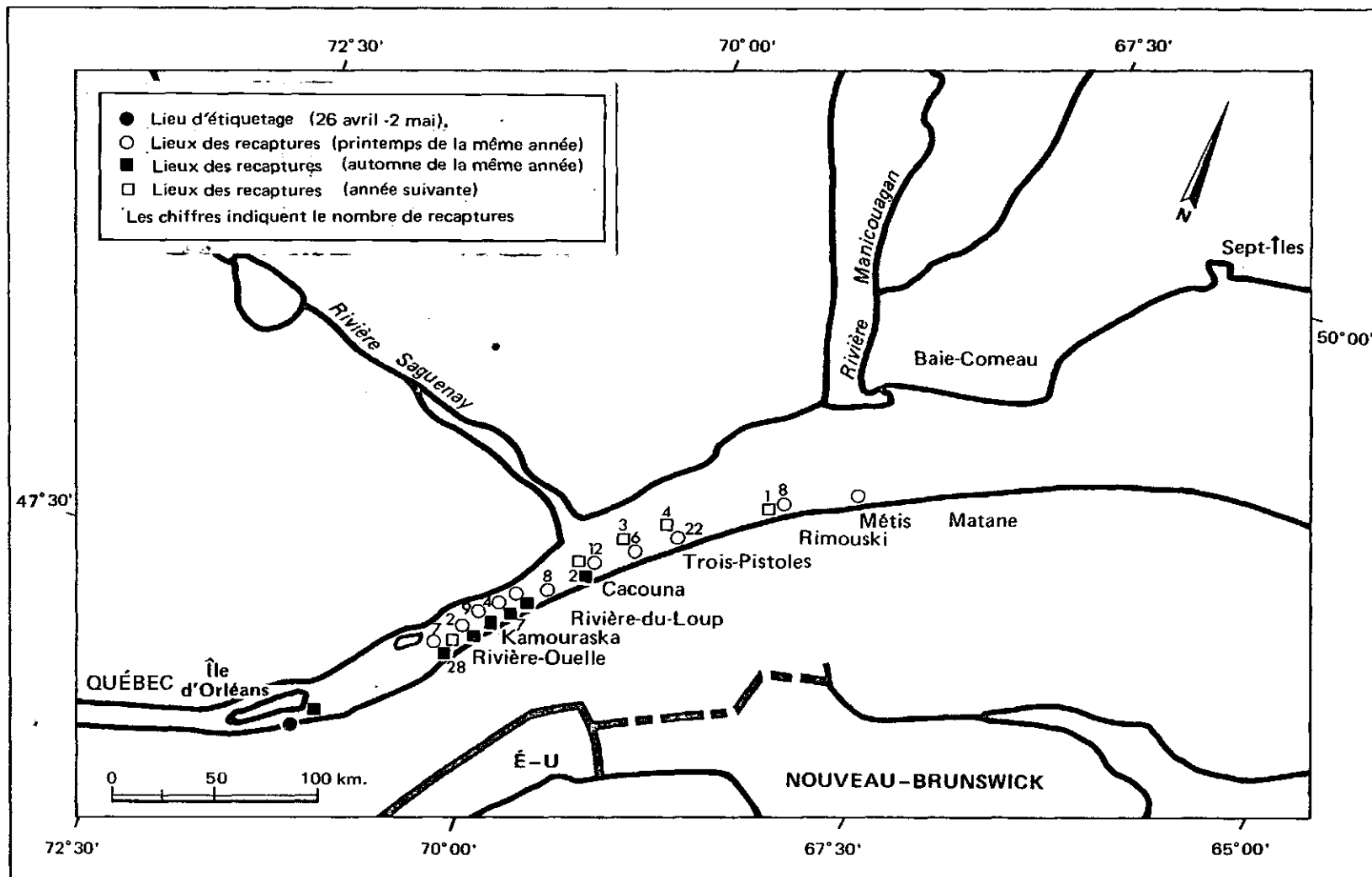


Figure 84. Données de marquage d'éperlans. (*Osmerus mordax*)
(MAGNIN et BEAULIEU, 1965)

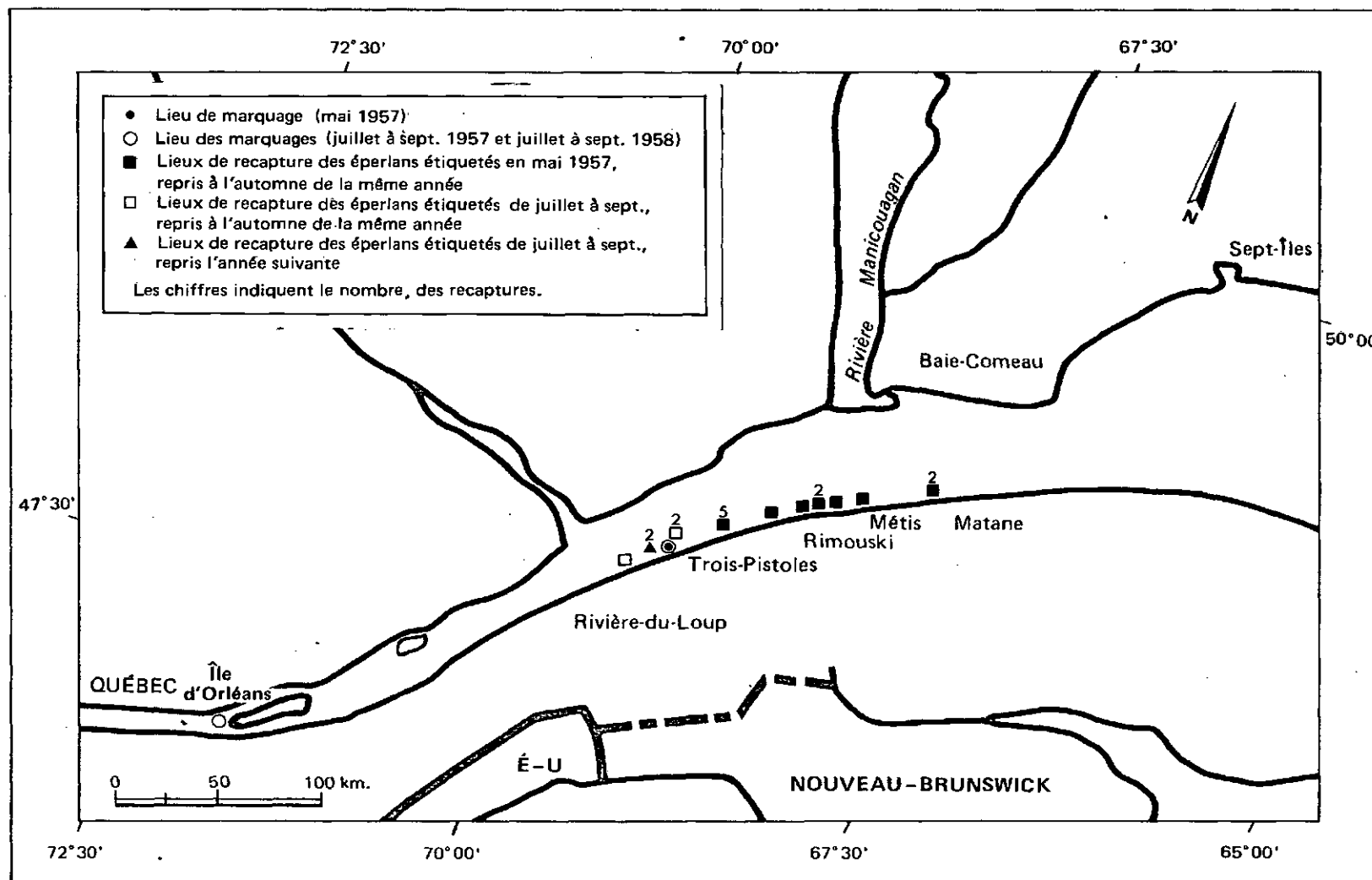


Figure 85. Données de marquage d'éperlans. (*Osmerus mordax*). Trois-Pistoles, fin de mai 1957 et de juillet à septembre en 1957 et en 1958. (MAGNIN et BEAULIEU, 1965)

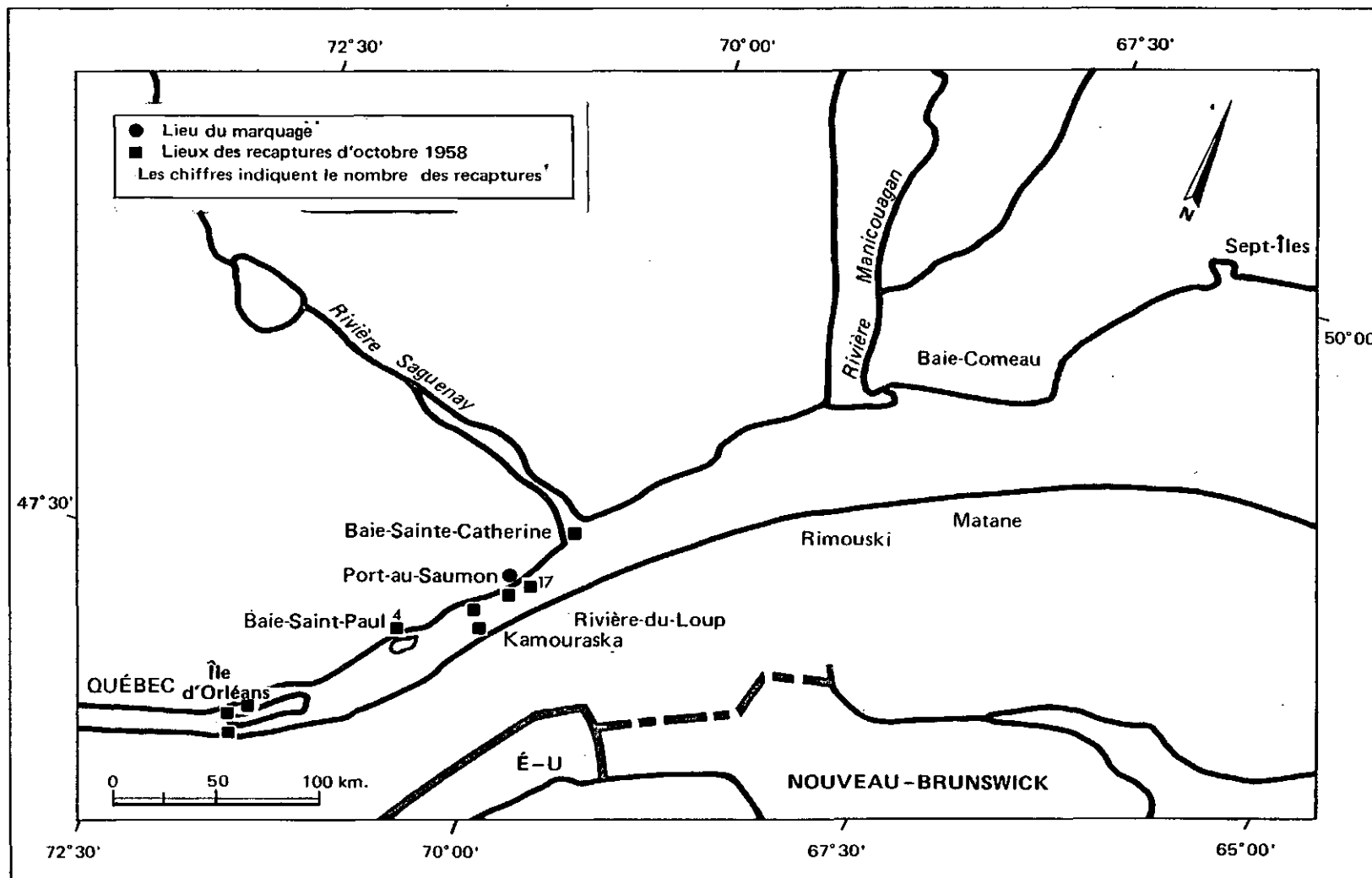


Figure 86. Données de marquage d'éperlans, (*Osmerus mordax*), Port-au-Saumon, 9 juillet 1958 (MAGNIN et BEAULIEU, 1965)

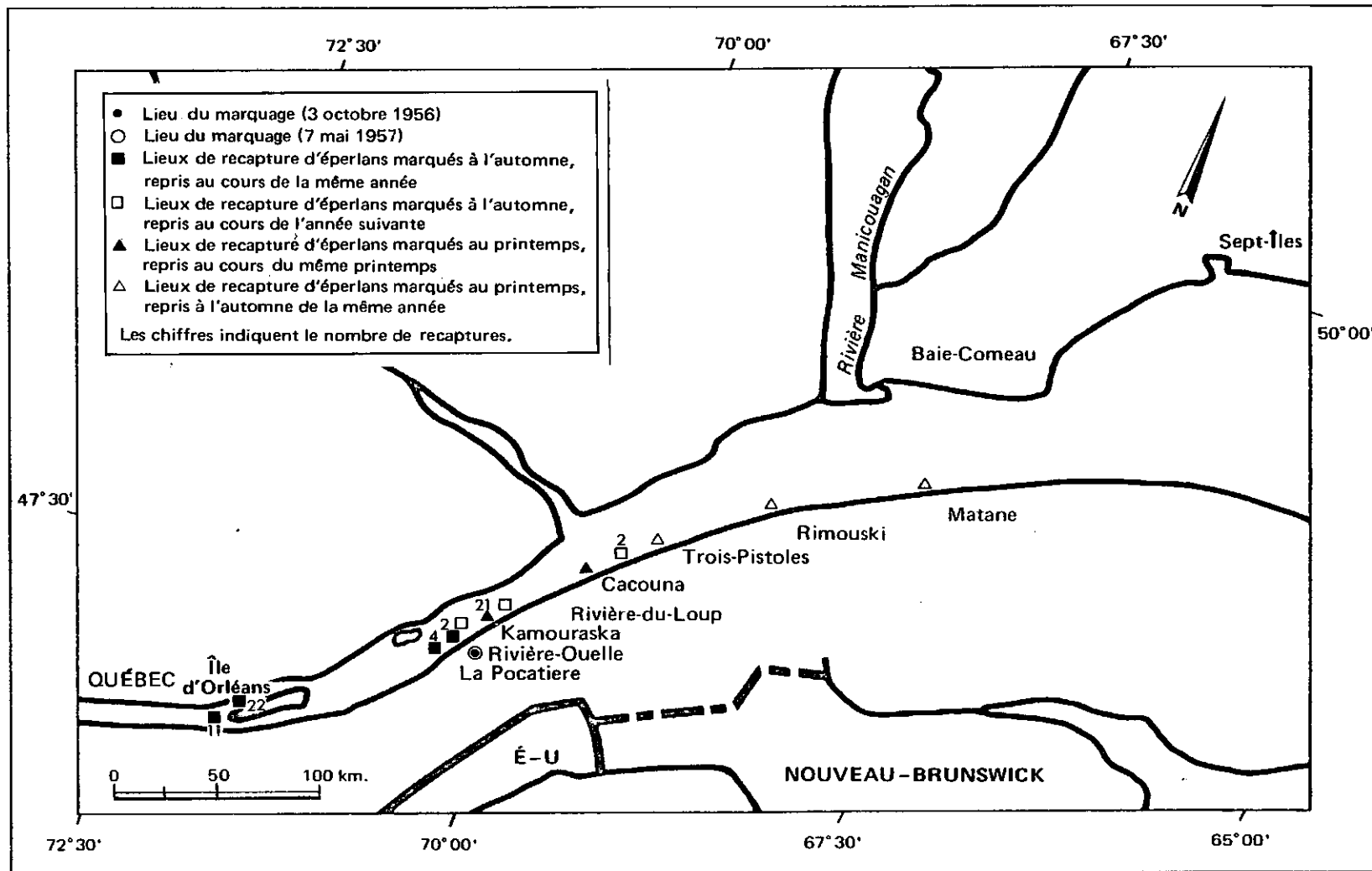


Figure 87. Données de marquage d'éperlans, (*Osmerus mordax*), Rivière-Ouelle, 3 octobre 1956 (MAGNIN et BEAULIEU, 1965)

il est effectivement possible de dégager des différences entre les populations des régions de l'Ile aux Coudres, Sept-Iles, Natashquan, Grande-Rivière et Herring Neck. Les auteurs signalent l'utilité que pourraient avoir ces différences dans la différenciation des stocks de capelan; l'analyse des caractères méristiques ne fournit pas d'informations quant à ce problème.

Able (1978) conclut de son étude de l'ichtyoplancton de l'estuaire et du golfe que dans l'estuaire les espèces à ponte démersale dominant (Tableau 22); cette observation est mise en relation avec la circulation générale dans l'estuaire, à cause du déplacement des eaux profondes vers l'amont. Ceci permettrait le maintien d'un plus grand nombre de larves dans l'estuaire moyen que dans l'estuaire maritime et le golfe (Figure 88).

Les larves les plus abondantes sont celles d'osmériidés, (Mallotus villosus, et Osmerus mordax), deux espèces à ponte démersale. On observe quelques œufs d'espèces à ponte pélagique; ce sont des espèces non résidentes de l'estuaire moyen, et leur représentation augmente sensiblement dans l'estuaire maritime et le golfe. La discussion de Able (1978) porte ensuite sur quelques espèces en particulier. Ainsi, il note que la ponte du hareng (Clupea harengus harengus) se produit près de l'île aux Lièvres, en juin et juillet; en juillet et août, le maximum d'abondance des larves se retrouve juste en aval du maximum de turbidité, entre l'île aux Coudres et l'île aux Lièvres (Figure 89).

