

Record Number: 460
Author, Monographic: Couillard, D./El Sabh, M.
Author Role:
Title, Monographic: Étude des répercussions sur l'environnement marin du projet Ashland Oil Terminal
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1973
Original Publication Date:
Volume Identification:
Extent of Work: vi, 98
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche
Series Volume ID: 46
Location/URL:
ISBN: 2-89146-049-9
Notes: Rapport annuel 1973-1974
Abstract: Rapport rédigé pour Ashland Oil Canada Ltd
15.00\$
Call Number: R000046
Keywords: rapport/ ok/ dl

Etude des répercussions sur l'environnement
marin du projet Ashland Oil Terminal

par

D. Couillard, M. El Sabh

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 46

Rapport rédigé pour
Ashland Oil Canada Ltd.
1973

Etude des répercussions sur l'environnement
marin du projet Ashland Oil Terminal

par

D. Couillard, M. El Sabh

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 46

Rapport rédigé pour
Ashland Oil Canada Ltd.

1973

ISBN 2-89146-049-9

DEPOT LEGAL 1973

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés

© 1973 - Institut national de la recherche scientifique

Etude des répercussions sur l'environnement marin du projet
"Ashland Oil Terminal"

Résumé

La première partie du rapport présente la description de l'état actuel des mouvements et de la circulation des masses d'eau, des marées, des glaces et l'état actuel de la pollution de l'eau. On présente ensuite les influences et les répercussions de la construction du port et de la digue sur les variables citées précédemment ainsi que sur l'apparence et l'esthétique de la région portuaire de Grande-Ile, Kamouraska.

La deuxième partie du rapport décrit les méthodes actuellement utilisées pour la surveillance et le contrôle des fuites d'huile dans le milieu marin (spectro-radiométrie, analyse multi-spectrale, radar). La télédétection est un moyen simple, reproductible, précis et automatique pour évaluer la surface affectée par une fuite d'huile, la nature et la quantité de polluant impliquée.

La troisième partie du rapport propose l'implantation d'un réseau d'acquisition des données de qualité (eau et sédiments) en deux étapes. La première pour établir la qualité physique, chimique et biologique du milieu; la seconde pour rationaliser le réseau à partir des données et de l'expérience acquises. Enfin, on propose une méthode d'évaluation de l'impact des opérations portuaires nominales sur la qualité des eaux du fleuve.

Mots-clé:

impact, répercussion, environnement, marin, fleuve, eau, port, super-port, huile, pétrole, surveillance, contrôle, fuite, déversement, réseau, acquisition, donnée, qualité, Saint-Laurent, Grande-Ile, Kamouraska

Référence:

Couillard, D., El Sabh, M. (1973). Etude des répercussions sur l'environnement marin du projet "Ashland Oil Terminal". INRS-Eau, *rapport scientifique* no 46, 98 p. (Pour Ashland Oil Canada Ltd).

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
RESUME	i
1 EFFECTS OF GRANDE-ILE SUPERTANKER PORT AND JETTY ON THE MARINE ENVIRONMENT OFF KAMOURASKA AREA	2
1.1 Introduction	2
1.2 Water Masses	6
1.3 Circulation	11
1.4 Tides and Sea Level	20
1.5 Tidal Flats	39
1.6 Ice	43
1.7 Pollution Concern	48
1.8 Construction of Kamouraska Port and Jetty and their Effects on Marine Environment	51
1.9 Bibliography	54
2 APPARENCE DES INSTALLATIONS PORTUAIRES DE GRANDE-ILE, KAMOURASKA	63
3 PROCEDURE DE SURVEILLANCE ET DE CONTROLE DES FUITES D'HUILE	67
3.1 Introduction	67
3.2 Spectro-radiométrie	68
3.3 Analyse multispectrale	73
3.4 Radar	81
3.5 Conclusion	83
3.6 Bibliographie	84
4 IMPLANTATION D'UN RESEAU D'ACQUISITION DES DONNEES DE QUALITE	86
4.1 Problématique	86
4.2 Description du réseau	87

4.2.1	Première étape	87
4.2.2	Seconde étape	88
4.3	Description de l'échantillonnage d'un site	89
5	METHODE D'EVALUATION DE L'IMPACT DES OPERATIONS PORTUAIRES NOMINALES SUR LA QUALITE DES EAUX DU FLEUVE	92
5.1	Implantation du réseau d'acquisition de données	92
5.1.1	Simulation des pertes dans les opérations portuaires	93
5.1.2	Description de l'environnement susceptibles d'être affectées par les opérations portuaires	93
5.1.3	Evaluation de la qualité des eaux dans la région portuaire	94
5.1.4	Choix des stations fixes	94
5.1.5	Echantillonnage complémentaires	95
5.2	Mode d'échantillonnage	95

LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>
1 Gulf of St.Lawrence	3
2 Lower St.Lawrence River and Estuary	5
3 Salinity and temperature on north and south of channel	8
4 Distribution of surface salinity	9
5 Distribution of surface temperature	10
6 Current velocities in Cabot Strait	12
7 Current velocities in the St.Lawrence Estuary	12
8 Typical summer surface circulation pattern in the Gulf of St.Lawrence	15
9 Autumn surface circulation in the Gulf on St.Lawrence	16
10 Field of the surface geostrophic currents in the Gulf of St.Lawrence	17
11 Tidal constituent M_2	21
12 Tidal constituent K_1	22
13 Regions and cross-sections of the St.Lawrence River and Estuary showing tide gauge locations	24
14 Daily sea level at Trois-Rivières	32
15 Daily sea level at Quebec	33
16 Daily sea level at Pointe au Père	33
17 Monthly mean level in the St.Lawrence Estuary	35
18 Monthly deviation from the mean level Upper St.Lawrence	36
19 Monthly deviation from the mean level Lower St.Lawrence	37
20 Five year mean ice concentration	44
21 Apparence d'un port super-pétrolier à Grande-Ile, Kamouraska	65

22	Rayonnement solaire au niveau du sol	69
23	Distribution spectrale du rayonnement diffus sous différents angles	70
24	Degré de polarisation en fonction de la position du soleil	71
25	Détection et identification des huiles par fluorescence	74
26	Rayonnement en fonction de l'épaisseur d'huile	76
27	Schéma décrivant la méthodologie de l'implantation du réseau	96

LISTE DES TABLEAUX

	<u>PAGE</u>
I Characteristics of the entrances to the Gulf of St.Lawrence	4
IIa Harmonic constituent M_2 (EST)	25
IIb Harmonic constituent S_2 (EST)	26
IIc Harmonic constituent N_2 (EST)	27
IId Harmonic constituent K_1 (EST)	28
IIe Harmonic constituent O_1 (EST)	29
IIf Harmonic constituent M_4 (EST)	30
IIg Harmonic constituent MS_4 (EST)	31
III Description of the tidal marshes of the south shore of the St.Lawrence Estuary	41

1 Effects of GRANDE ILE Supertanker Port and
Jetty of the marine environment of Kamouraska
area

1 EFFECTS OF GRANDE-ILE SUPERTANKER PORT AND JETTY
ON THE MARINE ENVIRONMENT OFF KAMOURASKA AREA

1.1 INTRODUCTION

It is perhaps enlightening, before delving into the proposed harbor and Jetty at Grande Island, Kamouraska, and their effects on the environment, to review our knowledge on the physical oceanography of the St. Lawrence Gulf and Estuary.

Canadian hydrographic charts carry the name "St. Lawrence River" eastward to a section passing roughly through the centre of Anticosti Island, and the name "Gulf of St. Lawrence" for the remainder of the system bounded by the mainland, Cape Breton Island, and Newfoundland (Fig. 1). Since the upstream limit of salt penetration is near Quebec City, the term "estuary" could, by Pritchard's (1952) definition, be used to include all of the river and gulf below this point. In this report the term "river" is used here to refer to the area above Quebec City, the "estuary" between Quebec City and Pte. des Monts, and the "gulf" below Pte. des Monts. This use of the word "estuary", following Forrester (1967), is admittedly an expedient to bridge the ill-defined boundary between the regions bearing the historically accepted names "St. Lawrence River" and "Gulf of St. Lawrence".

The Gulf of St. Lawrence has an area of 241×10^3 sq. km. (Forrester and Vandall, 1968). Through the St. Lawrence River and numerous smaller rivers the gulf receives the drainage from an area of approximately 13×10^5 sq. km. It is the principle sea access to our largest cities and to over 60% of the population of Canada, and it is the source of more than 40% of all Canadian sea-fish landings.

The physical features of the Gulf have been summarized by El-Sabh et al. (1969) who mention all the published and unpublished literature of

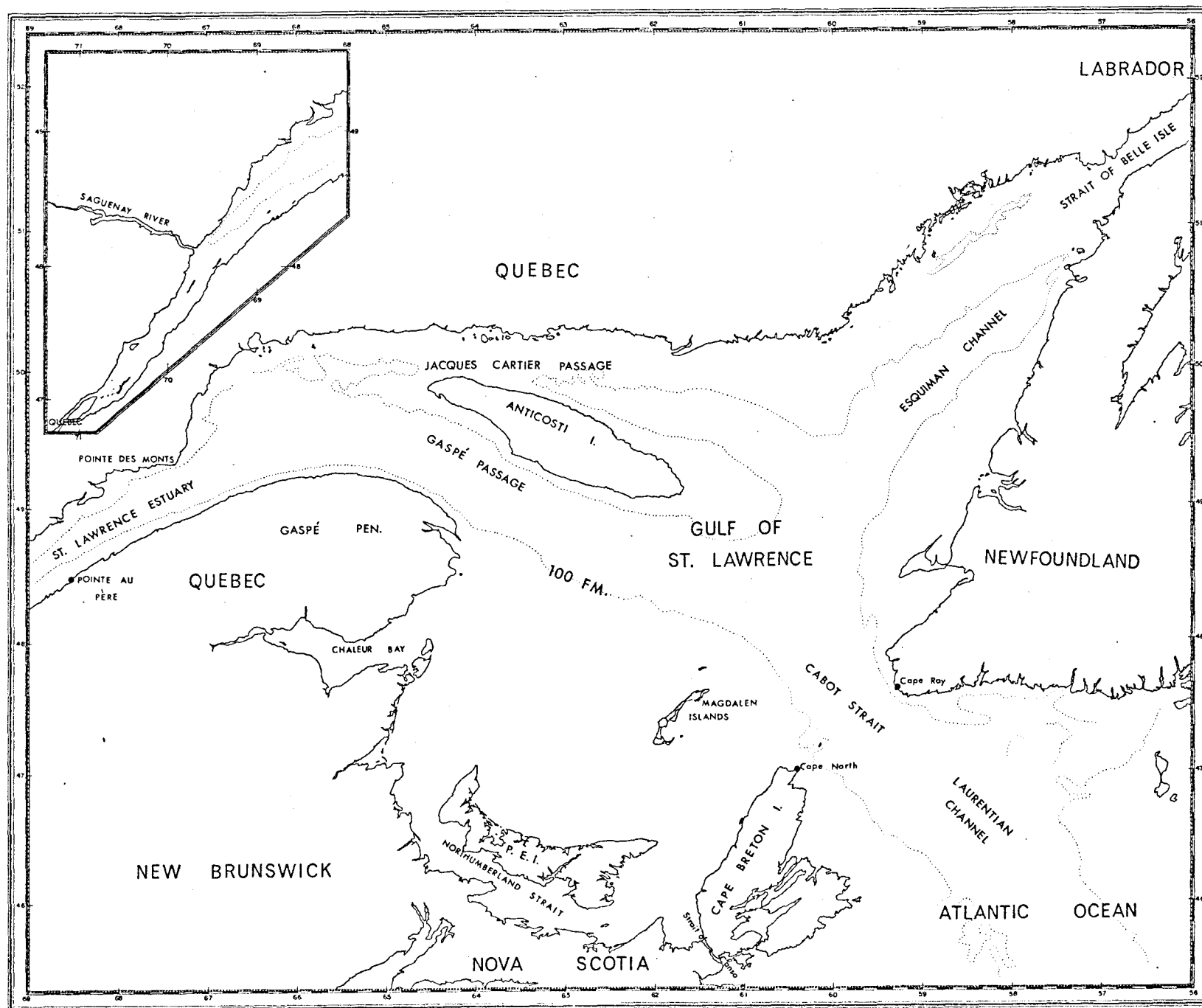


Fig. 1. Gulf of St. Lawrence

physical oceanography up to 1968. To quote from that paper: "The principle connection with the Atlantic Ocean is through Cabot Strait. A more restricted connection is through the Strait of Belle Isle. The Strait of Canso, separating the mainland of Nova Scotia from Cape Breton Island, is very narrow and since 1954 has been closed, except for a lock through the causeway. Table 1 shows the characteristics of these connections of the Gulf.