L'éperlan (Osmerus mordax) affiche un pic d'abondance au début de l'été, en juin (Figure 90). La frai se ferait donc en avril-mai et l'éclosion en mai. Par la suite, les prises baissent considérablement; à ce chapitre, Able (1978) n'exclut pas la possibilité d'un évitement des filets par les larves. Les larves d'éperlan se retrouvent, à toute fin pratique, dans l'estuaire moyen seulement; il est toutefois possible qu'il y en ait de fortes concentrations plus en amont. De plus, les larves vivent principalement en profondeur, ce qui facilite leur maintien dans l'estuaire. La limite aval de la distribution des larves d'éperlan correspond au maximum d'abondance des

Tableau 22. Liste des espèces présentes dans l'ichtyoplancton de l'estuaire et du golfe St-Laurent pour 1973 (juin-juillet), 1974 (juin-octobre) et 1975 (juin-septembre)
(Able, 1978)

Taxon	Référence	Déposition des oeufs	1973	1974	1975
Clupeidae					
Clupea harengus harengus	Mansueti et Hardy 1967	démersale	L	L	L
Osmeridae					
Mallotus villosus	Templeman 1948	démersale	L	L	L
Osmerus mordax	Templeman 1948	démersale	L	L	L
Gadidae					
Enchelyopus cimbrius	Battle 1929; Faber 1967a	pélagique	L	L	E, L
Gadus morhua	Ryder 1884; Schmidt 1905; Dannevig 1919	pélagique	L	L	E, L
Microgadus tomcod	Booth 1968	démersale			L
Urophycis tenuis	Faber 1976a	pélagique	L		
Scorpaenidae					
Senastes	Templeman et Sanderman 1959	ovovipare	L	L	L
Cottidae					
Gymnocanthus tricuspid	Khan 1971	démersale	L	L	L
Myoxocephalus aneneus	Khan 1971; Lund et March 1975	démersale		L	L
M. scorpius	Khan 1971	démersale	L		
Agonidae					
Aspidophoroides monopterygius	Bigelow et Schroeder 1953	démersale	L		L
Cyclopteridae					
Cylopterus lumpus	Agassiz 1882; Cox 1920	démersale	L		
Liparis atlanticus	Able, non publié	démersale	L	L	L
L. cyclostigma	Able, non publié	démersale	L	L	L
Anarhichadidae					
Anarhichas	Bigelow et Schroeder 1953	démersale	L	L	L
Lumpenidae					
Leptochlinus maculatus	Faber 1976b	démersale	L	L	L
Lumpenus lampretaeformis	Faber 1976b	démersale	L		L
Stichaeidae					
Ulvaria subbifurcata	Faber 1976b	démersale	L	L	L
Pholididae					
Rholis gunneilus	Bigelow et Schroeder 1953; Ehrenbaum 1905	démersale	L	L	L

(suite) Tableau 22. Liste des espèces présentes dans l'ichtyoplancton de l'estuaire et du golfe St-Laurent pour 1973 (juin-juillet, 1974 (juin-octobre) et 1975 (juin-septembre) (Able, 1978)

Taxon	Référence	Déposition	1973	1974	1975
Ammodytidae Ammodytes	Richards 1965	démersale	L		L
Scombridae Scomber scombrus	Settle 1943; Bigelow et Schroeder 1953	pélagique	L		E
Pleuronectidae Hippoglossoides platessoides	Petersen 1904; Bigelow et Schroeder 1953	pélagique			E, L
Hippoglossus hippoglossus	Schmidt 1904	pélagique			L
Limanda ferruginea	Perlmutter 1939; Bigelow et Schroeder 1953	pélagique	L		E, L
Total			20	13	L=21 E= 5

* L : larves

E : oeufs

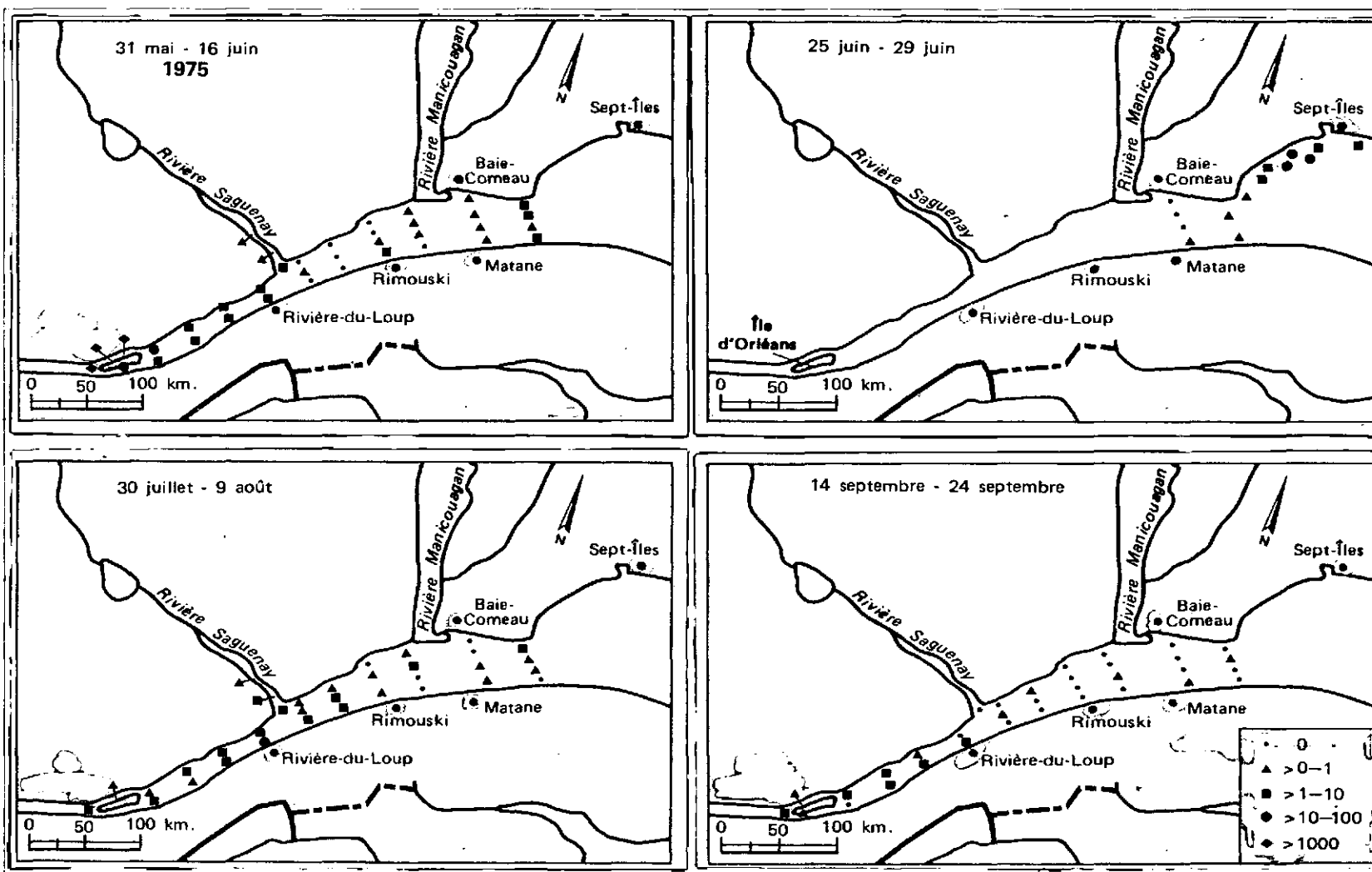


Figure 88. Distribution saisonnière et abondance des larves dans l'estuaire et le golfe occidental en 1975 (ABLE, 1978)

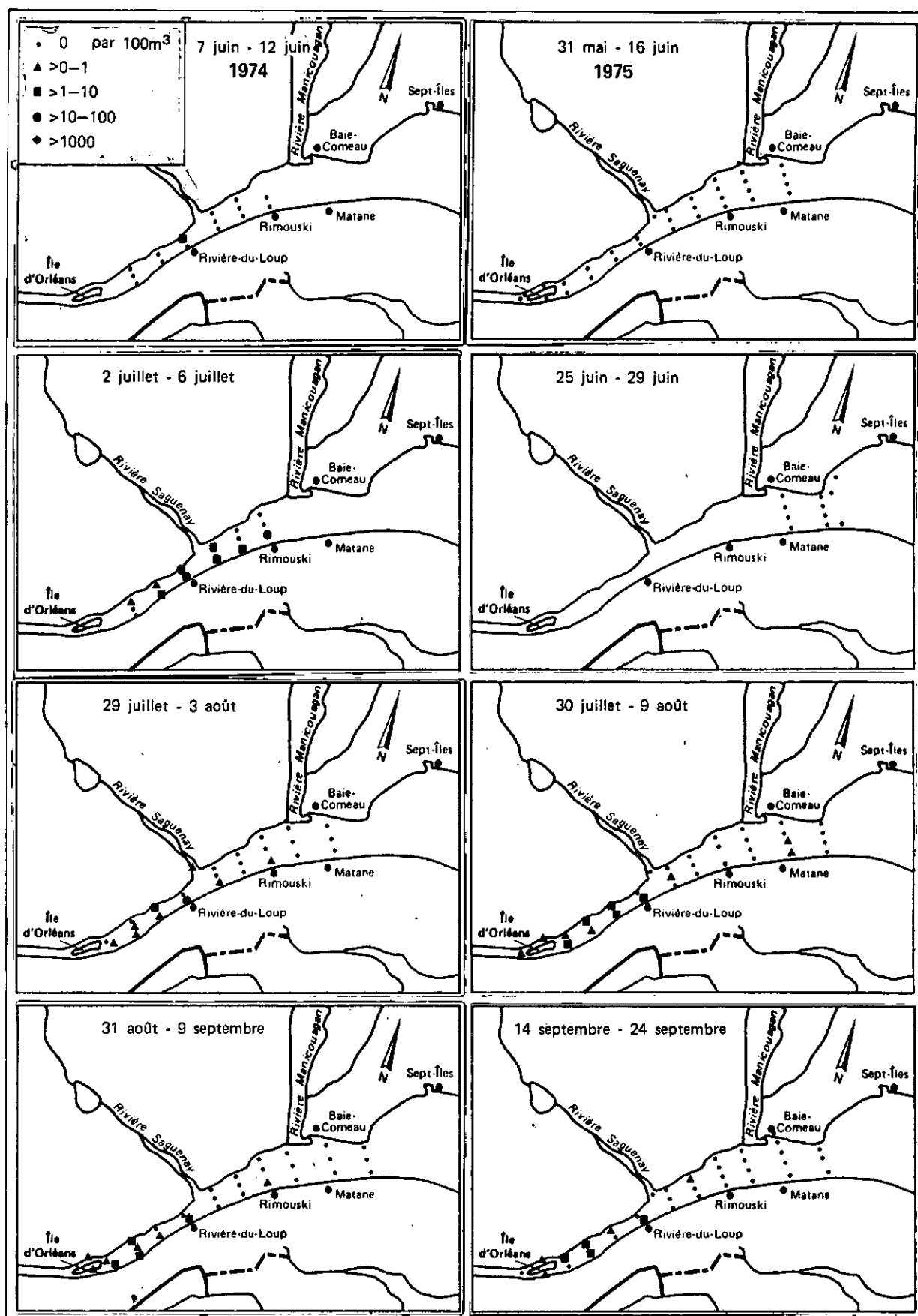


Figure 89. Distribution saisonnière et abondance du hareng (*Clupea harengus harengus*) dans l'estuaire du Saint-Laurent (stade larvaire) (ABLE, 1978)

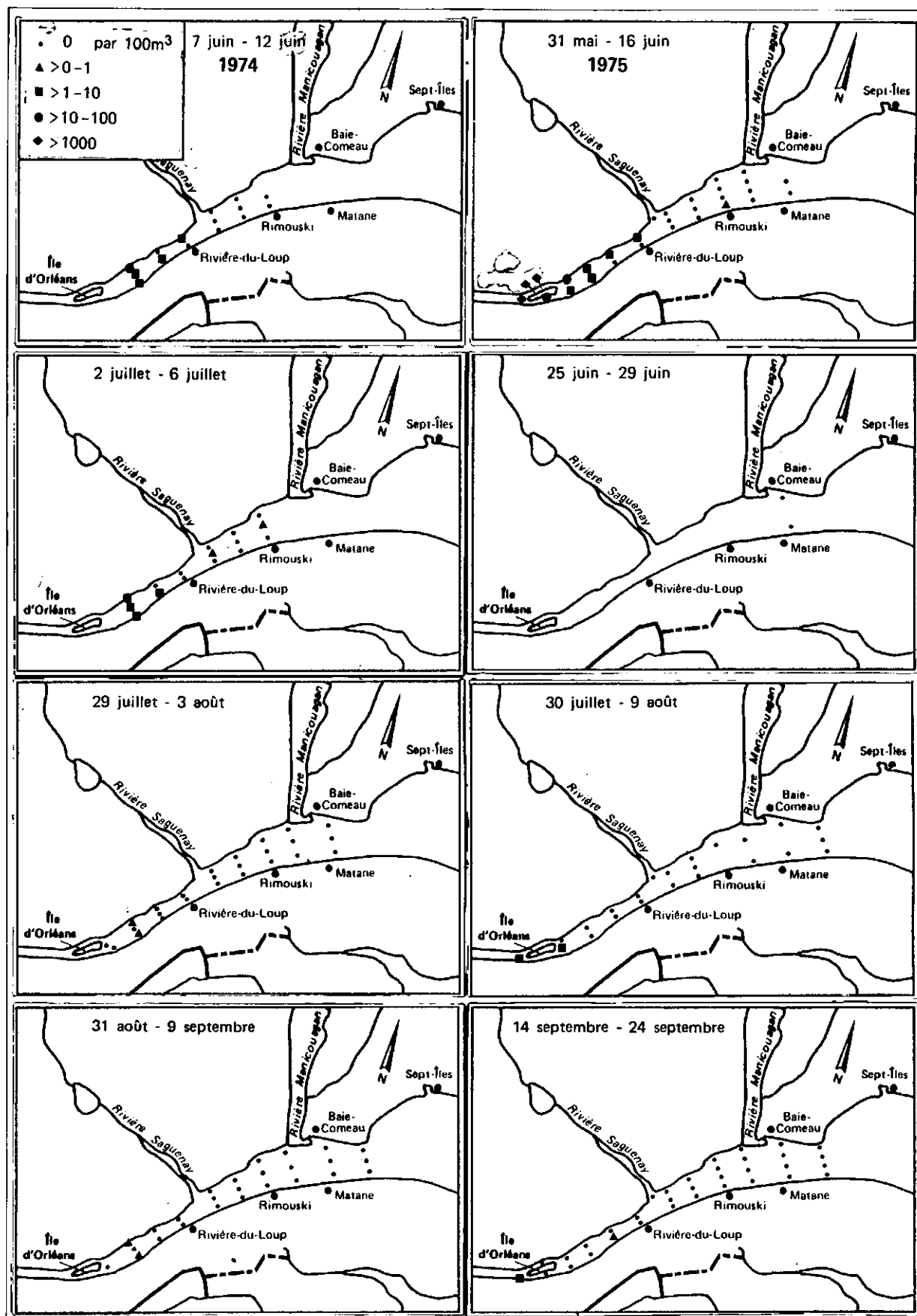


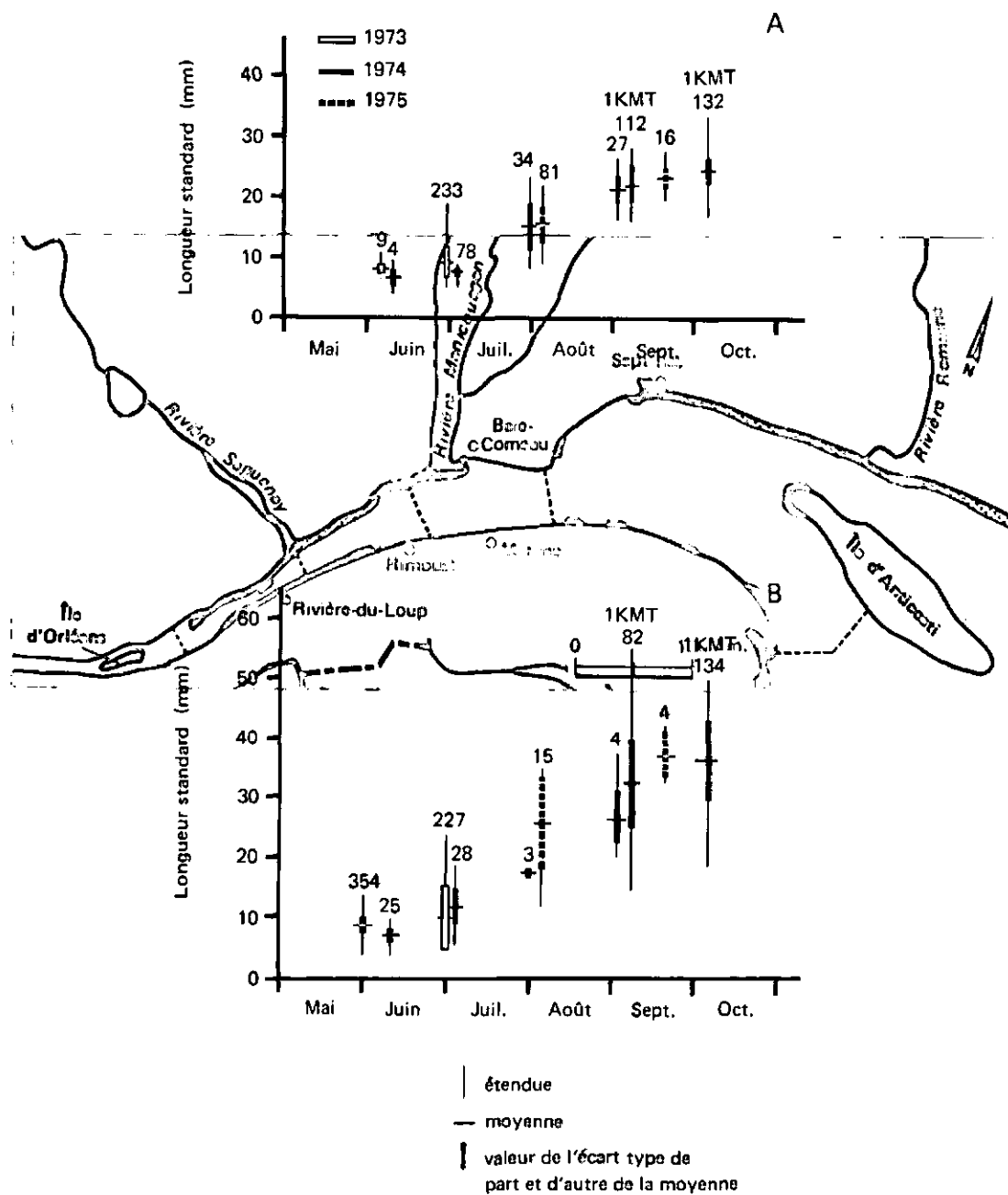
Figure 90. Distribution saisonnière et abondance des larves d'éperlan (*Osmerus mordax*) dans l'estuaire du Saint-Laurent (ABLE, 1978)

larves de hareng. Il semble cependant que le taux de croissance plus grand des larves d'éperlans favorise la sélection et le "partage" des ressources alimentaires entre ces deux espèces (Figure 91). Quant au poulamon atlantique (Microgadus tomcod), on peut signaler sa rareté; il se peut toutefois que l'aire d'étude (Able, 1978) se trouve à la limite aval de la distribution des larves, qui se retrouvent à 99% dans les eaux les plus profondes.