TABLE 1

Characteristics of the entrances to the Gulf
of St. Lawrence

	Cabot Strait	Estuary section (Pointe des Monts)	Belle Isle Strait	Canso Strait	
				Before causeway	after causeway
Minimum width	104 km.	45 km.	16 km.	1 km.	25 m.
Maximum unrestricted depth	480 m.	330 m.	60 m.	35 m.	10 m.
Minimum cross-section area	$35 \times 10^6 \text{ m}^2$	$12 \times 10^6 \text{ m}^2$	$1 \times 10^6 \text{ m}^2$	$25 \times 10^3 \text{ m}^2$	250 m^2

The main feature of the bathymetry of the Gulf is the Laurentian Channel (Fig. 1) extending from the Continental Shelf south of Newfoundland through the gulf nearly to the mouth of Saguenay River. From the edge of the Continental Shelf to Cabot Strait it has depths ranging approximately from 600 to 400 m. From Cabot Strait inward to a distance of about 640 km. it has depths of 400 to 300 m. The Esquiman Channel, branching off from the Laurentian Channel, extends from the central portion of the gulf northeastwards towards the Strait of Belle Isle. It is more than 180 m. deep except as it approaches the strait. To the south of the Laurentian Channel is the shallower area known as the Magdallen Shallows. The estuarine Channel, as shown in Fig. 2, is a funnel-shaped bay, varying in width from 20 km above the mouth of the Saguenay River to 45 km near Pte. des Monts. The depth increases from about 10 m in the shoal area off Quebec City to 60 m above the Saguenay. Off the mouth of this river, the bed drops abruptly to 300 m, and remains approximately at this depth through the rest of the defined system.

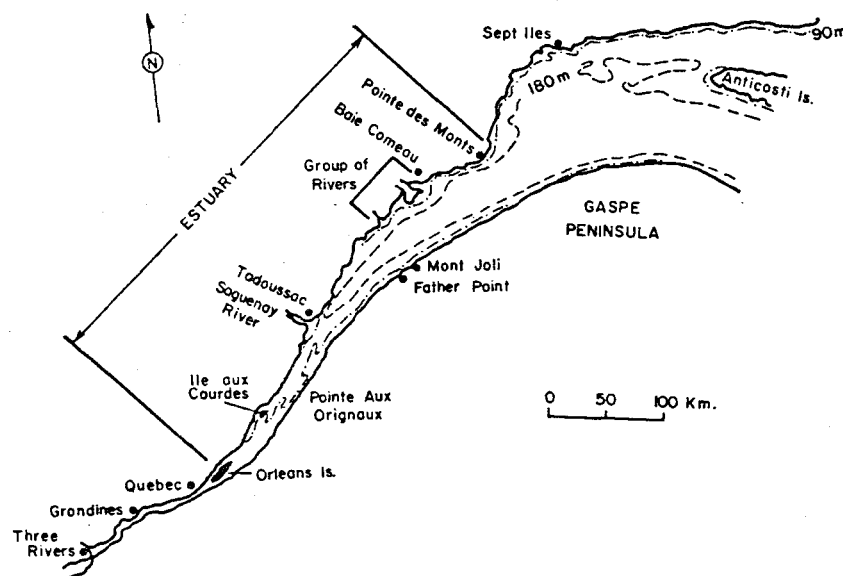


Fig. 2. Lower St. Lawrence River and estuary.

1.2 WATER MASSES:

Although the water mass pattern in the Gulf shows a three-layer structure in summer, the basic pattern exhibited in winter, when there is a cold upper layer varying in thickness from 100 to 150 m. with temperatures as low as -1.7°C and salinities vary between 32.5 and $33^{\circ}/\text{oo}$. This is underlain by the deep water extending to the bottom of the Laurentian Channel, with temperatures between 4 and 6°C , and salinities close to $34.5^{\circ}/\text{oo}$. The cold layer contracts markedly in volume in spring and summer as the upper water is heated by the sun and freshened by the spring land drainage, so that a third layer appears at the surface, extending down to some 50 to 75 m., with temperatures as high as 18°C and salinities as low as $26^{\circ}/\text{oo}$. Originally the cold water at intermediate depths was thought to originate outside the gulf, but is now believed to be mostly locally formed during the winter. From a quantitative temperature - Salinity study of the gulf, Forrester (1964) concluded that " the intermediate cold-water layer may be completely accounted for as the remnant of the locally-formed upper mixed layer of the winter. With the advent of spring the melting of ice and the increase in run-off would decrease the salinity and the surface warming would increase the temperature at the surface. These effects would then be diffused downwards by vertical mixing, leaving a temperature minimum near the bottom of the original mixed layer". Recent interpretation of the oxygen observations in the gulf (D'Anglejan and Dunbar, 1968) and the existence of a summer oxygen maximum towards the bottom of the thermocline just above the intermediate layer, support Forrester's view about the origin of this layer.

By study of the temperature-salinity relationships, Lauzier and Bailey (1957), following McLellan (1957), concluded that the deep warm waters are formed outside the gulf through a mixing of Labrador and Slope waters.

Lauzier and Trites (1958) show that these deep waters have a maximum temperature at a salinity of $34.6^{\circ}/\text{oo}$. Variation of the maximum temperature from a low of about 4°C in the 1920's to a high of about 6°C in the early 1950's, accompanied by an increase in volume of the deep layer, was observed. This warming period was followed by a cooling trend up to 1967, where temperatures decreased to 4°C , although warming became apparent again from 1967 to 1971 (El-Sabh, 1972).

Only few investigations were carried out in the St. Lawrence Estuary to study variations of the oceanographic properties. In February and May 1963, Neu (1970) carried out a detailed study between Quebec City and Pte. des Monts. These two months were chosen primarily to permit an evaluation of the differences which occur in the estuary due to a large variation in the fresh water inflow. It was concluded from this study that in the deep section of the St. Lawrence Estuary, the water is divided into two layers, an upper and a deep layer, while in the shallow section the upper layer extends throughout the depth. The salinity of the deep layer was the same in May as in February, suggesting that its content remains constant throughout the year although the salinity of the upper layer changes with the fresh water inflow. The upper layer is triangular in cross-section with the deeper side along the south shore where the water is principally fresher, but colder in February and warmer in May (Fig. 3) than on the north shore side, except where the Saguenay River enters the system. The depth of this layer increases seaward along the south shore while decreasing along the north shore. Figure (4) shows horizontal distribution of surface salinity in February, May and July, while surface temperature in the first two months are shown in Fig. (5).

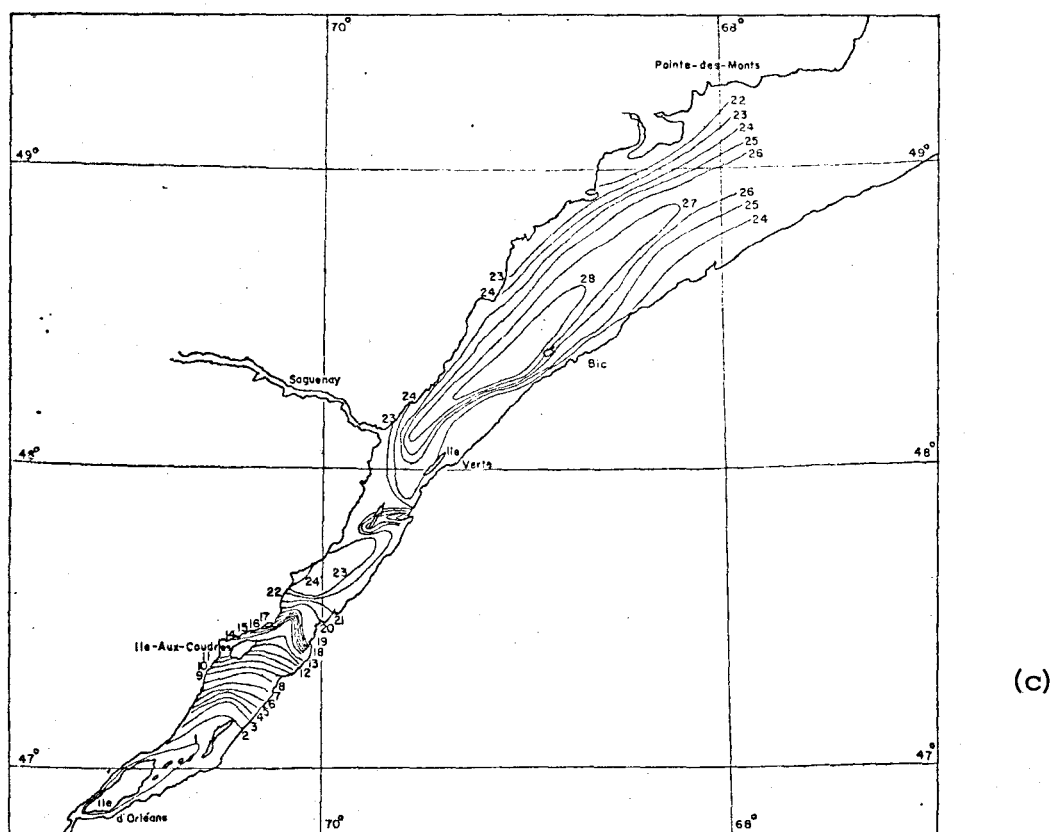
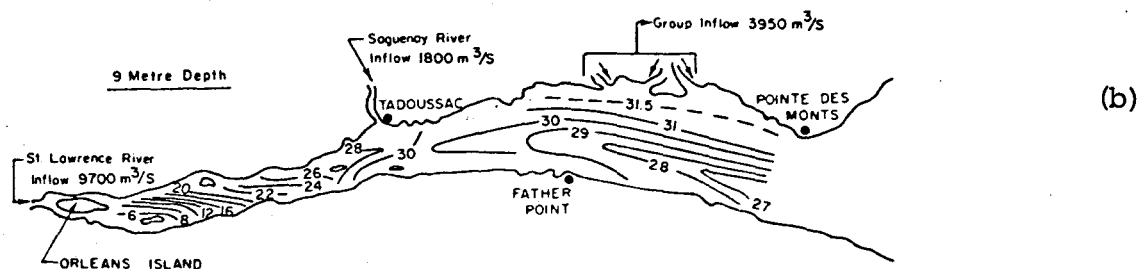
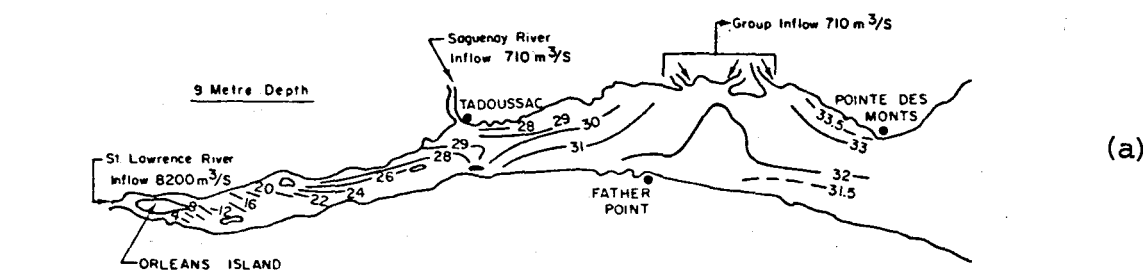


Fig. 4 distribution of surface salinity in (a) February 1963 (Neu, 1970) (b) May 1963 (Neu, 1970) and (c) July 1949 (Beaugé, 1949).

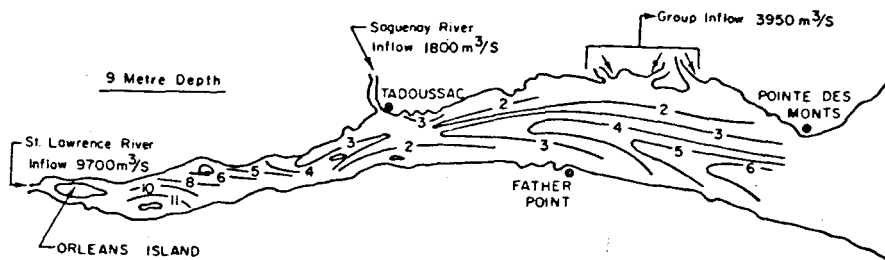
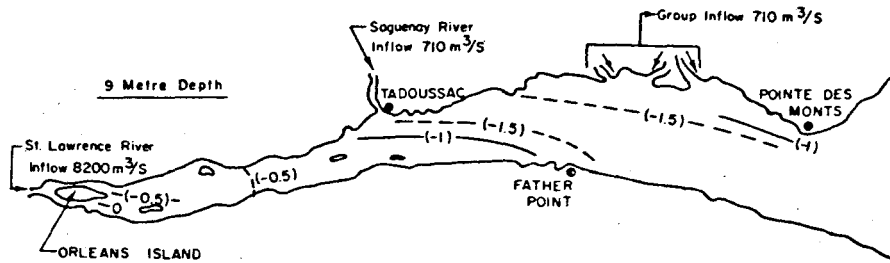


Fig. 5 distribution of surface temperature in (a) February 1963 and (b) May 1963, (After Neu, 1970).

1.3 CIRCULATION:

The general circulation around the Gulf of St. Lawrence is anti-clockwise. Information on the circulation has been deduced from direct current measurements (Farquharson, 1962, 1963, 1966; Blackford, 1965, Forrester, 1967, and Lawrence, 1968); from dynamical calculations (MacGregor, 1956; Trites, 1963, Farquharson, 1963, 1966; Blackford, 1965, 1967; Farquharson and Bailey, 1966; Forrester, 1967; El-Sabh and Johannessen, 1972); from drift bottles and drogue studies (Bumpus and Lauzier, 1965; Lauzier 1965, 1967; Boudreault and Héritier, 1971, Boudreault, 1972); and from theoretical models (Blackford, 1965; Murty and Taylor, 1970). The bulk of investigation has been done during the ice-free months of the year, and very little information is available for the winter months.

Early circulation studies in Cabot Strait were carried out by Dawson (1913) and Sandstrom (1919). From geostrophic calculations MacGregor (1956) found the circulation in the strait to be marked by an outward surface flow strongest on the Cape Breton side with a tendency for a weak inflow along the Newfoundland side. He found much variation from cruise to cruise, with strongest currents in August and least in April and May. In recent years direct current measurements have been undertaken across Cabot Strait for approximately one month. An examination of these measurements (Fig. 6) suggests an inflow through the whole depth of the Newfoundland side of Cabot Strait. (El-Sabh, 1973)

Investigation in Belle Isle Strait was undertaken by Dawson (1907); Huntsman, Bailey and Hachey (1954); Bailey (1958), and Farquharson and Bailey (1966). These studies all indicate that although there is no large net flow through the strait, there is an inward movement of Labrador coastal water on the Labrador side and an outflow of the gulf water on the Newfoundland side. On some occasions a strong outflow

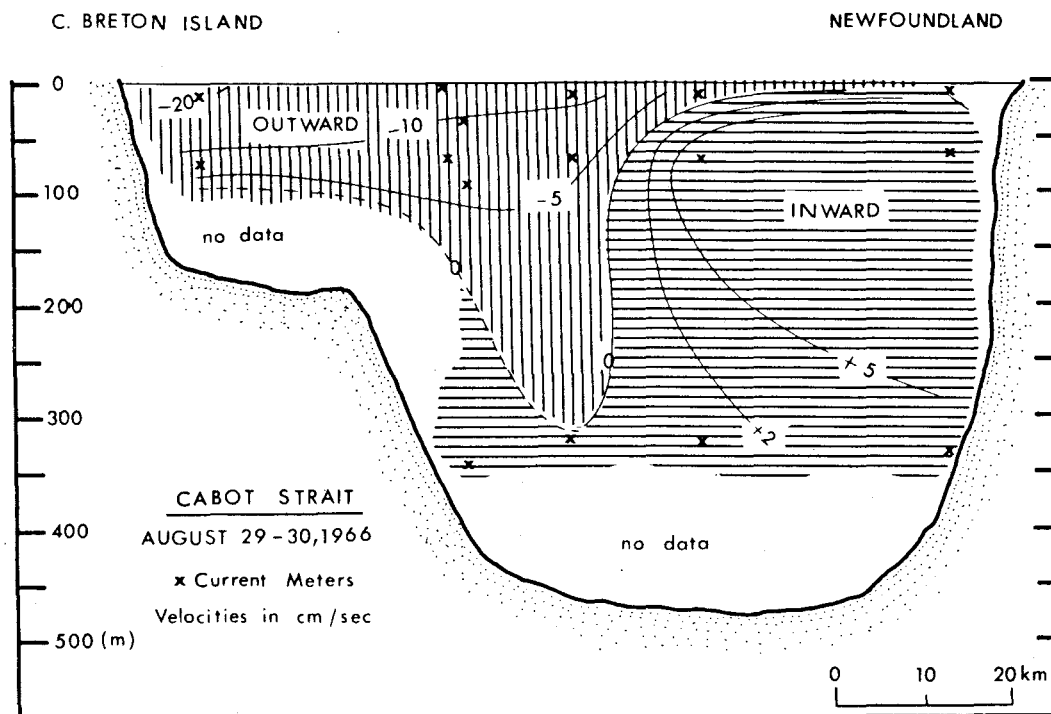


Fig. 6: Current velocities in Cabot Strait (after El-Sabh, 1973, data from Lawrence, 1968).

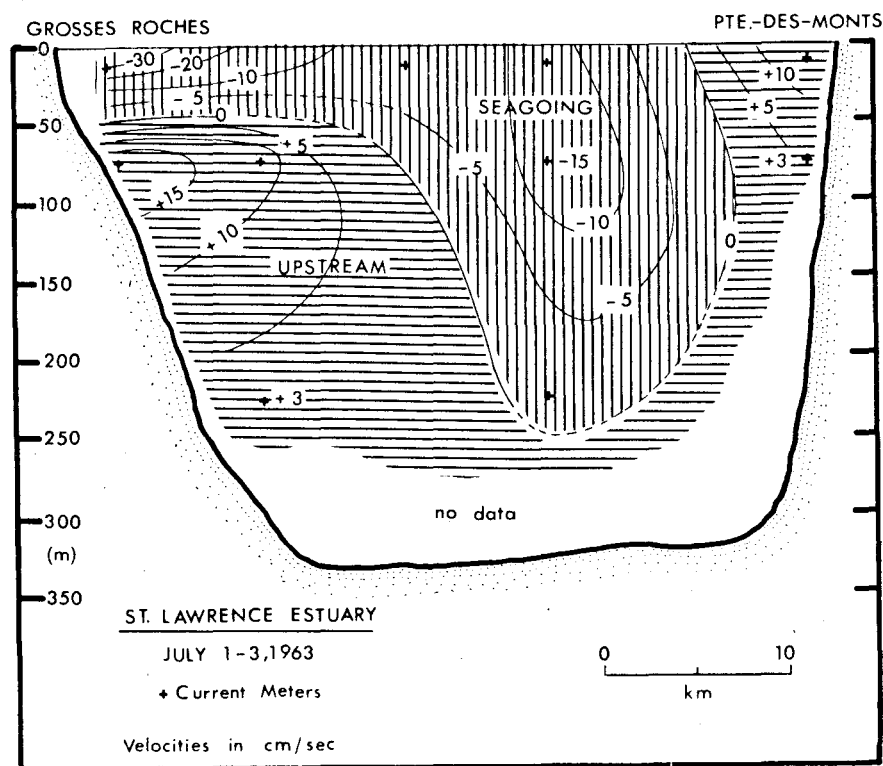


Fig. 7: Current velocities in the St. Lawrence Estuary (after El-Sabh, 1973, data from Farquharson, 1966).

through the strait is observed to last for several days or even weeks, while on other occasions strong inflow may dominate for an equally long time. The possible causes of these temporary dominant flows are suggested to be the north-south barometric pressure gradient and the wind effect (Dawson, 1907; Bailey, 1958; and Lawrence, 1968).

Prior to the construction of the Canso causeway there was a fairly strong current through the Strait of Canso from George Bay towards the Atlantic Ocean. Since the strait was closed this current has been replaced by a fairly strong north-easterly outset along the shore of Cape Breton Island towards Cabot Strait.