Le capelan a récemment fait l'objet d'une attention soutenue, en ce qui concerne sa reproduction (Parent et Brunel, 1977), ainsi que l'écologie et la distribution des larves (Jacquaz et al, 1977) et des adultes (Bailey et al, 1977).

Les zones littorales de frai sont représentées à la Figure 92. Dans l'estuaire, la ponte a lieu de la mi-avril à la mi-juin, au jusant, habituellement à la pénombre ou à l'obscurité (Parent et al, 1976). Plus en aval, la ponte est plus tardive. Le maximum d'abondance des larves s'observe, dans l'estuaire moyen, au mois de juin (Figure 93) (Jacquaz et al, 1977). Les larves seraient ensuite déportées vers le golfe, jusqu'au niveau du tourbillon d'Anticosti. La période d'abondance maximale des larves coïncide avec le maximum de production primaire au début de l'été et vers la fin de juillet-début d'août. Un tel synchronisme pourrait être déterminant pour la survie des larves (Jacquaz et al, 1977). La taille des larves (Figure 94), à la fin de la première saison, est plus grande dans l'estuaire moyen que dans les eaux adjacentes de Terre-Neuve, du Labrador et du Groënland. Le taux de croissance quotidien dans ces régions étant cependant identique, les auteurs soupçonnent la possibilité d'une erreur systématique.

Bailey et al. (1977) constatent que la distribution des jeunes capelans et des capelans adultes dans l'estuaire et le golfe est identique en 1974 et 1975. Les jeunes et les larves se concentrent surtout dans les régions occidentales du golfe, ce qui en fait une région d'alevinage pendant l'été et l'automne et explique l'absence presque totale de capelans d'un an dans l'estuaire. A l'été et en automne, le capelan se tient en petits bancs, dispersés dans le golfe. La présence de tels bancs, ainsi



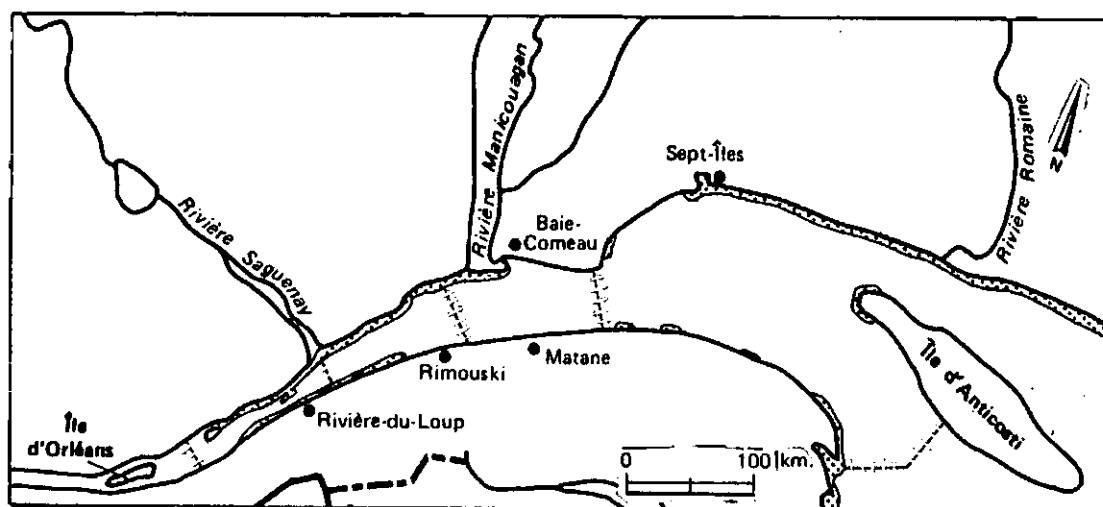


Figure 92. Zones littorales de frai du capelan (*Mallotus villosus*)
(JACQUAZ et al, 1977)

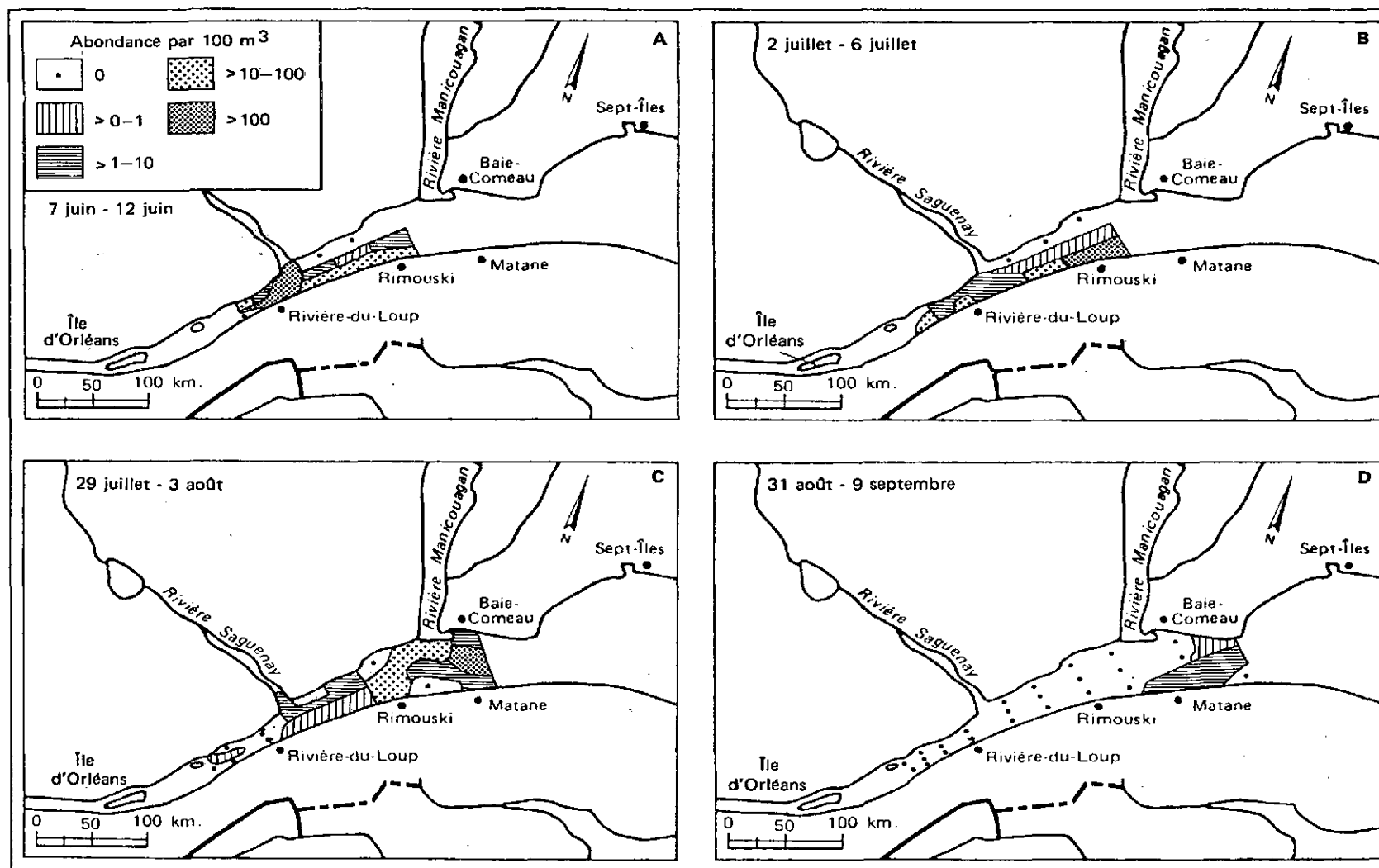


Figure 93. Distribution saisonnière et abondance des larves de capelan (*Mallotus villosus*) dans l'estuaire du Saint-Laurent (JACQUAZ et al, 1977)

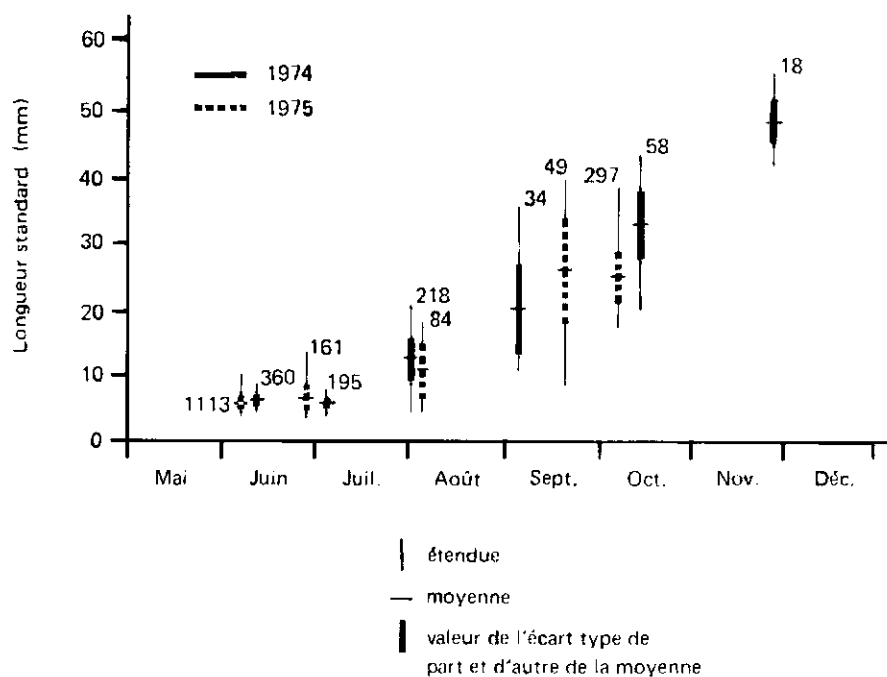


Figure 94. Croissance des larves de capelan (*Mallotus villosus*) dans l'estuaire du Saint-Laurent et le golfe occidental (1974 et 1975). (JACQUAZ et al, 1977)

qu'une tendance à se déplacer vers l'estuaire maritime, est interprétée comme le début de la migration vers les lieux de ponte de l'estuaire. Une certaine partie de la population (les jeunes) se maintiendrait à l'état endémique à l'embouchure du Saguenay et supporterait les populations de Bélugas que l'on retrouve dans la région.

Bien que certaines prises puissent se faire jusqu'à un maximum de 100 m de profondeur, la plupart des bancs se concentrent généralement à moins de 50 m de profondeur; on peut distinguer un patron bien défini de migrations nyctémérales: la nuit, les poissons sont dispersés dans une couche allant de la surface à environ 20 m de profondeur, alors que le jour, ils se tiennent à une profondeur plus grande et leur comportement est beaucoup plus grégaire.

La longueur moyenne des capelans de l'estuaire et de l'ouest du golfe à la fin de la première année est plus grande que celle des poissons des eaux de Terre-Neuve, du Labrador et du Groënland. La croissance subséquente des populations du Saint-Laurent est approximativement la même que celle des stocks du sud de Terre-Neuve, mais plus grande que celle du nord de Terre-Neuve et du Labrador.

Le travail de Bailey et al (1977) contient également des informations sur la population, à savoir le rapport des sexes ("sex-ratio"), l'importance des différentes classes d'âge pour chaque sexe, etc....

5.3 Les mammifères marins

Le rapport du Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent (1978b) fait état d'un certain nombre d'espèces de mammifères marins. Toutefois, on peut considérer que deux espèces en particulier éveillent l'attention: le phoque comme (Phoca vitulina) et le marsouin blanc, Delphinapterus leucas (béluga).

Le phoque commun attire l'attention par la présence d'une colonie à proximité de l'embouchure du Saguenay (Figure 95). Les bélugas occupent une plus grande portion de l'estuaire (Figure 96),

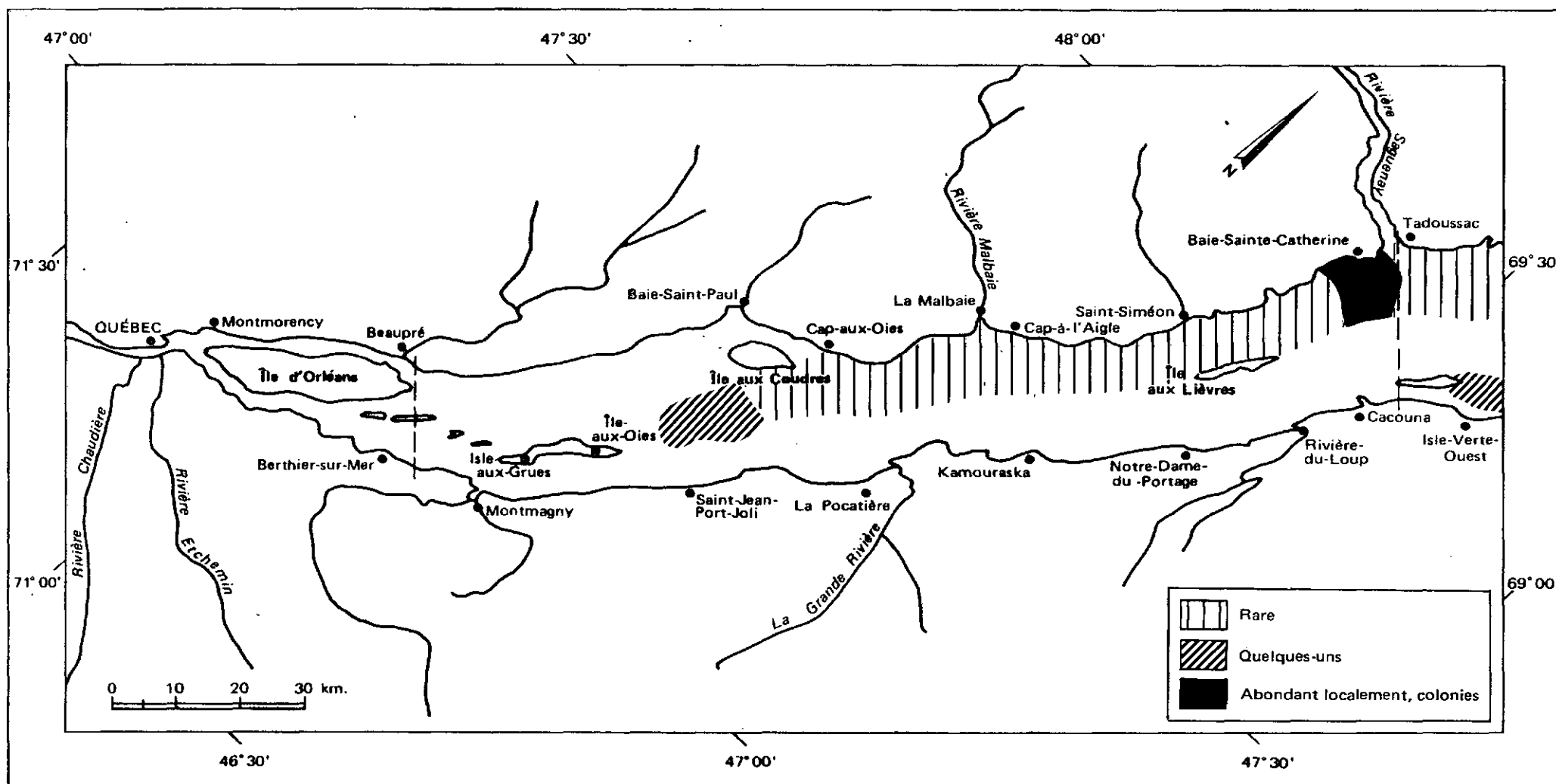


Figure 95. Distribution et abondance relative du phoque commun (*Phoca vitulina*) dans l'estuaire du Saint-Laurent (COMITÉ D'ÉTUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978a)

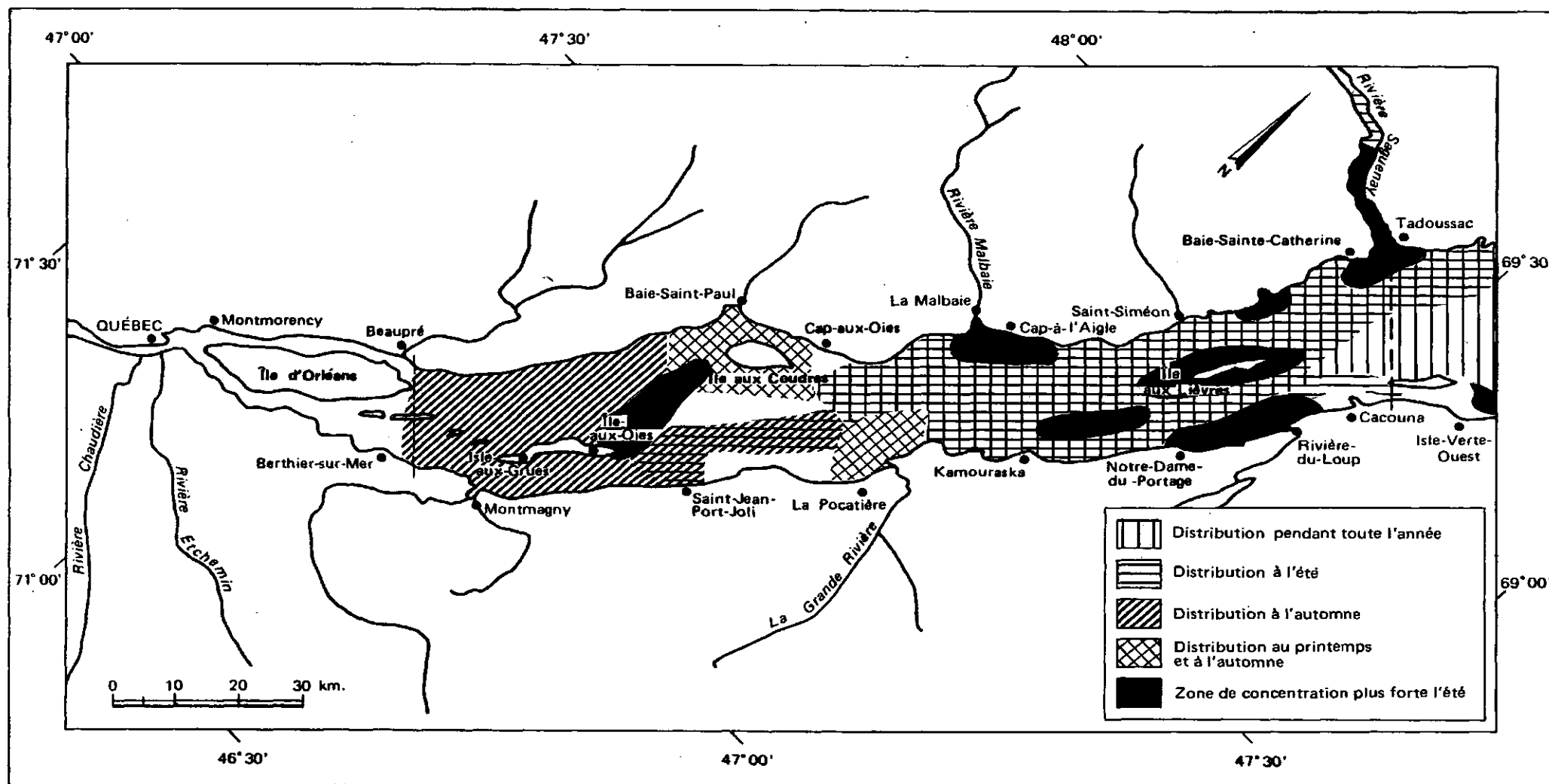


Figure 96. Distribution du Beluga (*Delphinapterus leucas*)
(COMITÉ D'ÉTUDE SUR
LE FLEUVE DU SAINT-LAURENT, 1978a)

bien que l'utilisation de certaines zones soit confinée à certaines périodes particulières. La période hivernale se passe dans les zones où les bris dans la glace permettent la respiration. Selon des estimés faits à la fin des années soixante et au début des années 70, la population de l'estuaire pourrait atteindre 500 individus (Sargeant et Brody, 1969).