The outflow from the St. Lawrence River, which is the source of over half of the fresh water discharge into the gulf, has a major influence on the circulation of the Gulf of St. Lawrence. Farquharson (1966) and Forrester (1967, 1970), have reported on current measurements made in the St. Lawrence Estuary. By mooring strings of water bottles and tripping them by time release, Forrester was able to obtain simultaneous observations through the cross-section of the estuary near Pte au Père. Eleven sets of simultaneous observations were obtained each at a different phase of the semidiurnal lunar tide. Comparison of geostrophic currents with direct current observations showed that a tidal oscillation was present in the vertical shear of the geostrophic current in response to the vertical shear in the tidal streams. It was concluded from this that meaningful geostrophic current in the estuary can only be determined from averaged time series observations. Forrester and El-Sabh (1972) show how geostrophic currents adjusted to satisfy the condition of zero average salt transport faithfully produce accurate estimates of fresh water discharge from the St. Lawrence Gulf and Estuary. It was estimated that horizontal advection is more important than horizontal diffusion as a transport process.

A fairly consistent feature observed in the outflow of the estuary is the Gaspé current, which begins to develop in the Rimouski - Pte. des Monts areas (Fig. 7) and extends throughout the entire length of the Gaspé coast. This current is coupled with an inflow on the Anticosti Island side of Gaspé Passage. This general pattern, however, is subject to considerable variations and the Gaspé current may on occasions disappear (Farquharson, 1966).

Utilizing all information and measurements available in the gulf during summer period, Trites (1970) was able to draw a typical summer surface circulation pattern (Fig. 8). The general two-way flow in both entrance straits, the counterclockwise circulation in the interior part of the Gulf, and the Gaspé current are the dominant features. Highest speeds are found in the Gaspé current and in the outflow through Cabot Strait, reaching values of 10-20 mi/day. From the movements of parachute drogues in the southern gulf in summer and by calculation of relative geostrophic flow, Blackford (1965, 1967) distinguished both clockwise and anticlockwise gyres 20-30 km. in diameter in the layer above the thermocline. These smaller gyres were observed to move with the general southeasterly flow along the north shore of Prince Edward Island.

During the last 20 years, a study of a network of stations in the Gulf of St. Lawrence was carried out during November of each year to provide the temperature-salinity data with which the Ice Forecast Centre of the D.O.E. prepare their ice forecast. The bulk of this data provide an excellent opportunity to study the mean surface circulation pattern during November (El-Sabh, 1973). The existence of two anticlockwise gyres, west and southeast of Anticosti Island, the Gaspé current with velocities between 30-40 cm/sec, the inflow along the Newfoundland side of Cabot Strait and outflow along the Cape Breton side are the main features in the average autumn surface circulation (Fig. 9).

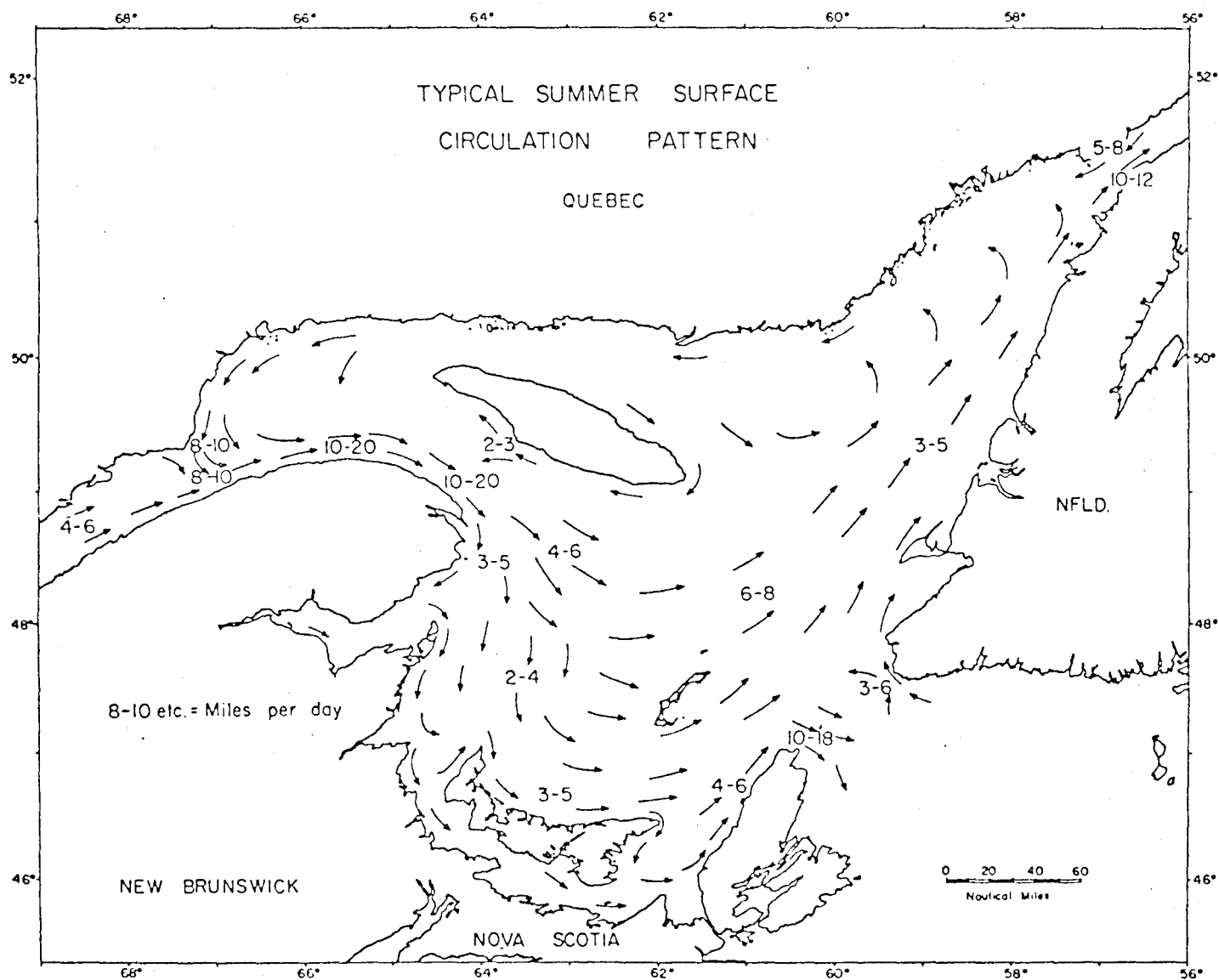


FIGURE 8 - Typical summer surface circulation pattern in the Gulf of St. Lawrence. (after Trites, 1970).

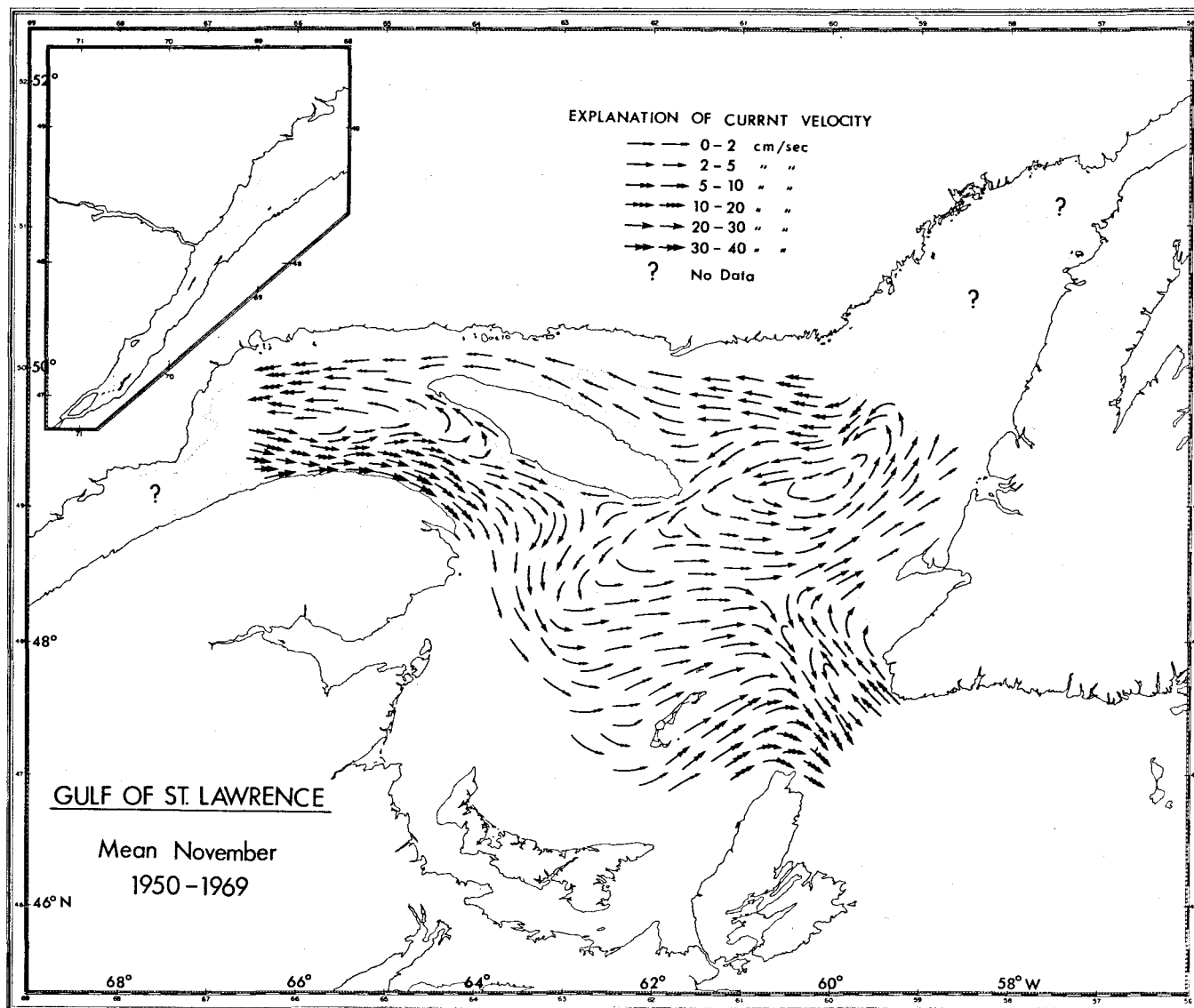


Fig. 9 : Autumn surface circulation in the Gulf of St. Lawrence (after El-Sabh, 1973).

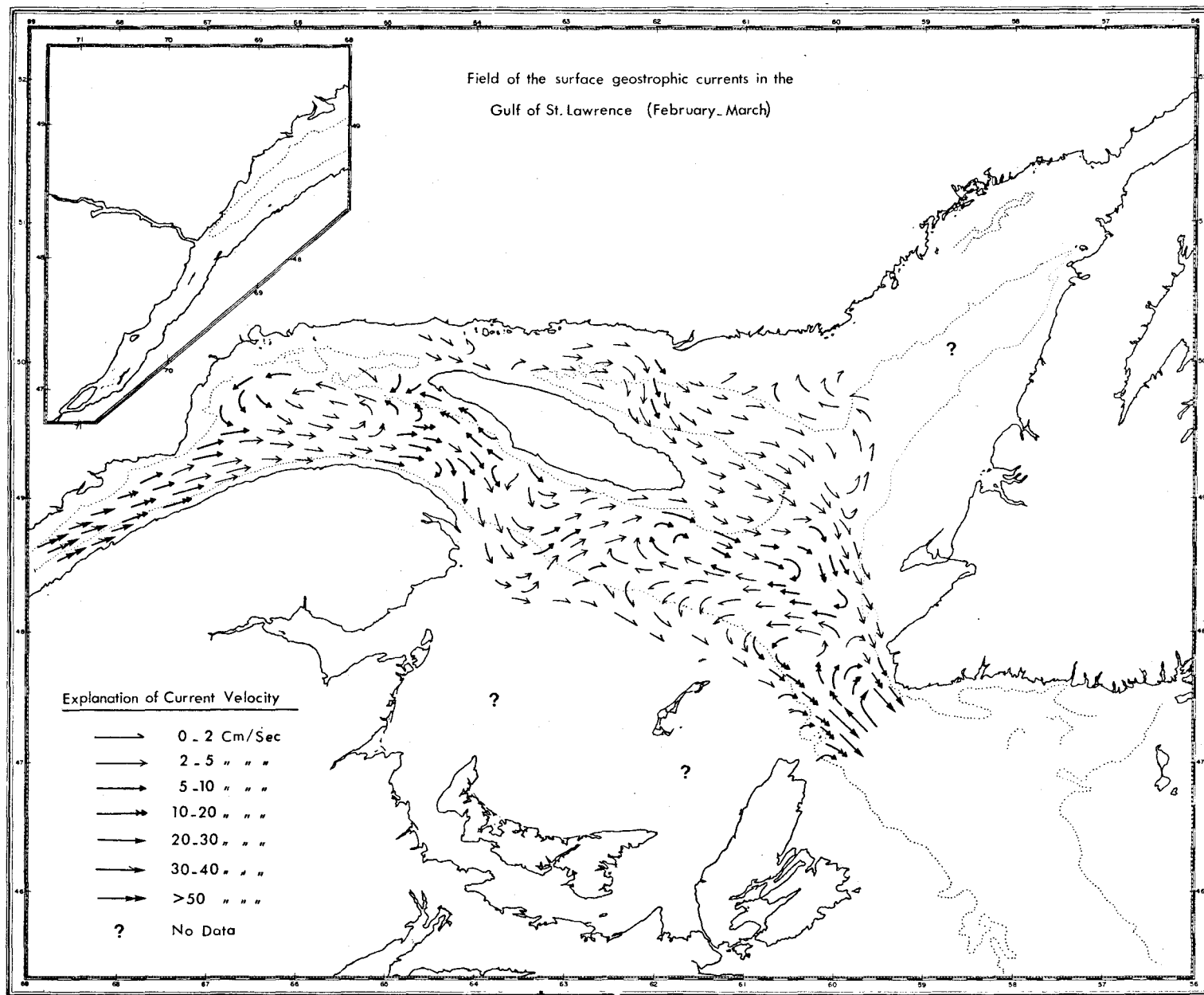


Fig.10: Field of the surface geostrophic currents in the
Gulf of St. Lawrence (February - March).
(after El-Sabh and Johannessen, 1972).

The first and (so far) only attempts to study the winter circulation in the Gulf is that of El-Sabh and Johannessen (1972), based on observations made on board the HMCS "Labrador" in March 1956 and 1957, and the CSS "Baffin" in February 1962. From this study it was found that the large anticlockwise gyre southeast of Anticosti Island, which is a consistent feature of the summer and autumn circulation, disappears in winter (Fig. 10). On the contrary, a smaller clockwise gyre has been observed southeast of Anticosti Island. The surface flow through Cabot Strait in winter was found to be outward on both sides of the strait, stronger on the Cape Breton side, which agrees well with the drift bottle experiments at that time of the year (Bumpus and Lauzier, 1965). An interesting feature is the strong inflow of surface water through the middle of the strait which is diverted to the north and south and joins the outflowing current on both sides of it. This "blocking" of inflowing surface Atlantic water might be due to the prevailing N W wind regime over the Gulf during the winter months, and also to the influence of drifting ice. This general picture of surface circulation in Cabot Strait compare favorably with the most recent study by Ingram (1973), who tracked the ice fields to calculate the winter surface currents around Cape Breton Island.

Data on subsurface currents in the Gulf are sparse and it is not feasible at present to draw a picture for the entire Gulf at any season. Sea bed drifters released by Lauzier (1967) in the southern and central part of the Gulf show in general a well-marked seaward movement along the 50-100 fathom contour along the southwestern border of the Laurentian Channel, that is along the edge of the Magdalen Shallows. An inward flow usually is present along the 50-100 fathom contours on the northeastern side of the Laurentian Channel. A rather complex pattern emerges for the southwestern Gulf, although a large area ($7,000 \text{ mi}^2$) surrounding the Magdalen Islands shows a general convergence towards the Islands. Residual bottom currents based on sea bed drifter experiments appear to be mostly in the range 0.3 - 0.7 mi/day.

Theoretical models based on simplified forms of the equations of motion have been used to study the large scale features of the circulation of the Gulf of St. Lawrence. In this manner, Blackford (1965, 1966) developed a two-dimensional electrical analog model for wind-driven circulation in the gulf. This model succeeded in producing a Gaspé current and an anticlockwise gyre in the central part of the gulf. Murty and Tylor (1970) developed numerical models incorporating more realistic topographic and oceanographic features in addition to the wind stress. They obtained a more detailed representation of the circulation the main features of which are in good agreement with the observations. It is evident from the success of these wind-stress models that the wind plays an important role in producing the large scale circulation in the gulf.

1.4 TIDES AND SEA LEVEL:

Studies of tidal phenomena in the gulf have been reported by Dawson (1896, 1920) and Farquharson (1957, 1962 and 1966). The semidiurnal and diurnal tides, from the North Atlantic Ocean, are both propagated through Cabot Strait. The propagation of the tide can be most clearly illustrated by a cotidal chart. Figure 11 shows the cotidal chart for the semidiurnal lunar tidal constituent M_2 . It shows the influence of the Coriolis force in the reduction of the nodal line to an amphidromic point. Figure 12 shows the cotidal chart for the diurnal constituent K_1 . In most areas of the Gulf, the semidiurnal constituent dominates. Tidal range increases rapidly towards the St. Lawrence River with a mean range of about 10 ft at Father Point, 15 ft at Quebec City and 1 ft at Three Rivers. The horizontal tide at Father Point has an average peak flow of 70 million CFS, which is reduced at Quebec City to about 1.5 million CFS.

Except in the St. Lawrence Estuary, Cabot, Belle Isle and Northumberland Straits, and other locally confined regions, tidal currents seldom exceed 0.5 kn. In Cabot Strait, tidal streams are typically of the order of a knot. In some areas, the phase of the tidal stream varies significantly with depth. Forrester (1970) suggests that the presence of an internal tide in the St. Lawrence Estuary below the Saguenay River entrance considerably influences the character of the tidal streams, particularly in the upper layer of the estuary. Internal tides probably exist throughout the gulf, but observational evidence of their importance is still lacking. If present, their behaviour is likely to vary substantially from season to season as the density structure undergoes marked variation in the upper part of the water.

Using the principle of continuity and water level data, Forrester (1972) was able to calculate seven harmonic constituents (M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , O_1 , M_4 and MS_4) of the tidal transport and streams through each of 22 sections

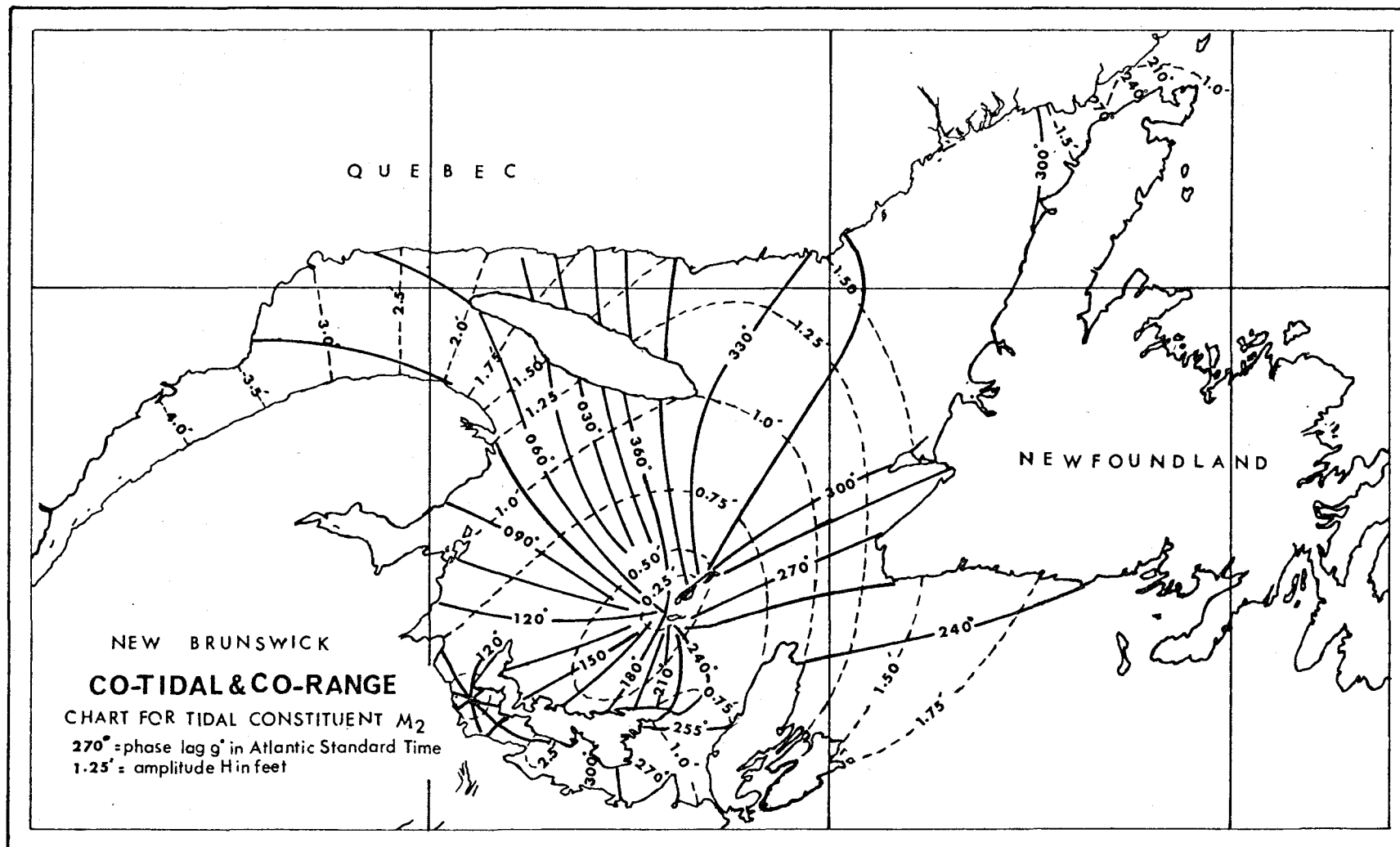


Fig. 11. Tidal constituent M_2 (after Farquharson, 1962).