Les individus habitant le Saint-Laurent peuvent être considérés de taille moyenne, lorsque comparés à ceux des autres localités (Sargeant et Brodie, 1969). Les mâles sont plus grands que les femelles. Les belugas sont plus grands près des limites sud de leur distribution. Les auteurs sont amenés, pour cette raison et bien d'autres à conclure que les belugas seraient actuellement confinés à un environnement sub-optimal, sous la pression de prédation et la compétition qu'exerceraient certains Delphinidae. Mais ce ne sont pas les seules menaces pour les belugas: l'action de l'homme aurait eu, dans certains cas, des conséquences dramatiques pour certaines populations de marsouins blancs (Sargeant et Brodie, 1969). Une étude récente de Laurin (1978) sur le comportement du beluga, à l'entrée du Saguenay, a permis de conclure que les marsouins pénètrent dans le fjord à la fin du jusant et au début du flot et en ressortent surtout au début et au milieu du jusant. La vitesse moyenne de leur déplacement serait de 5.6 km h^{-1} .

De premières études sur les populations du Saint-Laurent avaient porté sur la peau du marsouin blanc (Bonin et Vladykov, 1940), sur des particularités anatomiques (Vladykov, 1943), la diète (Vladykov, 1946), ainsi que sur différents aspects de la biologie des belugas (Vladykov, 1944).

Le trait anatomique ayant le plus retenu l'attention par ses variations est la nageoire pectorale. Parmi les différences retenues, on peut noter que la nageoire pectorale est plus longue chez le mâle que chez la femelle, et a tendance à être retroussée chez les adultes (particulièrement chez les mâles âgés).

Les belugas ont une préférence pour les eaux froides. On les retrouve généralement dans des eaux de température inférieure

à 10°C. L'alimentation, qui varie selon la saison, le sexe et la région, est constituée surtout de capelan; le harenget les morues de petite taille pourront cependant constituer une alternative.

5.4. L'avifaune

L'importance de l'avifaune dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent n'est plus à démontrer. Sa richesse est due au nombre d'espèces trop souvent uniquement associée à la présence de la Grande Oie Blanche.

Les Figures 97, 98, 99 et 100 nous montrent au contraire la grande variété d'oiseaux pélagiques et de rivage qui se rencontrent dans le Saint-Laurent et particulièrement dans l'estuaire moyen. Ce sont donc autant la Grande Oie blanche, la Bernache du Canada, la Bernache cravant, les Canards barboteurs (Canard noir, Canard pilet, Sarcelle à ailes blanches, Sarcelle à ailes vertes), les Canards plongeurs (morillons garrots), les Canards de mer (Eider commun, Macreuses à front blanc, Macreuses à bec jaune, Macreuses à ailes blanches, Canard kakawi) et les Laridés (goélands, mouettes et sternes). Le rapport du Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent (1978a) donne l'indice d'abondance suivant pour les divers groupes d'oiseaux aquatiques nichant dans l'estuaire:

Eider	46.5%
Laridés	40.1%
Cormoran	6.4%
Alcidés	4.4%
Hérons	1.9%
Canards barboteurs	0.7%

Ces différents oiseaux utilisent l'estuaire soit pour la reproduction (les surtout), soit pour muer, soit pour la migration. On a estimé à environ 32 millions d'oiseaux-jours (la moyenne annuelle pour 1976 et 1977), l'utilisation faite de l'estuaire et de la Haute Côte Nord par les oiseaux aquatiques.

Doran (1978) dans une étude écologique de la végétation et de son utilisation par la Grande Oie blanche dans le marais intertidal de la Réserve nationale de faune de Cap Tourmente.

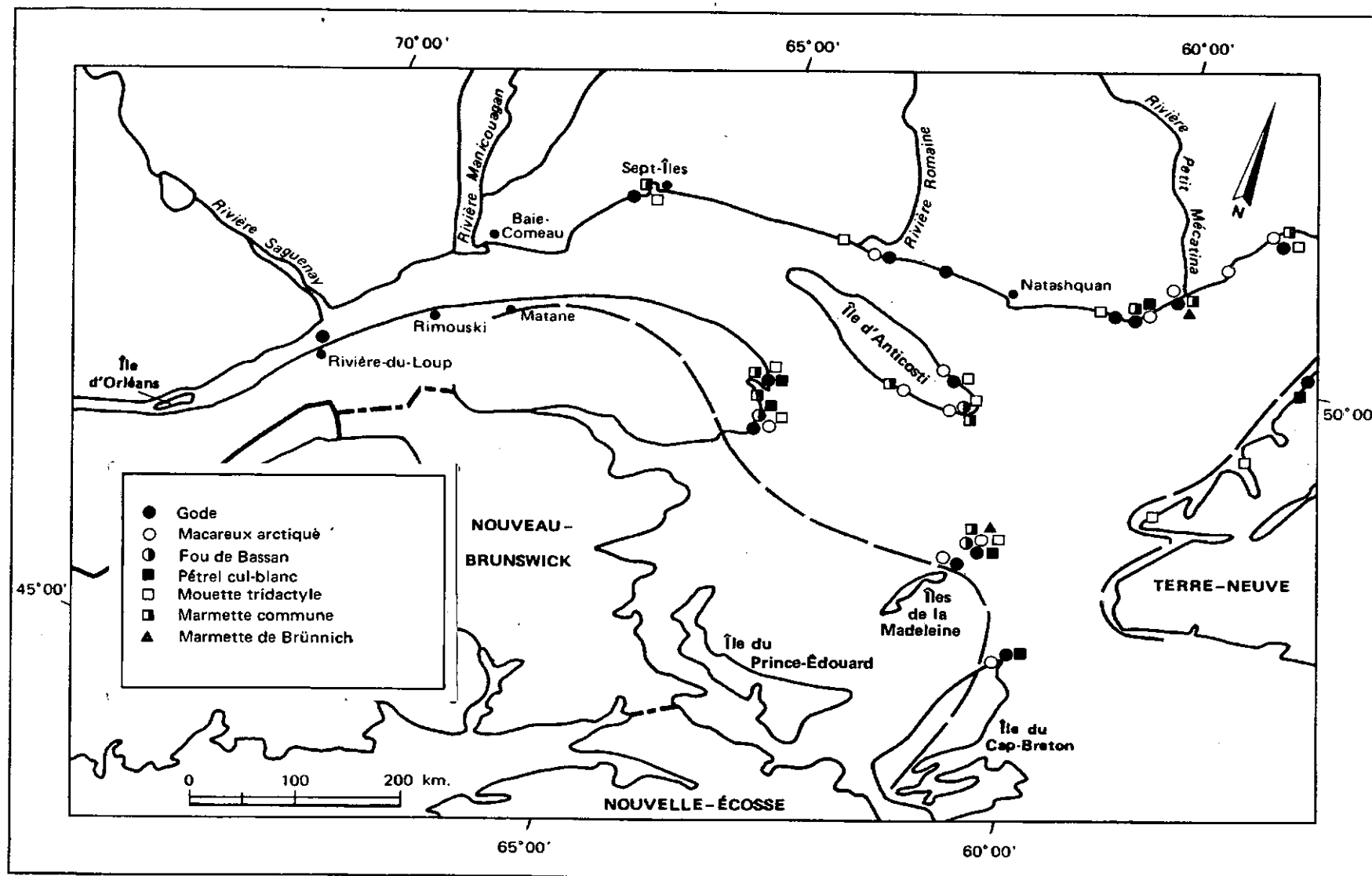


Figure 97. Oiseaux pélagiques du golfe Saint-Laurent
(aire de reproduction)
(DUNBAR et al, 1980)

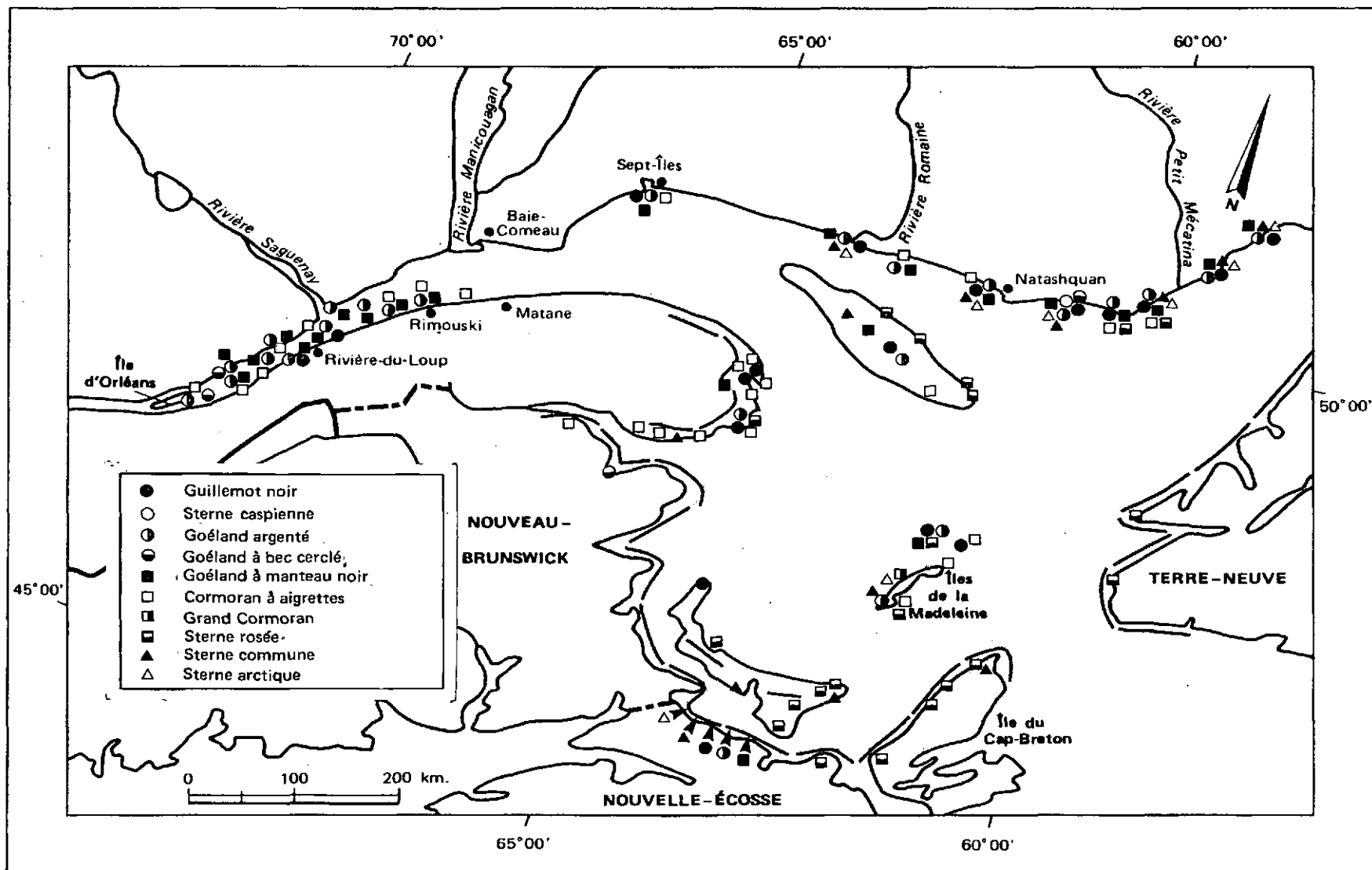


Figure 98. Oiseaux côtiers' du golfe Saint-Laurent
(aire de reproduction)
(DUNBAR et al, 1980)

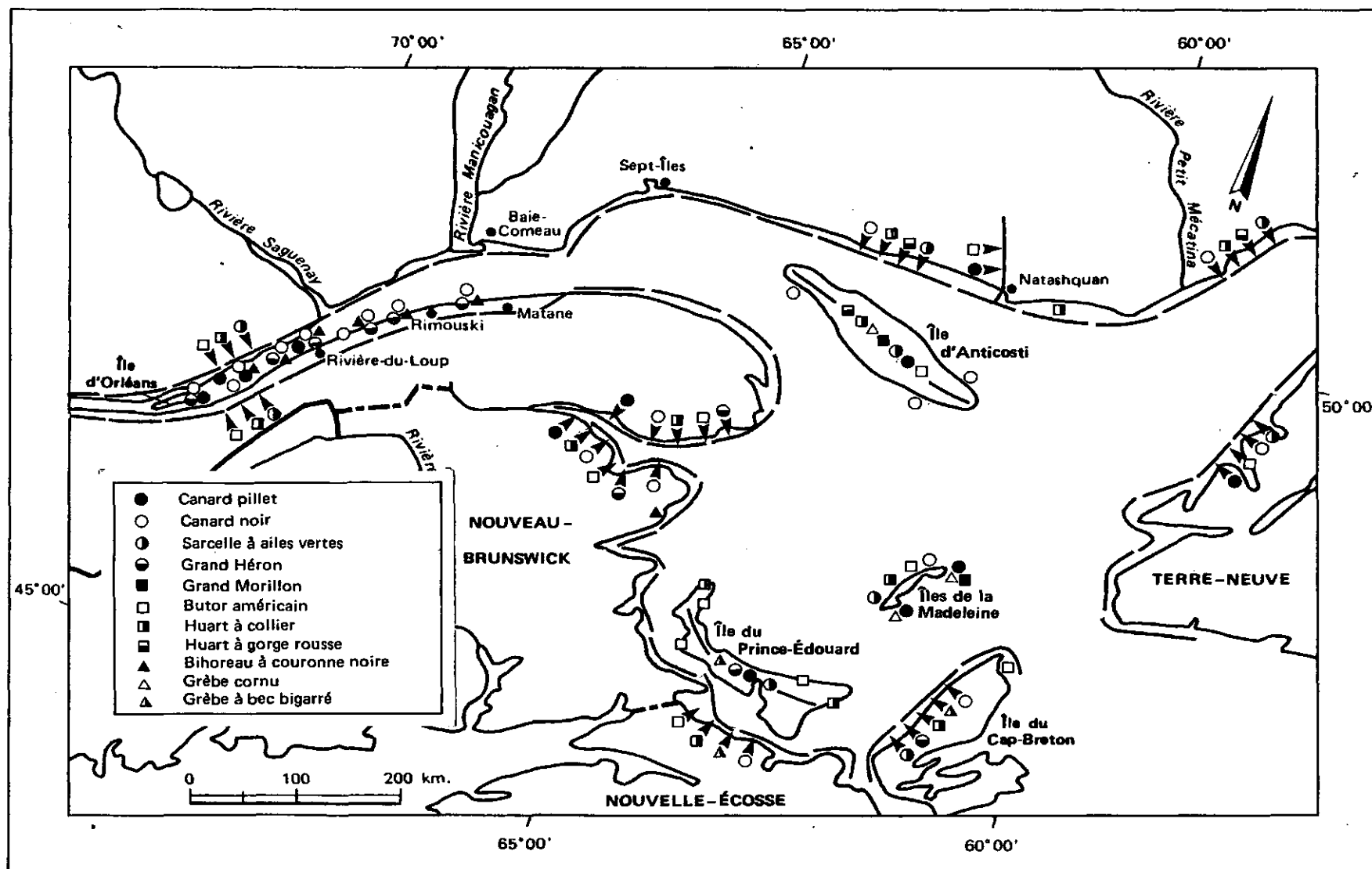


Figure 99. Oiseaux de rivage du golfe Saint-Laurent
(aire de reproduction)
(DUNBAR et al, 1980)