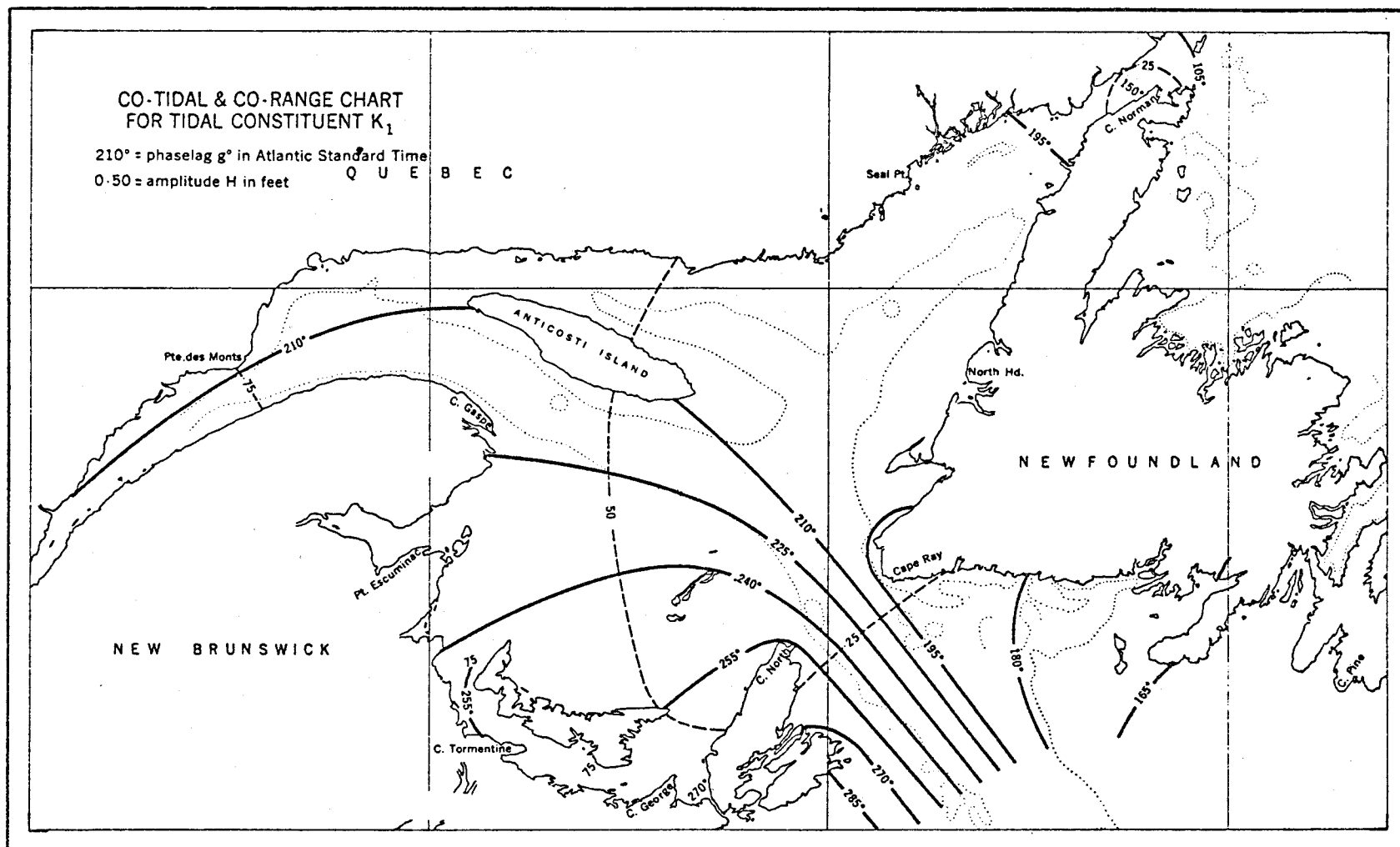


Fig. 12. Tidal constituent K_1 (after Farquharson, 1962).

across the St. Lawrence river and estuary (Fig. 13). Table 11a lists the M_2 harmonic constituent of the vertical tide for each region and of the tidal volume transport and mean tidal stream through each downstream cross-section. The average M_2 tidal stream through cross-sections A_9 , A_{14} , A_{21} and A_{22} as obtained from the current meters is also shown in Table 11a. Tables 11b to 11g contain the same information for the harmonic constituents S_2 , N_2 , K_1 , O_1 , M_4 and MS_4 respectively. All phase lags refer to Eastern Standard Time. Inflowing tidal streams have the positive sign. It was concluded from this study that the average tidal streams through the sections are more accurately determined from the tide gauge data and the principle of continuity than could be accomplished by direct current measurement. This was confirmed by Godin (1971), who used a simple form of the hydrodynamic equations to study the steady and tidal flows in the St. Lawrence River and Estuary. To quote from his report: "From Trois Rivières at the mouth of Lake St. Peter, onwards to the Gulf of St. Lawrence the river flow and the water level become increasingly affected by the tide. First, the modifications are slight and are appreciable only over intervals of two weeks or more. Figure (14) shows the changes in level during a month at Trois Rivières. The daily tidal fluctuations ride on the back of a more important semi-monthly oscillation. Downstream of Trois Rivières the diurnal and semidiurnal oscillations become predominant. The change in level is the shape of saw teeth when plotted on a time scale. The tide reaches its maximum amplitude in the vicinity of the Isle aux Coudres; downstream it decreases and takes a more symmetrical oceanic character. Figures 15 and 16 show the change in level at Quebec and Pointe au Pêre during one month. Québec is a station where the tide has a shallow water character although the tight time scale of the diagram does not allow to fully realize this fact, while at Pointe au Pêre the tide has a smooth character."

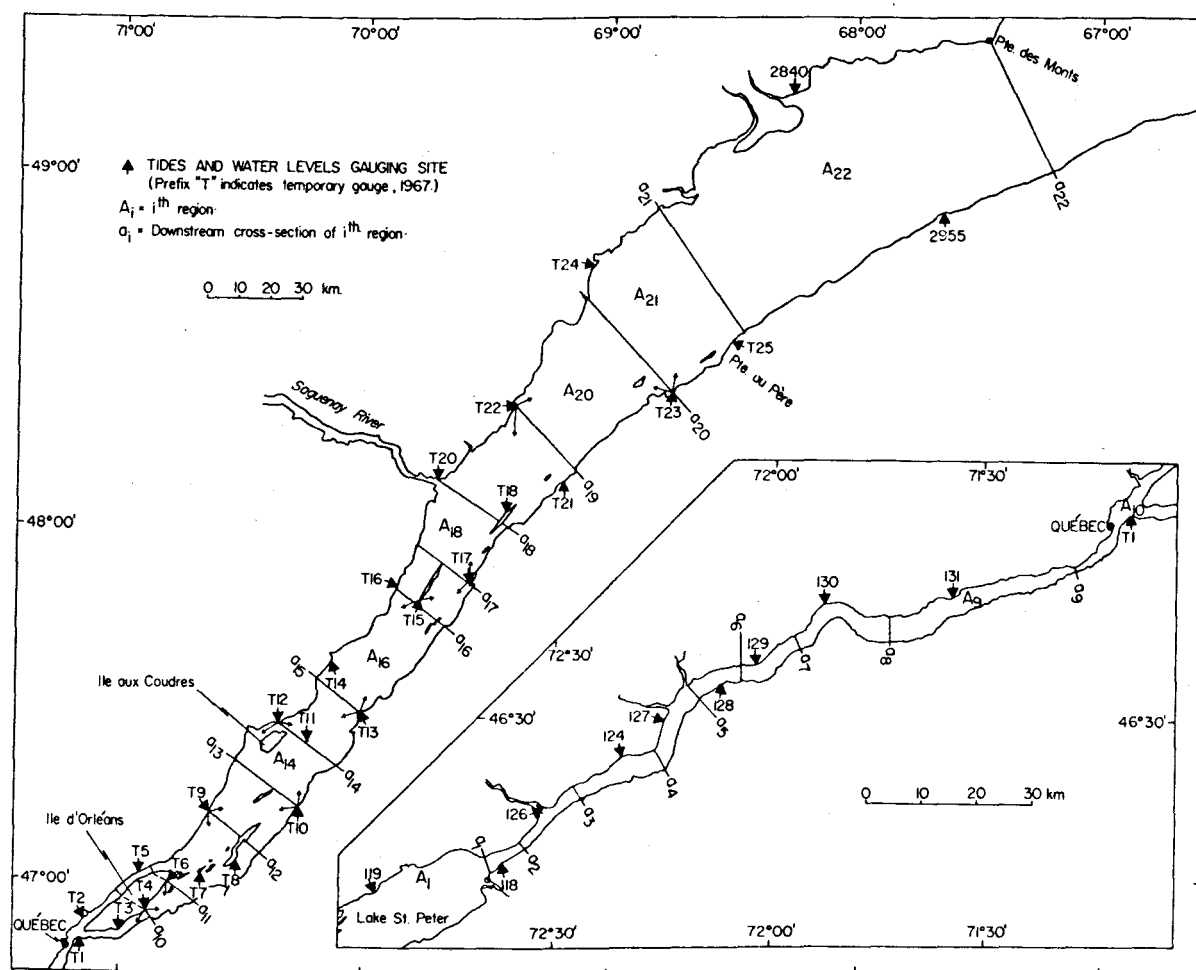


FIG. 13— Regions and cross-sections of St Lawrence river and estuary,
 showing tide gauge locations.
 (after Forrester, 1972).

TABLE II a
 Harmonic constituent M_2 (EST)
 (after Forrester, 1972)

No. of Region <i>i</i>	Mean Vertical Tide (m)	Tidal Volume Transport ($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)	Mean Tidal Stream (Calculated) (m/s)	Mean Tidal Stream (Observed) (m/s)
1	(0.03, 085°)	(0.0013, 355°)	(0.08, 355°)	(1.67, 153°)
2	(0.07, 018°)	(0.0014, 350°)	(0.08, 350°)	
3	(0.08, 355°)	(0.0015, 338°)	(0.12, 338°)	
4	(0.26, 326°)	(0.0020, 280°)	(0.11, 280°)	
5	(0.35, 314°)	(0.0032, 257°)	(0.25, 257°)	
6	(0.71, 283°)	(0.0047, 230°)	(0.49, 230°)	
7	(0.86, 275°)	(0.0071, 213°)	(0.52, 213°)	
8	(1.46, 245°)	(0.0156, 178°)	(0.55, 178°)	
9	(1.54, 226°)	(0.0340, 154°)	(1.55, 154°)	
10	(1.83, 174°)	(0.0512, 123°)	(0.91, 123°)	
11	(2.00, 162°)	(0.0739, 104°)	(0.67, 104°)	(1.20, 060°)
12	(1.98, 150°)	(0.1765, 077°)	(0.88, 077°)	
13	(1.93, 137°)	(0.2736, 066°)	(1.10, 066°)	
14	(1.86, 125°)	(0.3655, 058°)	(1.16, 058°)	
15	(1.81, 108°)	(0.4306, 051°)	(0.75, 051°)	
16	(1.68, 092°)	(0.5507, 038°)	(0.71, 038°)	
17	(1.58, 084°)	(0.6028, 033°)	(0.89, 033°)	
18	(1.56, 074°)	(0.7197, 023°)	(0.69, 023°)	
19	(1.45, 062°)	(0.8261, 015°)	(0.19, 015°)	
20	(1.35, 055°)	(0.9994, 004°)	(0.19, 004°)	
21	(1.32, 054°)	(1.226, 356°)	(0.14, 356°)	(0.12, 353°)
22	(1.16, 048°)	(2.056, 339°)	(0.18, 339°)	(0.16, 341°)

TABLE II b
 Harmonic constituent S_2 (EST)
 (after Forrester, 1972)

No. of Region <i>i</i>	Mean Vertical Tide (m)	Tidal Volume Transport ($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)	Mean Tidal Stream (Calculated) (m/s)	Mean Tidal Stream (Observed) (m/s)
1	(0.01, 112°)	(0.0005, 022°)	(0.03, 022°)	(0.38, 199°)
2	(0.02, 052°)	(0.0005, 018°)	(0.03, 018°)	
3	(0.02, 027°)	(0.0005, 007°)	(0.04, 007°)	
4	(0.06, 003°)	(0.0007, 324°)	(0.04, 324°)	
5	(0.08, 356°)	(0.0009, 304°)	(0.07, 304°)	
6	(0.14, 329°)	(0.0012, 282°)	(0.12, 282°)	
7	(0.18, 318°)	(0.0017, 264°)	(0.12, 264°)	
8	(0.29, 294°)	(0.0033, 230°)	(0.12, 230°)	
9	(0.34, 278°)	(0.0076, 205°)	(0.35, 205°)	
10	(0.44, 221°)	(0.0117, 169°)	(0.21, 169°)	
11	(0.48, 213°)	(0.0177, 152°)	(0.16, 152°)	(0.29, 102°)
12	(0.49, 197°)	(0.0442, 123°)	(0.22, 123°)	
13	(0.53, 182°)	(0.0715, 111°)	(0.29, 111°)	
14	(0.50, 162°)	(0.0954, 100°)	(0.30, 100°)	
15	(0.48, 142°)	(0.1117, 091°)	(0.20, 091°)	
16	(0.52, 129°)	(0.1486, 076°)	(0.19, 076°)	
17	(0.48, 122°)	(0.1652, 070°)	(0.24, 070°)	
18	(0.50, 113°)	(0.2059, 059°)	(0.20, 059°)	
19	(0.47, 101°)	(0.2437, 050°)	(0.06, 050°)	
20	(0.43, 094°)	(0.3053, 039°)	(0.06, 039°)	
21	(0.42, 095°)	(0.3850, 031°)	(0.04, 031°)	(0.03, 023°)
22	(0.34, 083°)	(0.6368, 015°)	(0.06, 015°)	(0.06, 022°)

TABLE II c
 Harmonic constituent N_2 (EST)
 (after Forrester, 1972)

No. of Region <i>i</i>	Mean Vertical Tide (m)	Tidal Volume Transport ($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)	Mean Tidal Stream (Calculated) (m/s)	Mean Tidal Stream (Observed) (m/s)
1	(0.01, 045°)	(0.0003, 315°)	(0.02, 315°)	(0.30, 140°)
2	(0.01, 353°)	(0.0003, 312°)	(0.02, 312°)	
3	(0.02, 328°)	(0.0003, 302°)	(0.02, 302°)	
4	(0.04, 309°)	(0.0005, 264°)	(0.03, 264°)	
5	(0.06, 307°)	(0.0006, 248°)	(0.05, 248°)	
6	(0.10, 266°)	(0.0008, 226°)	(0.08, 226°)	
7	(0.12, 246°)	(0.0010, 205°)	(0.07, 205°)	
8	(0.19, 225°)	(0.0019, 164°)	(0.07, 164°)	
9	(0.33, 188°)	(0.0055, 117°)	(0.25, 117°)	
10	(0.28, 155°)	(0.0088, 094°)	(0.16, 094°)	
11	(0.30, 142°)	(0.0124, 081°)	(0.11, 081°)	(0.21, 031°)
12	(0.36, 125°)	(0.0308, 052°)	(0.15, 052°)	
13	(0.37, 114°)	(0.0497, 041°)	(0.20, 041°)	
14	(0.33, 099°)	(0.0654, 033°)	(0.21, 033°)	
15	(0.35, 082°)	(0.0776, 025°)	(0.14, 025°)	
16	(0.30, 064°)	(0.0977, 012°)	(0.13, 012°)	
17	(0.31, 056°)	(0.1073, 007°)	(0.16, 007°)	
18	(0.31, 049°)	(0.1309, 357°)	(0.13, 357°)	
19	(0.30, 038°)	(0.1535, 348°)	(0.04, 348°)	
20	(0.27, 031°)	(0.1887, 337°)	(0.04, 337°)	
21	(0.25, 031°)	(0.2323, 330°)	(0.03, 330°)	(0.03, 330°)
22	(0.24, 030°)	(0.4129, 316°)	(0.04, 316°)	(0.04, 318°)

TABLE II d
Harmonic constituent K_1 (EST)
(after Forrester, 1972)

No. of Region <i>i</i>	Mean Vertical Tide (m)	Tidal Volume Transport ($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)	Mean Tidal Stream (Calculated) (m/s)	Mean Tidal Stream (Observed) (m/s)
1	(0.02, 090°)	(0.0004, 000°)	(0.02, 000°)	(0.12, 227°)
2	(0.02, 052°)	(0.0004, 358°)	(0.02, 358°)	
3	(0.03, 034°)	(0.0004, 352°)	(0.03, 352°)	
4	(0.06, 359°)	(0.0005, 327°)	(0.03, 327°)	
5	(0.08, 353°)	(0.0006, 311°)	(0.05, 311°)	
6	(0.12, 330°)	(0.0007, 294°)	(0.07, 294°)	
7	(0.14, 329°)	(0.0009, 281°)	(0.07, 281°)	
8	(0.19, 302°)	(0.0013, 251°)	(0.05, 251°)	
9	(0.19, 288°)	(0.0024, 224°)	(0.11, 224°)	
10	(0.23, 263°)	(0.0038, 202°)	(0.07, 202°)	
11	(0.24, 253°)	(0.0054, 189°)	(0.05, 189°)	(0.07, 206°)
12	(0.24, 246°)	(0.0121, 170°)	(0.06, 170°)	
13	(0.23, 240°)	(0.0185, 163°)	(0.07, 163°)	
14	(0.25, 232°)	(0.0254, 157°)	(0.08, 157°)	
15	(0.25, 222°)	(0.0308, 153°)	(0.05, 153°)	
16	(0.24, 215°)	(0.0419, 145°)	(0.05, 145°)	
17	(0.24, 213°)	(0.0471, 142°)	(0.07, 142°)	
18	(0.25, 209°)	(0.0596, 137°)	(0.06, 137°)	
19	(0.24, 205°)	(0.0721, 133°)	(0.017, 133°)	
20	(0.23, 200°)	(0.0919, 128°)	(0.017, 128°)	
21	(0.23, 201°)	(0.1157, 124°)	(0.014, 124°)	(0.013, 150°)
22	(0.23, 201°)	(0.2111, 118°)	(0.018, 118°)	(0.015, 120°)

TABLE II e
 Harmonic constituent O_1 (EST)
 (after Forrester, 1973)

No. of Region <i>i</i>	Mean Vertical Tide (m)	Tidal Volume Transport ($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)	Mean Tidal Stream (Calculated) (m/s)	Mean Tidal Stream (Observed) (m/s)
1	(0.02, 052°)	(0.0004, 322°)	(0.02, 322°)	(0.13, 196°)
2	(0.03, 020°)	(0.0004, 320°)	(0.02, 320°)	
3	(0.03, 005°)	(0.0005, 316°)	(0.04, 316°)	
4	(0.07, 336°)	(0.0006, 296°)	(0.03, 296°)	
5	(0.09, 330°)	(0.0007, 284°)	(0.05, 284°)	
6	(0.13, 312°)	(0.0008, 271°)	(0.08, 271°)	
7	(0.14, 306°)	(0.0010, 260°)	(0.07, 260°)	
8	(0.18, 286°)	(0.0014, 236°)	(0.05, 236°)	
9	(0.20, 271°)	(0.0024, 209°)	(0.11, 209°)	
10	(0.22, 244°)	(0.0036, 187°)	(0.06, 187°)	(0.06, 183°)
11	(0.24, 235°)	(0.0050, 174°)	(0.05, 174°)	
12	(0.24, 232°)	(0.0113, 156°)	(0.06, 156°)	
13	(0.24, 221°)	(0.0172, 147°)	(0.07, 147°)	
14	(0.25, 214°)	(0.0234, 141°)	(0.07, 141°)	
15	(0.24, 204°)	(0.0281, 136°)	(0.05, 136°)	
16	(0.24, 197°)	(0.0381, 128°)	(0.05, 128°)	
17	(0.23, 195°)	(0.0427, 125°)	(0.06, 125°)	
18	(0.24, 192°)	(0.0541, 120°)	(0.05, 120°)	
19	(0.23, 187°)	(0.0651, 116°)	(0.015, 116°)	(0.010, 107°) (0.015, 115°)
20	(0.22, 182°)	(0.0829, 111°)	(0.016, 111°)	
21	(0.23, 183°)	(0.1047, 107°)	(0.012, 107°)	
22	(0.21, 183°)	(0.1858, 101°)	(0.016, 101°)	

TABLE II f
 Harmonic constituent M_4 (EST)
 (after Forrester, 1973)

No. of Region <i>i</i>	Mean Vertical Tide (m)	Tidal Volume Transport ($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)	Mean Tidal Stream (Calculated) (m/s)	Mean Tidal Stream (Observed) (m/s)
1	(0.01, 039°)	(0.0006, 309°)	(0.04, 309°)	(0.34, 318°)
2	(0.02, 301°)	(0.0006, 301°)	(0.04, 301°)	
3	(0.03, 254°)	(0.0004, 277°)	(0.03, 277°)	
4	(0.09, 217°)	(0.0008, 142°)	(0.04, 142°)	
5	(0.10, 196°)	(0.0016, 124°)	(0.12, 124°)	
6	(0.21, 124°)	(0.0022, 083°)	(0.23, 083°)	
7	(0.24, 113°)	(0.0033, 057°)	(0.24, 057°)	
8	(0.33, 043°)	(0.0051, 352°)	(0.18, 352°)	
9	(0.22, 009°)	(0.0089, 312°)	(0.40, 312°)	
10	(0.27, 273°)	(0.0073, 253°)	(0.13, 253°)	
11	(0.27, 256°)	(0.0113, 207°)	(0.10, 207°)	(0.04, 146°)
12	(0.15, 239°)	(0.0256, 171°)	(0.13, 171°)	
13	(0.05, 173°)	(0.0264, 159°)	(0.11, 159°)	
14	(0.05, 068°)	(0.0207, 159°)	(0.07, 159°)	
15	(0.09, 046°)	(0.0138, 172°)	(0.02, 172°)	
16	(0.08, 060°)	(0.0060, 269°)	(0.008, 269°)	
17	(0.06, 077°)	(0.0087, 304°)	(0.013, 304°)	
18	(0.05, 123°)	(0.0135, 353°)	(0.013, 353°)	
19	(0.03, 113°)	(0.0195, 003°)	(0.005, 003°)	
20	(0.03, 064°)	(0.0285, 353°)	(0.005, 353°)	
21	(0.03, 085°)	(0.0401, 354°)	(0.005, 354°)	(0.007, 021°)
22	(0.01, 081°)	(0.0550, 353°)	(0.005, 353°)	(0.008, 332°)