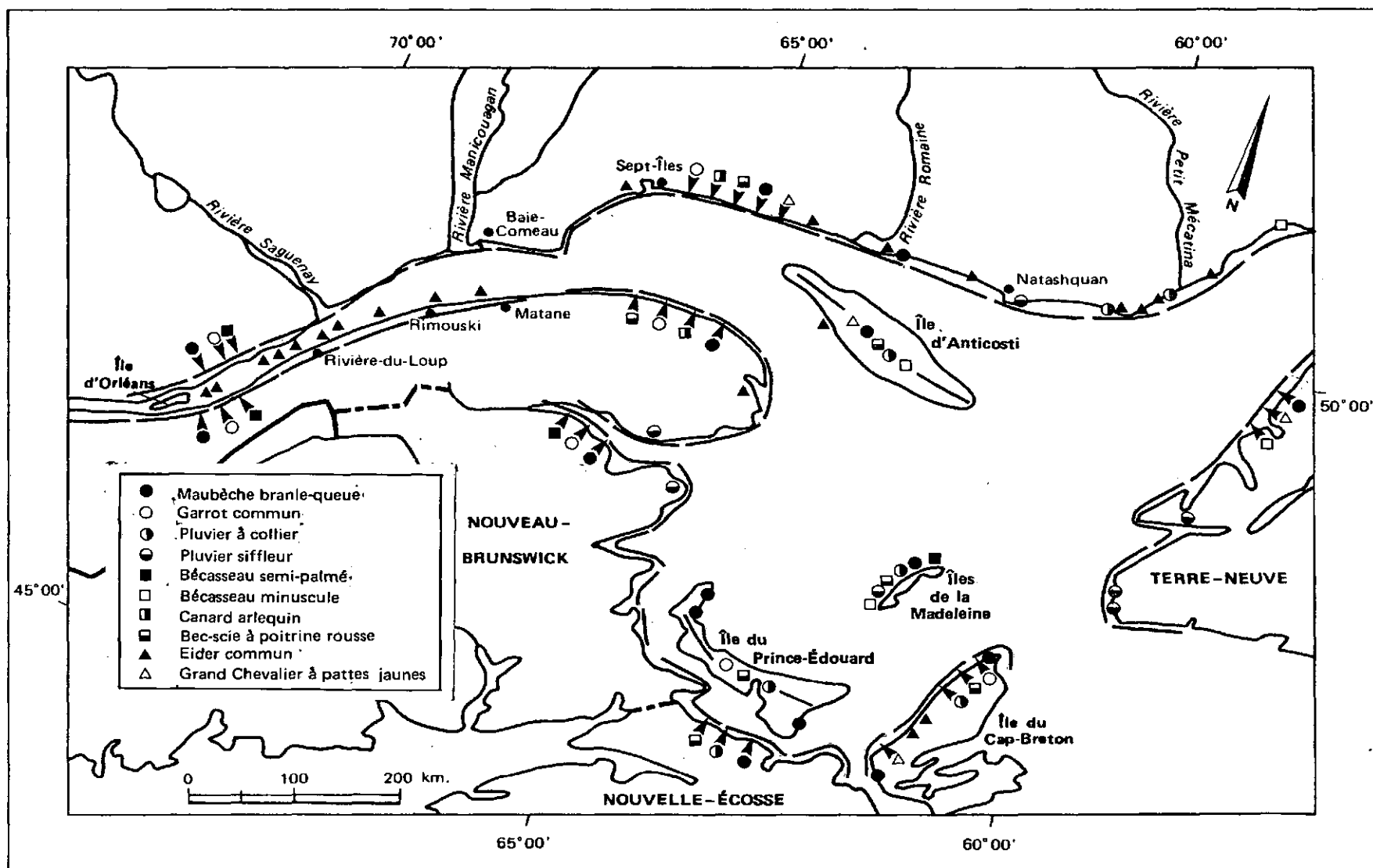


Figure 100. Oiseaux de rivage du golfe Saint-Laurent
(aire de reproduction) (suite)
(DUNBAR et al, 1980)

a mis en évidence d'une part la différence de productivité du scirpe selon les sites et d'autre part les différences d'utilisation de ces scirpes par la Grande Oie blanche, selon les sites. Dorant en vient à la recommandation de mieux répartir les pressions de chasse sur l'ensemble du territoire de la réserve pour éviter un épuisement de la scirpe dans certaines zones particulièrement recherchées par la Grande Oie blanche.

Reed et Bourget (1978) décrivent l'importance de l'estuaire pour les oiseaux du point de vue des habitats utilisés pour l'alimentation et la reproduction. Parmi ces habitats, le marais salé est le plus important. Il se retrouve sur deux sites principaux: Kamouraska et l'Isle-Verte. Ces marécages sont recouverts de deux espèces de Spartine (*Spartina alterniflora* et *Spartina potens*) dont les oiseaux aquatiques sont très friands. Les zones intertidales rocheuses et vaseuses constituent un autre type d'habitat important (par exemple le haut-fond, à l'embouchure du Saguenay, Kamouraska, Notre-Dame-du-Portage, Cacouna et Rivière Trois-Pistoles). Des sites d'alimentation existent au large, principalement à proximité de la rive nord de l'Isle-Verte et d'autres îles entre Kamouraska et Rimouski. Les principales zones de nidification pour les oiseaux aquatiques sont les petites îles (ilôts) autour de l'Ile aux Lièvres, par exemple).

O U V R A G E S C I T E S

- ABLE, KW., 1978. Ichtyoplankton of the St. Lawrence Estuary; composition, distribution and abundance. In JFRB. 32: 1518-1531.
- BOURGET, E. et G. LACROIX, 1973. Aspects saisonniers de la fixation de l'épifaune benthique de l'étage infralittoral de l'estuaire du Saint-Laurent. In JFRB. 30 : 867-880.
- BOUSFIELD, E.L., 1955. Studies on the shore fauna of the St. Lawrence and the Gaspé Coast. In Bull. Nat. Mus. Canada 136: 95-101.
- BOUSFIELD, E.L., 1964. Coquillages des côtes canadiennes de l'Atlantique. Ins. Natl. Can. Ottawa, Imprimerie de la Reine, 89 p.
- BOUSFIELD, E.L. et D.R. LAUBITZ, 1972. Station lists and new distributional records of littoral marine invertebrates of the Canadian Atlantic. Natn. Mus. Can., Biol. Ocean. Serv., publ. no 5, 51 p.
- CARDINAL, A. et L. BERARD-THERIAULT, 1976. Le phytoplancton de l'estuaire moyen du Saint-Laurent en amont de l'île aux Coudres (Québec). In Int. Rev. Geo. Hydrob. 61 (5) : 629-638.
- CARDINAL, A., P.E. LAFLEUR et E. BONNEAU, 1977. Les tintinnides (Ciliata: Tintinnada) des eaux marines et saumâtres du Québec. I. Formes hyalines. In Acta Protozoologica, 16 : 15-25.
- CARDINAL, A. et P.E. LAFLEUR, 1977. Le phytoplancton estival de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. In Bull. Soc. Phycol. France, 22: 150-160.
- CARDINAL, A. et G.R. SOUTH, 1970. A checklist of marine algae of Eastern Canada. In Can. J. Bot. 48 : 2077-2095.
- CARDINAL, A. et M. VILLALARD, 1971. Inventaire des algues marines benthiques de l'estuaire du Saint-Laurent. In Le Naturaliste canadien, 98 (5) : 887-903.
- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978a. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny, Volume 1. 228 p.
- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978b. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny, Volume 2. 386 p.
- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978c. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny, Volume 3. p. 391-485.
- COTE, R., 1972. Influence d'un mélange intensif de différents types d'eau sur la distribution spatiale et temporelle du zooplancton de l'estuaire du Saint-Laurent. Thèse, U.L., GIROQ, 251 p.
- DEMERS, S. et L. LEGENDRE, 1979. Effet des marées sur la variation circadienne de la capacité photosynthétique du phytoplancton de l'estuaire du Saint-Laurent. J. Exp. Mar. Biol. Ecol.

- DORAN, M.A., 1978. Etude écologique de la végétation et de son utilisation par la grande oie blanche (*Anser caerulescens atlanticus*) dans le marais intertidal de la Réserve nationale de faune de Cap Tourmente, Québec. Environnement-Canada, Service canadien de la Faune.
- DUNBAR, M.J. et al, 1980. The biogeographic structure of the Gulf of St. Lawrence, Marine Sciences Centre Manuscript No. 31. McGill University, 142 pp.
- FORTIER, et al, 1978. Variabilité à court terme du photoplancton dans l'estuaire du Saint-Laurent. In Mar. Biol. 46 : 349-354.
- GAUTHIER, B., 1977. Recherches sur les limites biologiques du Saint-Laurent (phytogéographie du littoral). Thèse de doctorat, U. Laval, Québec. 233 p.
- GAUTHIER, B. et V. LAVOIE, 1973. Etude préliminaire de la végétation du littoral "Bras Nord" de l'Île d'Orléans. Centre de Recherches sur l'eau, Université Laval. Rapport final, jan. 1973, 88 p.
- LACOURSIÈRE, E., 1969. Etude écologique de la végétation riparienne entre Sainte-Famille et l'Île d'Orléans. Thèse de maîtrise, Université Laval, 150 p.
- LAFLEUR, P.E., 1978. Etude de la variabilité temporelle à court terme du phytoplancton de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Thèse de maîtrise. Université Laval, 62 p.
- MAGNIN, E. et G. BEAULIEU, 1965. Quelques données sur la biologie de l'éperlan (*Osmerus eperlamus mordax* (Mitchell) du Saint-Laurent. Québec, Min. Ind. Com., Trav. Pêcheries Qué, no 19: p. 539-555.
- MUIR, L.A., 1979a. Internal tides in the middle estuary of the St. Lawrence. In Le Naturaliste canadien, 106 (1) : 27-36.
- NADEAU, A., 1978. Les ressources halieutiques dans l'estuaire et le golfe du St-Laurent. In Etude de Gros-Cacouna comme superport pour vrac solide au Québec. Annexe E. INRS - Océanologie, 82 p.
- REED, A. et G. MOISAN, 1971. The spartina tidal marshes of the St. Lawrence and their importance to aquatic birds. In Le Naturaliste canadien, 98 : 905-922.
- SARGEANT, D.E. et P.F. BRODIE, 1969. Identity, abundance and present status of populations of white whales, Delphinapterus leuca, in North America. In J.F.R.B. 32 : 1047-1054.
- TATTERSALL, O.S., 1954. Shallow-water Mysidacea from the St. Lawrence Estuary, Eastern Canada. In Cdn Field Naturalist 68 (4): 143-154.

6.0 CONCLUSIONS

Le présent travail a permis de résumer l'état actuel des connaissances physiques, chimiques et bactériologiques, sédimentaires et biologiques dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Mais plus que son état actuel, il a fait ressortir les lacunes importantes qui existent dans la connaissance de ce milieu.

L'estuaire moyen est un milieu intéressant à la fois par son rôle de zone tampon entre l'estuaire fluvial et l'estuaire maritime et par les projets d'importance (superport) qui y sont prévus. C'est pourquoi les connaissances qui manquent devraient être comblées au plus tôt.

En ce qui concerne le milieu physique, il serait impérieux d'avoir autre chose que des données brutes en climatologie. Le phénomène de la houle gagnerait à être connu sur une plus grande étendue de l'estuaire moyen. Il serait aussi nécessaire de mettre au point un modèle hydrodynamique tridimensionnel de l'écoulement des eaux. Toutes les formes d'érosion des rives n'ont pas été étudiées. Il serait important de définir plus nettement le lien entre la végétation riveraine et le phénomène d'érosion. Des mécanismes de protection des rives devraient être mis de l'avant pour en prévenir une dégradation trop importante.

Le milieu chimique et bactériologique est à peine connu. Seules quelques études, peu détaillées, ont été réalisées. Dans une période où l'on parle de dépollution du fleuve, il est essentiel d'avoir des données de base exactes sur tous les paramètres qui affectent la qualité de l'eau (surtout sur les hydrocarbures étant donné l'implantation prochaine possible d'un superport).

Quant au milieu sédimentaire il reste beaucoup de connaissances à acquérir sur les zones intertidales, leur productivité, leur valeur, le transfert d'énergie vers la zone pélagique.

Enfin soulignons que les connaissances sur le milieu biologique sont déficientes surtout dans le domaine du benthos et de la végétation.

B I B L I O G R A P H I E

- ABLE, KW., 1978. Ichthyoplankton of the St. Lawrence Estuary: composition, distribution and abundance. In QERB. 32:1518-1531.
- ALLEN, W.T.R., 1964. Break-up and freeze-up dates in Canada. Dept. Transport, Canada, Météo. Br: Publ. CIR-4116, ICE-17: 201 pp.
- ALLEN, W.T.R. et B.S.V. CUDBRID, 1971. Freeze-up and break-up dates of water bodies in Canada. Dept. Transport, Canada, Météo. Br. Publ. CFI-1-71: 144 pp.
- ARCHIBALD, D.C., M.N. MONSINGER et T.B. KILPATRICK, 1960. Aerial ice observing and reconnaissance St. Lawrence River, the Gulf of St. Lawrence, and coastal waters of Newfoundland 1959. Dept. Transport, Canada, Météo. Br. Technical circular CIR-3417.
- ARCHIBALD, D.C., M.N. MONSINGER et T.B. KILPATRICK, 1961. Aerial sea ice observing and reconnaissance, St. Lawrence river, the Gulf of St. Lawrence and coastal waters of Newfoundland, 1960. Dept. Transport, Canada, Météo. Br. CIR-3465, TEC-353: 101 pp.
- ARCHIBALD, D.C., M.N. MONSINGER et T.B. KILPATRICK, 1962. Aerial sea ice observing and reconnaissance, St. Lawrence River, the Gulf of St. Lawrence and the Strait of Belle Isle, 1961. Dept. Transport, Canada, Météo. Br. Technical circular, CIR-3591, TEC-391.
- ARNAC, M., 1974. Teneur de quelques éléments traces dans l'estuaire du St-Laurent. 2^e Colloque International pour l'exploitation des Océans, Bordeaux. Vol. 3 (Bx 316): 1-12.
- AUBIN, F., U.S. MURTY et MI. EE-SABH, 1979. Numerical Simulation of The Movement and dispersion of oil slicks in the Upper St. Lawrence Estuary: preliminary results. In Le Naturaliste canadien 106(1): 37-44.
- BARABE, G. et R. LAUZON, 1978. Plan d'aménagement des berges du fleuve St-Laurent. Rapport soumis au Comité d'étude sur le fleuve St-Laurent par le Ministère des Richesses Naturelles. ANNEXE 5. 139 p.
- BARBEAU, C., J.C. ROY et J. TURCOTTE, 1975. Analyses chimiques des sédiments et suspensions du fleuve Saint-Laurent entre Québec et Trois-Pistoles. Centre de recherches sur l'eau, Université Laval. Rapport CRE-75/16, mars 1975, 49 p.
- BELANGER, C. et al, 1977. Les biphényles polychlorés dans la chair des poissons au Québec. Ms, non publié. SPSM, Environnement-Canada, Québec.

- BEWERS, J.M. et P.A. YEATS, 1979. The behavior of trace metals in estuaries of the St. Lawrence basin. In Le Naturaliste canadien, 106(1): 149-161.
- BLAISE, C.R. et R. LEGAULT, 1974a. Relevé bactériologique de zones coquillières, District de pêche maritime no.3, comtés Kamouraska et Rivière-du-Loup, Québec, 1974. Environnement-Canada, Service de la protection de l'Environnement, Région du Québec. 33 p.
- BLAISE, C.R. et R. LEGAULT, 1974b. Relevé bactériologique de zones coquillières, District de pêche maritime no. 5, comté Saguenay, Québec, 1974. Environnement-Canada, Service de la protection de l'Environnement, Région du Québec. 45 p.
- BLAISE, C.R. et R. LEGAULT, 1974c. Relevé bactériologique de la baie de LaMalbaie, comté Charlevoix, Québec, 1974. Environnement-Canada, Service de la protection de l'Environnement, Région du Québec. 8 p.
- BLAISE, C.R. et R. LEGAULT, 1974d. Relevé bactériologique de zones coquillières, District de pêche maritime no.4, comté Charlevoix, Québec, 1974. Environnement-Canada, Service de la protection de l'Environnement, Région du Québec. 46 p.
- BLAISE, C.R. et R. LEGAULT, 1976. Relevé bactériologique de zones coquillières, District de pêche maritime no.5, comté Saguenay, Québec, 1975. Environnement-Canada, Service de la protection de l'Environnement, Région du Québec. 79 p.
- BOUCHARD, B. et Y. OUELLET, 1974. L'influence du débit d'eau douce sur la propagation des marées dans un estuaire. Ann. ACFAS. Montréal, Vol. 41 (1) : 96.
- BOUDREAU, F.-R., 1969. Réunions d'études sur la dérive des glaces et autres sujets connexes. Act. mar., Vol. 13 (2) : 33-34.
- BOURGET, E. et G. LACROIX, 1973. Aspects saisonniers de la fixation de l'épifaune benthique de l'étage infralittoral de l'estuaire du St-Laurent. In JFRB. 30 : 867-880.
- BOURGET, E. et D. COSSA, 1976. Mercury content of mussels from the St. Lawrence Estuary and the Northwestern Gulf of St. Lawrence Canada. In Mar. Poll. Bull. 7(12): pages 237 à 249.
- BOUSFIELD, E.L., 1955. Studies on the shore fauna of the St. Lawrence and the Gaspé Coast. In Bull. Nat. Mus. Canada 136: 95-101.
- BOUSFIELD, E.L., 1964. Coquillages des côtes canadiennes de l'Atlantique. Ins. Natl. Can. Ottawa. Imprimerie de la Reine, 89 p.
- BOUSFIELD, E.L. et D.R. LAUBITZ, 1972. Station lists and new distributional records of littoral marine invertebrates of the Canadian Atlantic. Natn. Mus. Can. Bid Ocean. Serv., publ. no 5, 51 p.
- BOUSFIELD, E.L. et al, 1975. Population dynamics of zooplankton in the the middle St. Lawrence Estuary. In Estuarine Research, Ed. by E. Cronin, p. 325-351

- BRADFORD, J.D., 1971. Sea-ice pressure generation and its effect on 209 navigation in the Fulf of St.Lawrence area. In Int. Navig. J. Vol. 24 (4) : 512-520
- BRINKHURST, R.O. et al, 1974. A Bibliography of Canadian Atlantic Coast Estuary Studies. Environnement-Canada, Service des Pêches et des Sciences de la mer, Rapport technique no 482.
- BRISEBOIS, M., 1975. Distribution des sédiments récents dans l'estuaire moyen du St-Laurent. Marine Sciences Center, McGill University, thèse M.Sc., 166 pp.
- BROCHU, M., 1957a. Dynamique actuelle de la glace sur les rives du St-Laurent (Erosion et sédimentation). In Comptes rendus des séances de l'Académie des Sci. Vol. 244 : 534-536.
- BROCHU, M., 1957b. Movement of boulders and other sediments by ice on the tidal flats of the St. Lawrence River. Canada Dept. National Defence, D.R.B. Directorate of Physical Res. Report no G-1, 8 pp.
- BROCHU, M., 1960a. Dynamique et caractéristiques des glaces de dérive de l'Estuaire et de la partie nord-est du Golfe Saint-Laurent, hiver 1957-58. Canada Dept. Mines and Tech. Surveys, Geog. Paper no. 24 : 93 pp.
- BROCHU, M., 1960b. Dynamique comparée des glaces du Saint-Laurent au cours des hivers 1957-58 et 1958-59. Ann. ACFAS, Vol. 26 : 101.
- BRUNEL, P. 1970. Bibliographie choisie sur l'océanographie de l'estuaire du Saint-Laurent. In Rev. Géogr. Montr. XXIV (3) : 277-282.
- BUDGEELL, W.P. et L.R. MUIR, 1975. St.Lawrence River current survey 1974 data report. Ocean and aquatic science, Dept. of Environnement-Canada Center for Inland Waters, 335 p.
- BUI, N.V., 1971. Etude de l'effet Coriolis dans l'Estuaire du Saint-Laurent. Université de Montréal, Ecole Polytechnique, thèse de maîtrise, 106 pp.
- BUTLER, M.J., 1972. Biological aspects of oil pollution in the marine environment. Coll. Marine Sciences Center. Manuscript. Report no. 22. McGill University. 118 p.
- CARDINAL, A. et L. BERARD-TERRIAULT, 1976. Le phytoplancton de l'estuaire moyen du St-Laurent en amont de l'Ile aux Coudres (Québec). In Int. Rev. Geol. Hydrob. 61(5) : 629-638.
- CARDINAL, A. et P.E. LAFLEUR, 1977. Le phytoplancton estival de l'estuaire maritime du St-Laurent. In Bull. Soc. Phycol. France, 22:150-160.
- CARDINAL, A., P.E. LAFLEUR et E. BONNEAU, 1977. Les Tintinnides (Ciliata: Tintinnada) des eaux marines et saumâtres du Québec. I. Formes hyalines. In Acta Protozoologica, 16 : 15-25.
- CARDINAL, A. et G.R. SOUTH, 1970. A checklist of marine algae of Eastern Canada. In Can. J. Bot. 48 : 2077-2095.

- CARDINAL, A. et M. VILLALARD, 1971. Inventaire des algues marines benthiques de l'estuaire du St-Laurent. In Le Naturaliste canadien 98(5) : 887-903.
- CARTER, D. 1976. Dynamique et caractéristiques des glaces de dérive au large de Gros-Cacouna. In Etude de Gros-Cacouna comme superport pour vrac solide au Québec. ANNEXE F. 50 p.
- CAUCHOIS, D. et M. KHALIL, 1974. Matière organique dissoute dans l'Estuaire maritime du St-Laurent, Comparaison et choix des méthodes. In J. Fish. Res. Bd. Canada. Vol. 31(2) : 133-139.
- CEJKA, P., 1976. Relevé bactériologique de zones coquillières, District de pêche maritime no. 1 (comté Bonaventure) et no. 3 (comtés Rivière-du-Loup et Rimouski), Québec, 1976. Environnement-Canada, Protection de l'Environnement, Région du Québec, 103 p.
- CENTREAU, 1975. Etude de la qualité des sédiments et suspensions entre Québec et Trois-Pistoles. Tomes I et 2 Rapport technique, Le Centre de recherche sur l'eau, Université Laval, Québec. 153 pages.
- CERCEAU, J. et Y. OUELLET, 1974. Modèle mathématique pour l'étude de la variation cyclique de la salinité dans l'estuaire moyen du St-Laurent. Rapport no. CRE-74-07, CENTREAU, 112 pp.
- CESCAS, M. et A. PIERRE, 1977. Facteurs physico-chimiques, les plus responsables de l'absorption du phosphore par des sédiments du fleuve Saint-Laurent. CENTREAU, Vol. II, No 3. 34 p.
- CHEYLUS, J.F. et Y. OUELLET, 1971. Study on a mathematical model of the propagation of tides in the St. Lawrence river. NACWRR.
- CHEYLUS, J.F. et Y. OUELLET, 1971. Etude du modèle mathématique de la présentation des marées dans le fleuve St-Laurent, Application du modèle mathématique et étude de la région de l'Ile d'Orléans. CENTREAU, Rapport CRE 71-05. 37 p.
- CLARKE, J.R., 1973. Comparison of model and prototype velocities - St. Lawrence Estuary. National Research Council of Canada. Div. Mech. Engin., Ottawa, Canada. Tech. Rep. no. LTR-HY-37, 28 pp.
- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978a. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny, Volume 1. 228 p.
- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978b. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny, Volume 2. 386 p.
- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978c. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny, Volume 3. p. 391-485.
- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978d. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny, Volume 4. p. 491-882.
- COMITE D'ETUDE SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT, 1978e. Rapport d'étude sur le tronçon en aval de Montmagny, Volume 5. p. 3-139.

- COSSA, D. et C. BOURGET, 1978. Trace elements in *Mytilus edulis* L. From the estuary and gulf of St. Lawrence, Canada : lead and cadmium concentrations. *Environ. Pollut.*
- COSSA, D, et S.A. (POULET, 1978). Survey of trace metal contents of suspended matter in the St. Lawrence estuary and the Saguenay Fjord. *In* JFRB 35(3) : 338-345.
- COTE, R., 1972. Influence d'un mélange intensif de différents types d'eau sur la distribution spatiale et temporelle du zooplancton de l'estuaire du St-Laurent. Thèse, U.L., GIROQ. 251 p.
- COTE, R. et G. LACROIX, 1978. Capacité photosynthétique du phytoplancton de la couche aphotique dans le fjord du Saguenay. *In* Int. Revue ges. Hydrobiol. 63(2) : 233-246.
- CROOKSHANK, N., 1973. Numerical model studies of rivers and estuaries. University of Alberta. Water Resources center, publication no 4. First Canadian Hydraulics Conference : Proceeding 1973, no 004, pp. 315-336. Edmonton, Alberta.
- D'ANGLEJAN, B.F., 1969. Preliminary Observations on Suspended Matter in the Gulf of St. Lawrence. *In* Maritime Sediments, Vol. 5 No 1, pp. 15-18.
- D'ANGLEJAN, B.F., 1971. Submarine sand dunes in the St. Lawrence Estuary. *In* Can. J. Earth Sci. 8 : 1480-1486.
- D'ANGLEJAN, B.F. et M. BRISEBOIS, 1974. First subbottom acoustic reflector and thickness of recent sediments in the upper Estuary of the St. Lawrence River. *In* Can. J. Earth Sci 11 : 232-245.
- D'ANGLEJAN, B.F. et M. BRISEBOIS, 1978. Recent sediments of the St-Lawrence middle estuary. *In* J. of Sedimentary Petrology 48(3) : 951-964.
- D'ANGLEJAN, B.F. et M.J. DUNBAR, 1968. ~~Some~~ Some observations of oxygen, pH and total alkalinity in the Gulf of St. Lawrence, 1966, 1967, 1968. Marine Sciences Centre, McGill University, 14 p.
- D'ANGLEJAN, B.F. et R.G. INGRAM, 1976. Time depth variations in tidal flux of suspended matter in the St. Lawrence Estuary. *In* Est. and Coast. Mar. Sci. 4(4) : 401-416.
- D'ANGLEJAN, B.F., R.G. INGRAM et J.P. SAVARD, 1979. Transport en suspension et fronts de turbidité devant la baie de Ste-Anne. *In* Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- D'Anglejan, B.F. et E.C. SMITH, 1973. Distribution, transport and composition of suspended matter in the St. Lawrence Estuary. *In* Can. J. Earth Sciences 10(9) : 1380-1396.
- D'ANGLEJAN, B.F., E.W. SMITH et M. BRISEBOIS, 1974. Modern sedimentation and suspended transport in the St. Lawrence Estuary. *In* Mem. Inst. Bassin Aquitaine, 7 : 9-17.
- DEGUISE, J.C., 1979. Ondes internes de haute fréquence dans l'estuaire du St-Laurent. Symp. sur l'océanographie de l'estuaire. UQAR. 91p.

- DEMERS, S. et L. LEGENDRE, 1979. Effet des marées sur la variation circadienne de la capacité photosynthétique du phytoplancton de l'estuaire du Saint-Laurent. J. Exp. Mar. Biol. Écol.
- DIONNE, J.C., 1961. Quelques particularités de la morphologie littorale du Saint-Laurent. In Rev. Can. Géog., Vol. 15 (1-4) : 19-27.
- DIONNE, J.C., 1962. Note sur les blocs d'estran du littoral sud du Saint-Laurent. In The Canadian Geographer, Toronto, Vol. 6 (2) : 69-77.
- DIONNE, J.C., 1963a. Vers une définition plus adéquate de l'estuaire du Saint-Laurent. Institut de géographie, Université de Montréal. p. 36-47.
- DIONNE, J.C., 1963b. Les types de côtes de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent. In NOROIS, Poitiers, no. 38 : 151-160.
- DIONNE, J.C., 1965. Algues et sédimentologie littoral. In Rev. Géogr. Montréal, Vol. 19 (1-2) : 91-98.
- DIONNE, J.C., 1966a. Pointe-à-la-Loupe, côte sud de l'estuaire maritime du Saint-Laurent; Soc. Géomorphologie et d'Interprétation de Photo-aériennes (Dinard), Ser. Photo-interprétation, no.2, 3 pp.
- DIONNE, J.C., 1966b. Formes de cryoturbation fossiles dans le sud-est du Québec. In Cah. Géog. Qué., no. 19 : 89-100 and Geogr. Bull, Vol. 9 (4) : 13-24, 1967.
- DIONNE, J.C., 1967a. Pourcentages de matériaux cristallins dans les formations meubles détritiques de la région côtière Montmagny-LaPocatière. In Cah. Géog. Qué. no. 23 : 411-418.
- DIONNE, J.C., 1967b. Formes de corrosion littorale côte sud du Saint-Laurent. In Cah. Géog. Qué., no. 23 : 379-395.
- DIONNE, J.C., 1968a. Morphologie et sédimentologie glacielles, littoral sud du Saint-Laurent. In Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. bd. no.7 : 56-84.
- DIONNE, J.C., 1968b. Action of shore ice on the tidal flats of the St. Lawrence Estuary. In Maritime Sediments, Vol. 4(3): 113-115.
- DIONNE, J.C., 1969a. Erosion glacielle littorale, estuaire du Saint-Laurent. In Rev. Geogr. Montreal. Vol. 23 (1) : 5-20.
- DIONNE, J.C., 1968d. Schorre morphology on the South Shore of the St. Lawrence Estuary. In Amer. Jour. Sci., Vol. 266 (5) : 380-388.
- DIONNE, J.C., 1969a. Caractéristiques des blocs erratiques des rives de l'estuaire du St-Laurent. In Rev. Geogr. Montréal, 26 (2) : 125-152.
- DIONNE, J.C., 1969b. Erosion glacielle littorale, estuaire du St-Laurent. In Rev. Geogr. Montréal, Vol. 23 (1) : 5-20.

- DIONNE, J.C., 1969c. Bibliographie annotée du glaciél : aspects morpho-sédimentologiques. In Rev. Geogr. Montréal, Vol. 23 (3) : 339-349.
- DIONNE, J.C., 1969d. Tidal flat erosion by ice at LaPocatière, St. Lawrence Estuary. In J. Sed. Petrology, Vol. 39 (3) : 1174-1181.
- DIONNE, J.C., 1970a. Aspects morpho-sédimentologiques du glaciél, en particulier des côtes du St-Laurent. Thèse Doct., Univ. Paris : 412 pp.
- DIONNE, J.C., 1970b. Exotic pebbles in Quaternary deposits from the south coast of the St. Lawrence Estuary, Quebec. In Maritime Sed., Vol. 6 (3) : 110-112.
- DIONNE, J.C., 1971a. Érosion glacielle de la slikkē, estuaire du St-Laurent. In Rev. Géomorph. Dyn., Vol. 20 (1) : 5-21.
- DIONNE, J.C., 1971b. Nature lithologique des galets des formations meubles quaternaires de la région de Rivière-du-Loup/Trois-Pistoles, Québec. In Rev. Géogr. Montréal, Vol. 25 (2) : 129-142.
- DIONNE, J.C., 1971c. Polygonal patterns in muddy tidal flats. In J. Sed. Petrol., Vol. 41 (3) : 838-839.
- DIONNE, J.C., 1971d. Vertical packing of flat sondes. In Can. Jour. Earth Sci., Vol. 8 (12) : 1585-1591.
- DIONNE, J.C., 1972a. Le quaternaire de la région de Rivière-du-Loup, Trois-Pistoles, Côte sud de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. 95 p.
- DIONNE, J.C., 1972b. Caractéristiques des schorres des régions froides, en particulier de l'estuaire du St-Laurent. In Zeitsch. für Geomorph., Sp. Bd. no. 13 : 131-162.
- DIONNE, J.C., 1972c. Caractéristiques des blocs erratiques des rives de l'estuaire du St-Laurent. In Rev. Géogr. Montréal. Vol. 26 (2) : 125-152.
- DIONNE, J.C., 1972d. Micro-craters in Muddy tidal flats of cold regions. In Cah. Géogr. Québec, no. 39 : 495-498.
- DIONNE, J.C., 1972e. Ribbed grooves and tracks in mud tidal flats of cold regions. In J. Sed. Petrol., Vol. 42 (4) : 846-851.
- DIONNE, J.C., 1972f. Vocabulaire du glaciél/Drift ice terminology. In Québec Centre Rech. For. Laurentides, Rapp. Inf. Q-F-X-34 : 47 pp.
- DIONNE, J.C., 1972g. Le glaciél ou l'action géologique des glaces flottantes. In Québec Centre Rech. For. Laurentides, Rapp. sp. IV : 26 pp.
- DIONNE, J.C., 1973a. Monroes: a type of so-called mud volcanoes in tidal flats. In J. Sed. Petro., Vol. 43 (3) : 848-856.

- DIONNE, J.C., 1973b. La notion de pied de glace (icefoot), en particulier dans l'estuaire du Saint-Laurent. In Cah. Géogr. Qué., Vol. 17 (41) : 221-250.
- DIONNE, J.C., 1973c. L'action mystérieuse du glacier. In Geos., Vol. 2 (1) : 8-9.
- DIONNE, J.C., 1974a. How drift ice shapes the St. Lawrence. In Can. Geogr. J., Vol. 88 (2) 4-9.
- DIONNE, J.C., 1974b. Mud cracks and polygons on ice push ridges, in lower tidal flats of the St. Lawrence Estuary. In Can. Jour. Earth Sci., Vol. 11 (3) : 489-494.
- DIONNE, J.C., 1974c. Polished and striated mud surfaces in the St. Lawrence tidal flats, Québec. In Can. Jour. Earth Sci., Vol. 11 (6) : 860-866.
- DIONNE, J.C., 1974d. The power of drift ice in the St. Lawrence Estuary. In Can. Geogr. J., Vol. 87.
- DIONNE, J.C., 1976. La mer de Goldswait au Québec (état de nos connaissances). Rapport préliminaire. Environnement-Canada.
- DIONNE, J.C., 1979. Action géologique des glaces de l'estuaire du St-Laurent. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- DORAN, M.A., 1978. Etude écologique de la végétation et de son utilisation par la grande oie blanche (*Anser caerulescens atlanticus*) dans le marais intertidal de la Réserve nationale de faune de Cap Tourmente, Québec. Environnement-Canada, Service canadien de la Faune.
- DRAPEAU, G., 1973. Oil and the St. Lawrence estuary : Université du Québec. Program Proceedings, oil and the Canadian Environment Conference, 16 may 1973, pp. 96-97.
- DRAPEAU, G. et G. FORTIN, 1978. Tidal sedimentation in Gros-Cacouna Harbour. Proc. 16th Inter. Conf. on Coastal Engineering.
- DRAPEAU, G. et N. HARRISON, W. BIEN et P. LEINONEN, 1974. Oil slick fate in a region of strong tidal currents. 14th International Conference on Coastal Engineering, Copenhagen, Denmark. Juin. 24-28, 1974.
- DUNBAR, M.J. et al, 1980. The biogeographic structure of the Gulf of St. Lawrence. Marine Sciences Centre Manuscript No. 31. McGill University, 142 pp.
- EL-SABH, M.I., 1973a. Effects of Grande-Ile supertanker Port and jetty on the marine environment off Kamouraska area - St. Lawrence Estuary. In Impact sur l'environnement du Projet "Oléoduc et superport St-Laurent". Evaluation de l'impact écologique du Projet. INRS - Université du Québec, Québec, Canada. Unpubl. report: 59 pp.

EL-SABH, M.I., 1973b. Seasonal and long-term variations of the water properties in the Gulf of St. Lawrence. In Compte-rendu de l'atelier des sciences physiques dans le golfe et l'estuaire du St-Laurent; Rimouski, 1973 (Coord., M-I El-Sabh)., pp 128-158.

EL-SABH, M.I., 1976. Bibliographie sur l'océanographie de l'estuaire du Saint-Laurent. Cahiers de l'Université du Québec à Rimouski.

EL-SABH, M.I., 1977. Circulation pattern and water characteristics in the lower St. Lawrence estuary. In J.S. Murty (Ed) Proc. symposium on modeling transport mechanisms in oceans and lakes. Env. Canada Rep. No. 43 p. 243-248.

EL-SABH, M.I., 1979. The lower St. Lawrence estuary as a physical system. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.

EL-SABH, M.I., L. LEVESQUE et T.S. MURTY, 1979. Mouvements des eaux induits par la marée, et le vent dans l'Estuaire du Saint-Laurent. In Le Naturaliste canadien, 106 (1) : 89-104.

ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE, 1973. Normales au Canada, températures 1941-1970. Volume 1, Environnement-Canada, 186 p.

ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE, 1975a. Normales au Canada, vent 1955-1972. Volume 3, Environnement-Canada, 139 p.

ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE, 1975b. Normales au Canada, précipitations 1941-1970. Volume 2-SI, Environnement-Canada, 333 p.

ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE, 1980a. Banque de données informatisées sur les précipitations jusqu'en 1979. Environnement-Canada.

ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE, 1980b. Banque de données informatisées sur les vents, la température de l'air et de l'eau dans l'estuaire, de 1978 à 1979. Environnement-Canada.

FARQUHARSON, W.I., 1966. St. Lawrence Estuary Current Surveys. Bedford Institute of Oceanography, 79 p.

FARQUHARSON, W.I., 1970. Tides, Tidal streams and Currents in the Gulf of St. Lawrence, Second Edition - Part I Tides and Tidal Streams. Bedford Institute of Oceanography. 89 p..

FORRESTER, W.D., 1972. Tidal transports and streams in the St. Lawrence River and Estuary. In International Hydrographic Review, Vol. 48 (1) : 95-108.

FORRESTER, W.D. et M.I. EL-SABH, 1974. Principle of salt continuity applied to estuarine transport calculations. In Rapp. P-V- Réunion. Cons.int. Explor. Mer., 167 : 49-52.

FORTIER, et al, 1978. Variabilité à court terme du photoplancton dans l'estuaire du St-Laurent. In Mar. Biol. 46 : 349-354.

- FORTIN, J.P., R.CHARBONNEAU et G.GIRARD, 1971. Précision et sensibilité des modèles paramétriques. Huitième symposium canadien sur l'hydrologie, Conseil National de Recherches.
- FORTIN, G. et G. DRAPEAU, 1979. Envasement du port de Gros-Cacouna, situé dans l'estuaire du Saint-Laurent. In Le Naturaliste canadien, 106 (1) : 175-188.
- FRASER, J.K. et C.N. FORWARD, 1952. Reports on the aerial ice survey of the St. Lawrence River, March 10, 1952. Canada Dept. Mines & Technical Surveys, Geog. Br.
- FRENETTE, M., A. POIRE, Y. OUELLET et J.L. VERRETTE, 1975. Principle of management of degenerated inlets and estuaries. Symp. on modeling techniques for waterways Harbour Coastal Engineers. San Francisco, 3-5, September 1975, pp. 315-334.
- GAGNON, M. et G. LACROIX, 1979. Variabilité à court terme du zooplancton dans l'estuaire du Saint-Laurent. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- GAUTHIER, B. et V. LAVOIE, 1973. Etude préliminaire de la végétation du littoral "Bras Nord" de l'Ile d'Orléans. Centre de Recherches sur l'eau, Université Laval. Rapport final, jan. 1973, 88 p.
- GAUTHIER, J. et J. BEDARD, 1976. Les déplacements de l'eider commun (*Somateria mollissima*) dans l'estuaire du Saint-Laurent. In Le Naturaliste canadien, 103 (4) : 261-283.
- GAUTHIER, B. 1977. Recherches sur les limites biologiques du Saint-Laurent (phytogéographie du littoral). Thèse de doctorat, U. Laval, Québec. 233 p.
- GOBEIL, C. 1979. Géochimie du matériel particulaire en suspension dans la zone de turbidité maximale de l'estuaire moyen du St-Laurent. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- GODIN, G., 1967. The analysis of current observations. In International Hydrographic Review, Vo. 44 (5) : 144-167.
- GODIN, G., 1971. Hydrodynamical studies on the St. Lawrence River Marine Sciences Branch. Dept. Energy, Mines of Resources, Ottawa, Manuscript no. 18 : 116 pp.
- GODIN, G., 1979. La marée dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent. In Le Naturaliste canadien, 106 (1) : 105-121.
- GOLDER, QH., and Associates, 1966. Sub-surface conditions, Gros-Cacouna Harbour Development.
- GREISMAN, P. et G. INGRAM, 1977. Nutrient distribution in the St. Lawrence Estuary. In J. Fish. Res. Board Can. 34 : 2117-2123.
- GOUIN, D., 1976. Qualité physio-chimique et bactériologique - phase 1. Etude sur le fleuve Saint-Laurent, Mars. 325 pages.
- GOUIN, D. et D. MALO, 1976. Caractérisation des apports - Phase I. Etude sur le fleuve Saint-Laurent, Direction de la connaissance de la qualité du milieu (SPEQ), 31 mars, 164 pages.
- HARRISON, W. 1974. The Fate of crude oil spills and the siting of four supertanker ports. In Canadian Geographer, vol. 18, no 003, p. 211-31.

- HENRY, R.F., 1971. Simulation of tidal motion in complex river system. Marine Sciences Br., Dept. Energy, Mines of Resources, Ottawa. M.S. no. 17 : 30 pp.
- HOFF, J., 1979. Distributions of the dissolved and particulate trace metals in the estuary and gulf of St. Lawrence. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UOAR. 91p.
- HUNTSMAN, A.G., 1923. The influence of tidal oscillations on vertical circulation in estuaries. In Trans. Royal Soc. Canada, 3rd Series. Vol. 17: 11-14.
- INGRAM, R. Grant, 1979. Water mass modification in the St. Lawrence Estuary. In Le Naturaliste canadien, 106 : 45-54.
- INGRAM, R. Grant et B. D'ANGLEJAN, 1975. Tidal induced fluctuations of suspended matter in the St. Lawrence Estuary. EOS, Trans. Amer. Geoph. Union 56 (2) : 86.
- INGRAM, R. Grant et B. D'ANGLEJAN, 1977. On the importance of cross-channel suspended matter-flux in the upper St. Lawrence Estuary. In Proc. Symp. on the modeling of transport mechanisms in oceans and lakes, Burlington, Ont., 1975, p. 149-158.
- JACQUAZ, B. et al, 1977. Seasonal distribution, abundance and growth of larval capelin (*Mallotus villosus*) in the St. Lawrence Estuary and Northwestern Gulf of St. Lawrence, In J. Fish Res. Bd Can., 34: 2015-2029.
- JARLAN, G.E. et M. BROCHU, 1959. Observations of frazil in the St. Lawrence River (Quebec). National Research Council of Canada, Mechanical Engineering, Rep MH-8, 19 p.
- JOHANNESSEN, O.M., 1970. Note on some vertical current profiles below ice flow in the Gulf of St. Lawrence and near the North Pole. In J. Géophys. Res., 75 (15) : 2857-2861.
- JORDAN, F., 1973. The St. Lawrence System run-off estimates (1960-1970). Bed. Inst. Oceanog., Dartmouth, Can., Data series B1-D, 73-10m 11 pp.
- KAMPHUIS, J.W., 1968. Mathematical model study of the propagation of tides in the St. Lawrence River and Estuary. National Res. Council Rep. DME MH 105, Ottawa: National Res. Council, August 1960.
- KAMPHUIS, J.W., 1970. Mathematical model of the St. Lawrence River. ASCE Hydraulics Div. Sp. Conf. M.I.T., Boston, Aug. 1968.
- KEIGHAN, E., 1977. Caractérisation du niveau d'enrichissement et de la toxicité des eaux du bassin du fleuve Saint-Laurent. Rapport technique no 6, Etude sur le fleuve Saint-Laurent, 153 pages.
- KERRY, J.G.G., 1950. Winter navigation on the St. Lawrence. Dock and Harbour Authority, Vol. 31 (361) : 255 pp.
- KHALIL, M., 1974. Etude de la pollution organique et sa diffusion dans l'Estuaire du Saint-Laurent. Deuxième congrès international sur l'exploitation des océans, Oceanexpo, Bordeaux, France, Vol. 3 (Bx315) : 1-15.
- KHALIL, M. et M.I. EL-SABH, 1974. Le superport pétrolier dans l'Estuaire. Contestation scientifique du rapport SIMULEC. Progrès-Echo (documents). Vol. 71 (37) : 1-3.

- KHALIL, M. et M. ARNAC, 1975. Le golfe et l'Estuaire du Saint-Laurent. Revue des principaux travaux d'océanographie chimique. Revue Int. d'Océanogr. Médicale, tomes (39/40) : 153-170.
- KHALIL, M. B. ROY, 1979. Caractéristique du carbone total dans les eaux du St-Laurent et du Saguenay. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). UQAR. 91p.
- KOUTITONSKY, V.G. et R. NOEL, 1978. Etude des paramètres hydrodynamiques pour le port de Gros-Cacouna-vrac solide. Annexe A. In Etude de Gros-Cacouna comme superport pour vrac solide au Québec. INRS-Océanologie. 109 p.
- KRANK, K., 1979. Dynamics and distribution of particulate matter in the St. Lawrence Estuary. In Le Naturaliste canadien, 106 (1) : 163-173.
- LACOURSIÈRE, E., 1969. Etude écologique de la végétation riparienne entre Sainte-Famille et l'Ile d'Orléans. Thèse de maîtrise, Université Laval, 150 p.
- LAFLEUR, P.E., 1978. Etude de la variabilité temporelle à court terme du phytoplancton de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Thèse de maîtrise. Université Laval, 62 p.
- LAFLEUR, P.E. et al, 1979. Co-variabilité temporelle à court terme de la chlorophylle et de la température dans l'estuaire du Saint-Laurent. JFRB.
- LALONDE, VALOIS, LAMARRE, VALOIS et ASSOCIES INC., 1976. Système de transport des hydrocarbures Bas St-Laurent, Montréal. (Avec la collaboration de l'INRS-Océanographie et de Van Houten Associates).
- LAMOUREUX, P. 1977. Estimation des stocks commerciaux de Myes (*Mya arenaria* L.) au Québec. Biologie et aménagement des pêcheries. Québec, Min. Ind.Com., Cah. Inf. no 78 : 109 p.
- LAVOIE, R. et G. BEAULIEU, 1971. Salinité des eaux de surface du Saint-Laurent. In Le Naturaliste canadien, 98 : 191-193.
- LEBEL, J. et A. POISSON, 1979. Les relations chlorinite - 5% - densité dans l'estuaire du Saint-Laurent et le fjord du Saguenay. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- LEBLOND, R., 1967. Le Saint-Laurent: orientation bibliographique. Cahiers de géographie du Québec, no 23, septembre 1967.
- LEDOUX, R., 1975. Etude minéralogique des sédiments du fleuve Saint-Laurent, Bras-nord et Québec-Trois-Pistoles. CRE. 75/15.
- LEGENDRE, L. et al, 1973. Contribution au débat sur le port pour super-pétrolier dans le Saint-Laurent. L'aspect océanographique. GIROQ, Québec, 22 pp.
- LEVESQUE, L., 1977. Etude du modèle mathématique de la propagation des marées dans l'estuaire du Saint-Laurent. SOUQAR, Cahier d'information no 2. 161 p.
- LEVESQUE, L., T.S. MURTY et M.I. EL-SABH, 1978. Numerical modeling of tidal propagation in the St. Lawrence Estuary. In Int. Hydrog. Review, Vol. 55 (1).
- LEVY, E.M., 1971. The presence of petroleum residues off the east coast of Nova Scotia, in the Gulf of St. Lawrence and the St. Lawrence River. In Water Research., Vol. 5 (9) : 723-733.

- LEVY, E.M., 1972. The identification of petroleum products in the marien environment by absorption spectrophotometry. In Water Res. 6 : 57-69.
- LEVY, E.M. et A. WALTON, 1973. Dispersed and particulate petroleum residues in the Gulf of St. Lawrence. In J. Fish. Res. Bd. Canada. Vol. 30 (2) : 261-267.
- LLAMAS, José, 1976. Rappel bibliographique. Cahiers de CENTREAU, Vol I (2), 66 p.
- LLAMAS, J. et J.P. TRIBOULET, 1977. Débits extrêmes des cours d'eau du bassin moyen du St-Laurent. Cahiers du CENTREAU, Vol II (2), 47 pp.
- LORING, D.H., 1975. Mercury in the sediments of the Gulf of St. Lawrence. In Can. J. Earth Sci. 12 (7) : 1217-1219.
- LORING, D.H., 1979. Trace metal geochemistry of the sediments in the St. Lawrence Estuary. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- LORING, D.H. et R.J. LAHEY, 1963. Distribution of calcium carbonate in the sediments of the river, estuary and gulf of St. Lawrence. JFRB, manuscript report, series (Oceanographic and Limnological) #140, 14 p.
- LORING, D.H. et DJG. NOTA, 1968. Occurrence and significance of iron, manganese and titanium in glacial marine sediments from the estuary of the St. Lawrence River. In JFRB 25 : 2327-2347.
- LORING, D.H. et DJG. NOTA, 1973. Morphology and sediments of the Gulf of St. Lawrence. In JFRB, Bull. 182, 147 pp.
- MAGNIN, E. et G. BEAULIEU, 1965. Quelques données sur la biologie de l'éperlan (*Osmerus eperlanus mordax* (Mitchell)) du Saint-Laurent. Québec, Min. Ind. Com., Trav. Pêcheries Qué., no 19 : p. 539 à 555.
- MALO, D. et D. GOUIN, 1977a. Incidences des affluents industriels et municipaux. Etude sur le fleuve Saint-Laurent.
- MALO, D. et D. GOUIN, 1977b. Caractérisation des apports. Rapport technique, no 14. Etude sur le fleuve Saint-Laurent.
- MALO, D. et D. GOUIN, 1978. Répertoire des résultats d'analyses 1977. Etude sur le fleuve Saint-Laurent.
- MARCHE, C., 1974. Etude de la déformation progressive de l'onde de marée dans l'Estuaire du Saint-Laurent. Université de Montréal, thèse de doctorat, 64 pp.
- MARCOTTE, A., 1973. Bibliographie des travaux des Laboratoires de Biologie marine du Gouvernement du Québec, 1938-1971. Cahiers d'Information No 60. Ministère de l'Industrie et du Commerce.
- MARLOWE, J.I., 1970. Weddellite in bottom sediments from the St. Lawrence and Saguenay Rivers. In J. Sediment. Petrol. 40:499-506.
- MARTY, J.C. et A. CHOINIÈRE, 1978. Composition en acides gras et en hydrocarbures des mousses et de la microcouche de surface dans l'estuaire du Saint-Laurent. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.

- MARTY, J.C. et A. CHOINIÈRE, 1979. Acides gras et hydrocarbures de l'écume marine et de la microcouche de surface. In Le Naturaliste canadien, 106 (1) : 141-147.
- MERIC, P., 1975. Circulation résiduelle dans l'estuaire moyen du St-Laurent et son influence sur les processus sédimentaires. Cahiers de CENTREAU, CRE 75/03, 68 pp.
- MICHEL, B., 1973. Ice conditions related to winter navigation. Kamouraska Basin St. Lawrence River. Unpubl. MS Report, NEPCC, 46 pp.
- MICHEL, B. et D. BERENGER, 1972. Contribution à une étude systématique de la formation de la glace dans le St-Laurent. Rapport GCS-72-10-25, Génie Civil, Université Laval, 180 pp.
- MICHEL, B. et D. BERENGER, 1974. L'hiver glaciologique le long du Fleuve St-Laurent. No. 4 : Measurement and forecasting specific to River and Lake Ice. International Symposia on the Role of Snow and Ice in Hydrology. Symposium on Measurement and Forecasting. p. 1251 à 1282.
- MICHEL, B. et M. DROUIN, 1972. Débit de la glace flottante du St-Laurent au pont de Québec: 1) Principe des mesures: 2) Compilation des résultats. Génie Civil, Université Laval, Rapport GCS-72-09-24, 32 pp.
- MUIR, L.A., 1979a. Internal tides in the middle estuary of the St. Lawrence. In Le Naturaliste canadien, 106(1) : 27-36.
- MUIR, L.R., 1979b. St. Lawrence River Oceanographic Survey, 1977 Data Report, Volume 1, Tidal, Meteorological and Current Meter Data. Pêches et Océans Canada. Burlington, Ontario, 199 p.
- MUIR, L.R., 1979c. St. Lawrence River Oceanographic Survey, 1977 Data Report, Volume 2, Profile Data. Pêches et Océans Canada, Burlington, Ontario, 278 p.
- MURTY, T.S. et M.I. EL-SABH, 1977. Transverse currents in the St. Lawrence Estuary: a theoretical treatment. In Transport Processes in Oceans and Lakes. (Editors R. Gibb & R. Shaw) Plenum Press, N.Y.
- MURTY, T.S. et J.D. TAYLOR, 1970. A Numerical Calculation of the Wind-driven Circulation in the Gulf of St. Lawrence. In Journal of the Oceanographical Society of Japan, 26 (4) : 203-214.
- NADEAU, A., 1978. Les ressources halieutiques dans l'estuaire et le golfe du St-Laurent. In Etude de Gros-Cacouna comme superport pour vrac solide au Québec. Annexe E. INRS - Océanologie, 82 p.
- NEU, H.J.A., 1970. A study on mixing and circulation in the St. Lawrence Estuary up to 1964. Atlantic Oceanogr. Lab. Bed. Inst., Dartmouth, N.S., Canada. Unpubl. MS Report no 70-9, 32 pp.

- NEU, H.J.A., 1973. Run-off regulation of the St. Lawrence and its liability. Water for the Human Environment, vol. IV, special sessions: proceedings of the first world congress on water resources. (4 vol.), Chicago, Illinois, sept. 24-28.
- NEU, H.J.A., 1976. Run-off regulation for hydro-power and its effect on the ocean environment. Hydrological Sciences Bulletin, 21 (3): 433-434, sept. 1976.
- NOEL, J.G. et R.E. SIMARD, ~~1975~~, Niveau de pollution du fleuve St-Laurent de Repentigny à Montmagny. I : Pollution microbienne. In Le Naturaliste canadien, 102 (2) : 199-208.
- NOEL, J.G. et R.E. SIMARD, 1975. Niveau de pollution du fleuve St-Laurent de Repentigny à Montmagny. II: Pollution biochimique. In Le Naturaliste canadien, 102(2) : 209-218.
- NOTA, D.J.G. et D.H. LORING, 1969. Récent depositional conditions in the St. Lawrence River and Gulf. A reconnaissance survey. In Mar. Geol. 2 : 198-235.
- OUELLET, Y., 1973. Mesures de courants dans les régions de l'Ile Verte, Cap-au-Saumon et Grande Ile. CRE, U.L., 30 pp.
- OUELLET, A., 1977. Géochimie du soufre dans des sédiments de l'Estuaire du Saint-Laurent et du Fjord du Saguenay. Thèse de maîtrise accepté par l'Université du Québec à Rimouski, 61pp.
- OUELLET, Y. et al, 1971. Variations des caractéristiques physico-chimiques des eaux du Saint-Laurent dans la région de Cap Brûlé. Centre de recherches sur l'eau, Université Laval. Rapport présenté à l'Hydro-Québec, déc. 1971, 43 p. et ann.
- OUELLET, Y. et J. CERCEAU, 1976. Mélange des eaux douces et salées du St-Laurent. Circulation et salinité. Les Cahiers du Centreau, Vol 1 (4) : 57pp.
- OUELLET, Y. et J.-F. CHEYLUS, 1971. Etude du modèle mathématique de la propagation des marées dans le fleuve Saint-Laurent; application du modèle mathématique et étude de la région de l'Ile d'Orléans. Centre de recherches sur l'eau, Université Laval, 37 pp.
- OUELLET, Y. et C. TRUMP, 1979. La circulation hydrodynamique dans la zone de mélange estuarienne du St-Laurent. In Le Naturaliste canadien, 106(1) : 13-26.
- PAQUIN, G., 1977. Rapport des analyses des herbicides, insecticides et PCB dans l'eau des tributaires du Saint-Laurent. Etude sur le fleuve Saint-Laurent.
- PARENT, St. et P. BRUNEL, 1976. Aires et périodes de fraye du capelan (*Mallotus villosus*) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. In Travaux sur les pêcheries du Québec, no 45. Ministère de l'Industrie et du Commerce. 45 p.

- PARTENSCKY, H.W. et R. VINCENT, 1965. Tidal characteristics of the St-Lawrence: Estuary, determined by means of a linearized approximation. Rapport au Conseil National des recherches, septembre 1965.
- PARTENSCKY, H.W. et R. VINCENT, 1966. Tidal motion in the St-Lawrence Estuary. In 10th Conf. Coastal Engin. Tokyo, Sept. 5-8, 1966: 1-6.
- PARTENSCKY, H.W. et L. LOUCHARD, 1967. Etude sur la variation cyclique de la salinité moyenne dans l'Estuaire du Saint-Laurent. Université de Montréal, Ecole Polytech., Div. Hydraulique. Rapp. Cons. Nat. Rech. Ottawa, 147 pp.
- PARTENSCKY, H.W. et I.S. KHLOEUNG, 1967a. Oscillations de lames déversantes non aérées. In Comptes rendus XIIe Congr. Assoc. Intern. Rech. Hydr. (AIRH), Fort Collins, U.S.A. September 1967. Vol 4: 5-6.
- PARTENSCKY, H.W. et I.S. KHLOEUNG, 1967b. Supplément à la publication S-6 des séminaires. In Comptes rendus XIIe Congr. Assoc. Intern. Rech. Hydr., Fort Collins, U.S.A., September 1967: V (Supplément).
- PARTENSCKY, H.W. et L. LOUCHARD, 1968. The intrusion of salinity into the Estuary of the St-Lawrence River. In 11th conf. Coastal Engin. London, Sept. 1968 : 1-5.
- PARTENSCKY, H.W. et J.C. WARMOES, 1969a. Damped cooscillating tides with negative reflection at the end of the estuary. In XIIIth Congr. Intern. Assoc. Hydraul. Res., Kyoto, Sept. 1969 : 1-9.
- PARTENSCKY, H.W. et J.C. WARMOES, 1969b. Etudes des marées dans l'Estuaire du Saint-Laurent entre l'Ile d'Anticosti et le lac Saint-Pierre. Université de Montréal, Ecole Polytech., Div. Hydraul., Rapp. Cons. Nat. Rech. Can., 3 vol., 300 pp.
- PARTENSCKY, H.W. et J.C. WARMOES, 1969c. General report on polyphased flows. In Comptes rendus XIIIe Congr. Assoc. Intern. Rech. Hydr., Kyoto, Japon, September 1969. Vol. 3 (C-39).
- PARTENSCKY, H.W. et J.C. WARMOES, 1970. Etude des marées dans l'Estuaire du Saint-Laurent à l'aide d'un modèle mathématique linéarisé. Rapport soumis en 3 volumes au Cons. Nat. Rech. Can. et au Minis. Educ. du Québec, décembre 1970 : 1-6-7.
- PARTENSCKY, H.W. et Bui NGOC-VU, 1971. Etude sur l'effet Coriolis dans l'Estuaire du St-Laurent. Rapport soumis en 3 volumes au Cons. Nat. Rech. Can. et au Minis. Educ. du Québec, Septembre 1971: 1-109.
- PARTENSCKY, H.W. et A. SWAIN, 1971. Theoretical Study on flap gate oscillation. In Comptes rendus XIXV Congr. Assoc. Intern. Rech. Hydr., Paris, September 1971. Vol. 2 (B-26).
- PARTENSCKY, H.W. et C. MARCH, 1972. Deformation of tidal waves in estuaries due to uniform flow. In XIIIe Congr. Intern. Génie Mar., Vancouver, Canada, juillet 1972.

- 223
- PELLETIER, E., 1978. Contribution à l'étude du pH, de l'alcalinité et du bore inorganique dans l'Estuaire moyen du Saint-Laurent. Thèse de maîtrise, Université du Québec à Rimouski. 132 pp.
- PELLETIER, E. et J. LEBEL, 1978a. Détermination du bore inorganique dans l'Estuaire du Saint-Laurent. In J. Can. Sci. Terres, Vol. 14 (8): 1732-1739.
- PELLETIER, E. et J. LEBEL, 1978b. Principes et techniques de mesures du pH et de l'alcalinité des eaux de mer: Application à l'Estuaire du Saint-Laurent et au fjord du Saguenay. Université du Québec à Rimouski, section d'Océanographie. Cahier d'INformation No 3:83 pp.
- PELLETIER, E. et J. LEBEL, 1979. Etude du pH et de l'alcalinité de l'Estuaire du Saint-Laurent. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- PLOCKINGTON, R. et J.D. LEONARD, 1979. Terrigenous organic matter in sediments of the St. Lawrence Estuary. Le Naturaliste canadien.
- PROEG, J. et J.W. KAMPHUIS, 1974. Comprehensive tidal study of the St. Lawrence River. Coastal Engineering, Chapitre 91: 1421-1438.
- POULET, S.A. (1976) Aspects biologiques des masses d'eau dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. In Etude de Gros-Cacouna comme superport pour vrac solide au Québec. Annexe B. INRS - Océanologie, 62 p.
- POULET, S.A. et J.P. CHANUT, 1979. Variations spatiales de la concentration et de la taille des particules dans le Saguenay, l'estuaire et le golfe du St-Laurent. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- PRANDLE, D. et N. CROOKSHANK, 1972. Numerical model studies of the St. Lawrence River. National Research Council of Canada, Div. Mech. Engin. Ottawa, Tech. Rep. no. MH-109 : 104 pp.
- PRANDLE, D. et N. CROOKSHANK, 1974. Numerical model of St. Lawrence River Estuary. J. Hydraulics Div. ASCE. Vol. 100 (XY4) : 519-529.
- REED, A. et A. BOURGET, 1976. Effets du développement portuaire de vrac solide à Gros-Cacouna sur l'avifaune de cette région. Annexe D. In Etude de Gros-Cacouna comme superport pour vrac solide au Québec, SCF, 29 p.
- REED, A. et G. MOISAN, 1971. The Spartina Tidal marshes of the St. Lawrence and their importance to aquatic birds. In Le Naturaliste canadien, 98 : 905-922.
- RICHESSSES NATURELLES, 1977. Annuaire hydrologique 1975-1977. Gouvernement du Québec.
- ROBITAILLE, B., 1957. Rapport préliminaire sur les glaces fluviales à l'Ile Cacouna, estuaire du St-Laurent, Province de Québec. Canada Ministère des Mines et relevés techniques, Direction de la géographie, Etude geogr. no. 10 : 24 pp.
- RODIER, L., 1977. Analyse d'acides gras dans les sédiments du Saint-Laurent par chromatographie en phase gazeuse. Thèse de maîtrise. 66 p..
- SARGEANT, D.E. et P.F. BRODIE, 1969. Identity, abundance and present status of populations of White whales, Delphinapterus leuca, in North America. In J.F.R.B. 32: 1047-1054.

- SERODES, J.B., 1975. Caractéristiques organiques des suspensoides et sédiments du Saint-Laurent entre Québec et Trois-Pistoles. Centre de recherches sur l'eau, Université Laval. Rapport CRE-75/17, mai 1975.
- SERODES, J.B., 1979. Qualité et dynamique des sédiments de l'estuaire moyen du St-Laurent. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- SERODES, J.B., 1980a. Etude de la sédimentation intertidale de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Département de génie civil, Université Laval. 29 pp.
- SERODES, J.B., 1980b. Etude des éléments radio-actifs dans l'eau et les suspensoides de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Département de génie civil, Université Laval. 39 pp.
- SERODES, J.B., J.E. CÔTE et al., 1972. Rapport sur la qualité du fleuve Saint-Laurent, 1972. Centre de recherches sur l'eau, Université Laval, 244 p.
- SHARP, J.C. et al, 1978. The utility of meristic and morphometric characters for the identification of capelan (*Mallotus villosus*) stocks in Canadian Atlantic waters. In JFRB 35 (1) : 124-130.
- SILVERBERG, N. et B. DUNDBY, 1978. Observations in the turbidity maximum of the St. Lawrence Estuary. In Can. J. Earth Sci. Vol.15.
- SILVERBERG, N. et B. SUNDBY, 1979. Quelques aspects de la dynamique de la matière en suspension dans la zone du maximum de turbidité de l'estuaire du St-Laurent. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent (résumé). 12-14 avril 1978. UQAR. 91p.
- SIMARD, L., 1971. Catalogue of St. Lawrence River soil and rock data. 2 vol. 339 p., Dept. Transport, Mar. Hydr. Br. St. Lawrence Ship Channel Div., Ing. Field Invest. Sec., Montreal, Quebec.
- SIMARD, R.E. et A.C. BLACKWOOD, 1971a. Ecological Studies on Yeasts in the St. Lawrence River. In Can. J. Micro. Vol. 17 (3) : 353-357.
- SIMARD, R.E. et A.C. BLACKWOOD, 1971b. Yeasts from the St. Lawrence River. Can. J. Micro. In Vol. 17(2) : 197-203.
- SIMARD, R.E. et J.A. ZEE, 1974. Distribution of Enteric Bacteria in the Quebec City Section of the St. Lawrence River. In Water Poll. Res. Canada, Vol. 9, pp. 107-114.
- SIMONS, T.J. et al., 1975. Operational model for predicting the movement of oil in Canadian navigable waters. Environment Canada. Fisheries and Marine Service. Ottawa, Canada. Manuscript Series, report no 37, pp. 1-30.
- SLOTEDIJK, H.H., 1977. Accumulation des métaux lourds et des composés organochlorés dans la chair des poissons du fleuve St-Laurent. Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. Rapport technique final: 181 pages.

- SOUCY, A., 1971. Etude de la qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent, 1971. Centre de recherches sur l'eau, Université Laval, oct. 1971, 60 p. et fig.
- SOUCY, A., 1975. Etude de la qualité des sédiments et suspensions du fleuve Saint-Laurent entre Québec et Trois-Pistoles, Centreau Rap. no. CRE-75/14, 2 tomes.
- SOUCY, A. et al, 1974. Etude du fleuve St-Laurent, tronçon Varennes-Montmagny. Aspects physiques et sédimentologiques. Rapport soumis à Entente Québec-Canada, mars 1974, 266 pp. et ann.
- SOUCY, A. et al, 1976. Evolution des suspensions et sédiments dans l'estuaire moyen du St-Laurent. CENTREAU, I, no 5, 67 pp.
- SOUCY, A. et J.B. SERODES, 1973. Importance de la turbidité et des solides en suspension à Cap Brûlé. Centre de recherches sur l'eau, Université Laval. Rapport soumis à l'Hydro-Québec, mars 1973, 15 p. et ill.
- SOUCY, A. et J.B. SERODES, 1975. Etude de la qualité des sédiments et suspensions du fleuve Saint-Laurent entre Québec et Trois-Pistoles. Centre de recherches sur l'eau, Université Laval. Rapport CRE-75/14, mars 1975, 154 p., cartes et tableaux (2 tomes).
- SPRAGUE, J.B. et J.R. DUFFY, 1972. DDT residues in canadian atlantic fishes and shell-fishes in 1967. In J. Fish. Res. Board Can. 28 (1); pages 59 à 64.
- SPRAGUE, J.B. et C.P. RUGGLES, 1967. Impact of water pollution on fisheries in the Atlantic provinces. In Can. Fish. Rep. no.9: 11-15.
- STEERING COMMITTEE, GULF OF ST. LAWRENCE PROJECT, 1972. An Inter-disciplinary Study of the Gulf of St. Lawrence Area. Bedford Institute, Dartmouth, 52 p.
- STRAIN, P.M. et F.C. TAN, 1979. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ of total dissolved CO_2 in the Saguenay fjord and the St. Lawrence Estuary. In Symposium sur l'Océanographie de l'Estuaire du St-Laurent. UQAR. 91p
- SUBRAMANIAN, V. et B. D'ANGLEJAN, 1976. Water chemistry of the St. Lawrence Estuary. In J. Hydrology 29 (3-4): 341-354.
- SUNDBY, B., 1974. Distribution and Transport of Suspended Particulate Matter in the Gulf of St. Lawrence. In Can. J. Earth Sci., 11: 1517-1533.
- SUNDBY, B., 1977. Manganese-rich particulate matter in a coastal marine environment. In Nature, 270, 417-419.
- SUTCLIFFE, W.H. Jr., 1972. Some relations of land drainage nutrients, particulate material and the fish catch in Two eastern Canadian Bays. In J. Fish. Res. Bd. Canada. 29(4): 357-362.

- SUTCLIFFE, W.H. Jr., 1973. Correlations between Seasonal River Discharge and Local Landings of American Lobster (*Homarus americanus*) and Atlantic Halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in the Gulf of St. Lawrence. In J. Fish. Res. Bd. Canada 30 (6).
- TATTERSALL, O.S., 1954. Shallow-water Mysidacea from the St. Lawrence Estuary, Eastern Canada. In Cdn Field Naturalist 68 (4) : 143-154.
- THERRIAULT, J.C. et G. LACROIX, 1975. Penetration of the deep layer of the Saguenay fjord by surface waters of the St. Lawrence Estuary. In J. Fish. Res. Bd. Canada 32 : 2273-2377.
- TRANSPORT CANADA, 1959. Aerial sea ice observing and reconnaissance program in the St. Lawrence River, the Gulf of St. Lawrence and the Strait of Belle Isle, 1958. Dept. Transport, Canada, Meteo. Br. Technical circular, CIR-3273.
- TRANSPORT CANADA, 1961. Aerial sea ice observing and reconnaissance program in the St. Lawrence River, the Gulf of St. Lawrence and the Strait of Belle Isle, 1958-59. Dept. Transport, Canada, Meteo. Br., Technical circular, CIR-2417, TEC-339.
- TRAVAUX PUBLICS, 1973a. Etude des rives du Saint-Laurent. Morphosédimentologie du Bas-St-Laurent et Gaspésie; Tome IX, Ministère des Travaux publics, Canada.
- TRAVAUX PUBLICS, 1973b. Etude des paramètres hydrauliques au port de Gros-Cacouna. Etude des rives du St-Laurent, Ministère des Travaux publics, Canada, 42 pp.
- TRITES, R.W., 1970. The Gulf of St. Lawrence from a pollution view point. FAO technical conference on Marine pollution and its effects on living resources and fishing. Rome, Italy 9-18 Dec., 1970:23 pp.
- TRITES, R.W., 1971. The Gulf as a physical oceanographic system. Proceedings of 2nd Gulf of St. Lawrence Workshop (Coord. E.M. Hassan), Bed Inst., Dartmouth; Canada, Nov. 1970, pp.32-63.
- TROUDE, J.P., 1975. La floculation des suspensions dans l'estuaire du St-Laurent. Thèse maîtrise, Génie Civil, Université Laval. CRE 75-18.
- UNESCO, 1972. Débit de certains cours d'eau du Canada; Ottawa, 338 pp.
- VACHON, Alexandre et Roger GAUDRY, 1937. Etude comparée des températures de surface du fleuve et du golfe Saint-Laurent avec celles de l'océan Atlantique. In Ann. ACFAS. Vol. 3 : 88-89.
- VINCENT, R., 1965. An investigation of the tidal characteristics of the St. Lawrence Estuary by a Mathematical Model. Thèse de maîtrise, Université Laval, 1965.
- VINCENT, B. et G. VAILLANCOURT, 1980. Les sangsues (Annelida:Hirudinea) benthiques du Saint-Laurent (Québec). 107(1) : 21-33.
- WARD, G. et G.J. FITZGERALD, 1980. Etude sur la diversité de la communauté macrobenthique dans les marécages intertidaux: Rapport d'étape, novembre 1980. Soumis à Envir.Can., DGEI-Q. 11p.

WILKINSON, D.L., 1971. Containment of oil slicks in the St. Lawrence. River Hydraulics Lab. Report, LTR-HY-16, National Research Council, Canada, 55 pp.

YOUNG, G.K., M.T. TSENG et R.S. TAYLOR, 1971. Estuary Water Temperature Sensitivity to Meteorologic Conditions. In Water Resources Research, Vol. 7, No 5 pp. 1173 à 1181.