TABLE II g
Harmonic constituent MS_4 (EST)
(after Forrester, 1973)

No. of Region <i>i</i>	Mean Vertical Tide (m)	Tidal Volume Transport ($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)	Mean Tidal Stream (Calculated) (m/s)	Mean Tidal Stream (Observed) (m/s)
1	(0.003, 072°)	(0.0003, 342°)	(0.02, 342°)	(0.22, 349°)
2	(0.01, 000°)	(0.0003, 336°)	(0.02, 336°)	
3	(0.02, 300°)	(0.0003, 314°)	(0.02, 314°)	
4	(0.04, 268°)	(0.0004, 205°)	(0.02, 205°)	
5	(0.04, 251°)	(0.0007, 184°)	(0.05, 184°)	
6	(0.07, 182°)	(0.0009, 148°)	(0.09, 148°)	
7	(0.09, 160°)	(0.0012, 116°)	(0.09, 116°)	
8	(0.12, 105°)	(0.0019, 052°)	(0.07, 152°)	
9	(0.11, 073°)	(0.0042, 008°)	(0.19, 008°)	
10	(0.13, 324°)	(0.0033, 301°)	(0.06, 301°)	(0.04, 229°)
11	(0.13, 318°)	(0.0059, 260°)	(0.05, 260°)	
12	(0.07, 295°)	(0.0127, 227°)	(0.06, 227°)	
13	(0.03, 237°)	(0.0139, 212°)	(0.06, 212°)	
14	(0.02, 109°)	(0.0115, 214°)	(0.04, 214°)	
15	(0.04, 086°)	(0.0088, 230°)	(0.02, 230°)	
16	(0.04, 100°)	(0.0057, 284°)	(0.007, 284°)	
17	(0.02, 120°)	(0.0055, 303°)	(0.008, 303°)	
18	(0.02, 187°)	(0.0027, 344°)	(0.003, 344°)	
19	(0.02, 186°)	(0.0034, 049°)	(0.001, 049°)	(0.003, 079°) (0.001, 005°)
20	(0.01, 137°)	(0.0056, 048°)	(0.001, 048°)	
21	(0.01, 162°)	(0.0094, 058°)	(0.001, 058°)	
22	(0.003, 251°)	(0.0096, 089°)	(0.001, 089°)	

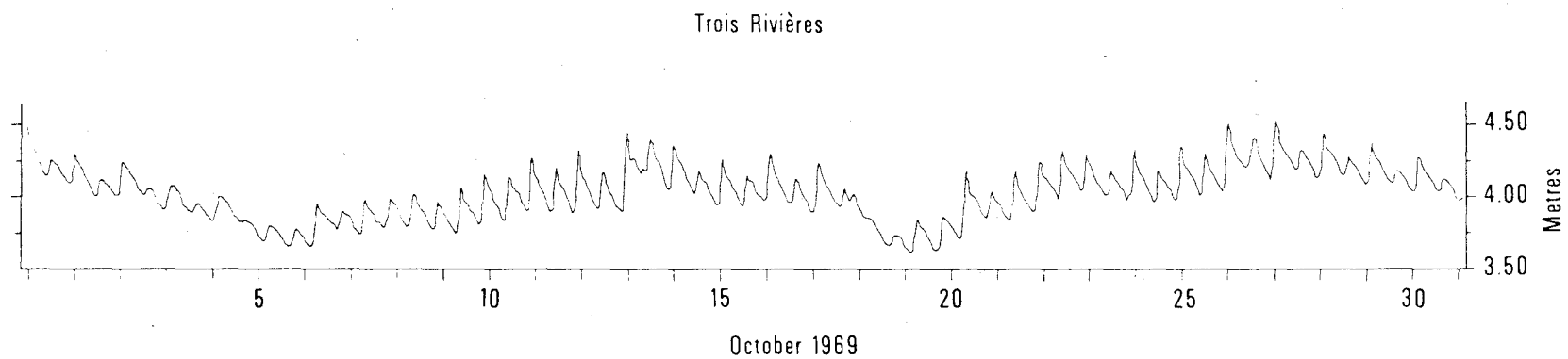


Fig. 14: Daily sea level at Trois-Rivières
(after Godin, 1971)

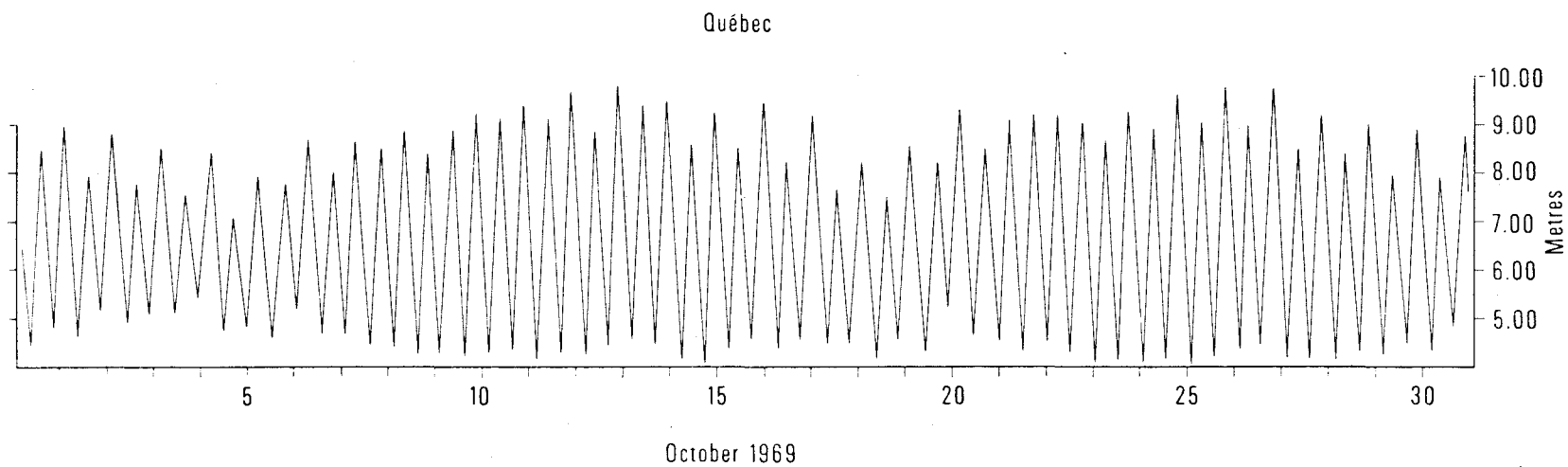


Fig. 15: Daily sea level at Québec
(after Godin, 1971).

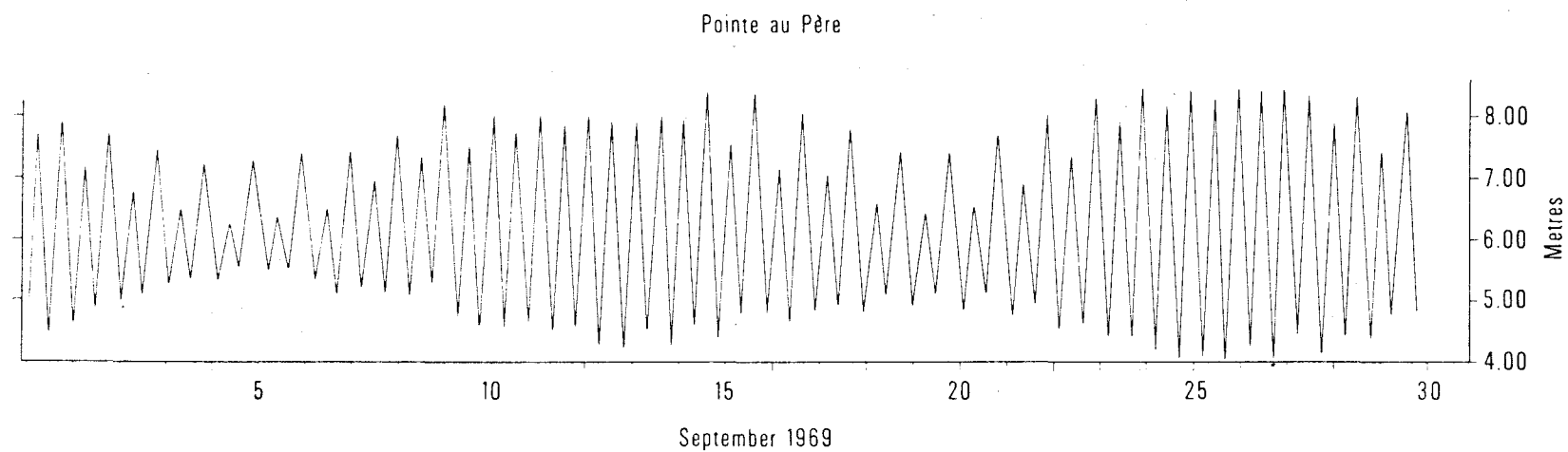


Fig. 16: Daily sea level at Pte au Père
(after Godin, 1971).

In recent years theoretical models have been used to predict the tidal motion in the St. Lawrence River and Estuary (Godin, 1971; Kamphuis, 1969, 1970; Partenscky and Vincent, 1965, 1968; Partenscky and Warmoes, 1969; Partenscky and Ngoc Vu, 1971; Ploeg and Kamphuis, 1969). The results of these models reveal that good agreement can be obtained between the predicted and observed tides with an accuracy of 0.1 ft for water levels and 15 minutes for time.

Seasonal and daily variations of sea level in the Gulf of St. Lawrence were analyzed by Seibert (1968). A correlation was found between seasonal variations in sea level and atmospheric pressure, leading to high sea levels in the early winter and low levels in the summer. However, the response of sea level to atmospheric pressure was less than the pure hydrostatic relationship.

The mean value of the water levels in the St. Lawrence Estuary also has a climatological value (Godin, 1971). Figure 17 shows this mean level on a monthly and yearly basis for a 10 year average at the principal stations strung along the estuary. The fluctuations in mean levels decrease gradually downstream till they become nearly imperceptible at Pointe au Père. At King Edward and Frontenac, there is a large drop in the level in January and February following the freeing of the channel from the ice. The next feature common to all the curves is the increase in level in March and April created by the melting of the snow cover. These variations in level are maximum between the mouth of Lake St. Peter and Québec. Afterwards, the level drops uniformly to reach a minimum value in September when they start increasing on account of the increased precipitation.

Figures 18 and 19 show the deviation from the mean yearly level of the monthly levels. As expected these deviations enclose each other like an envelope since the bed of the river expands downstream and is

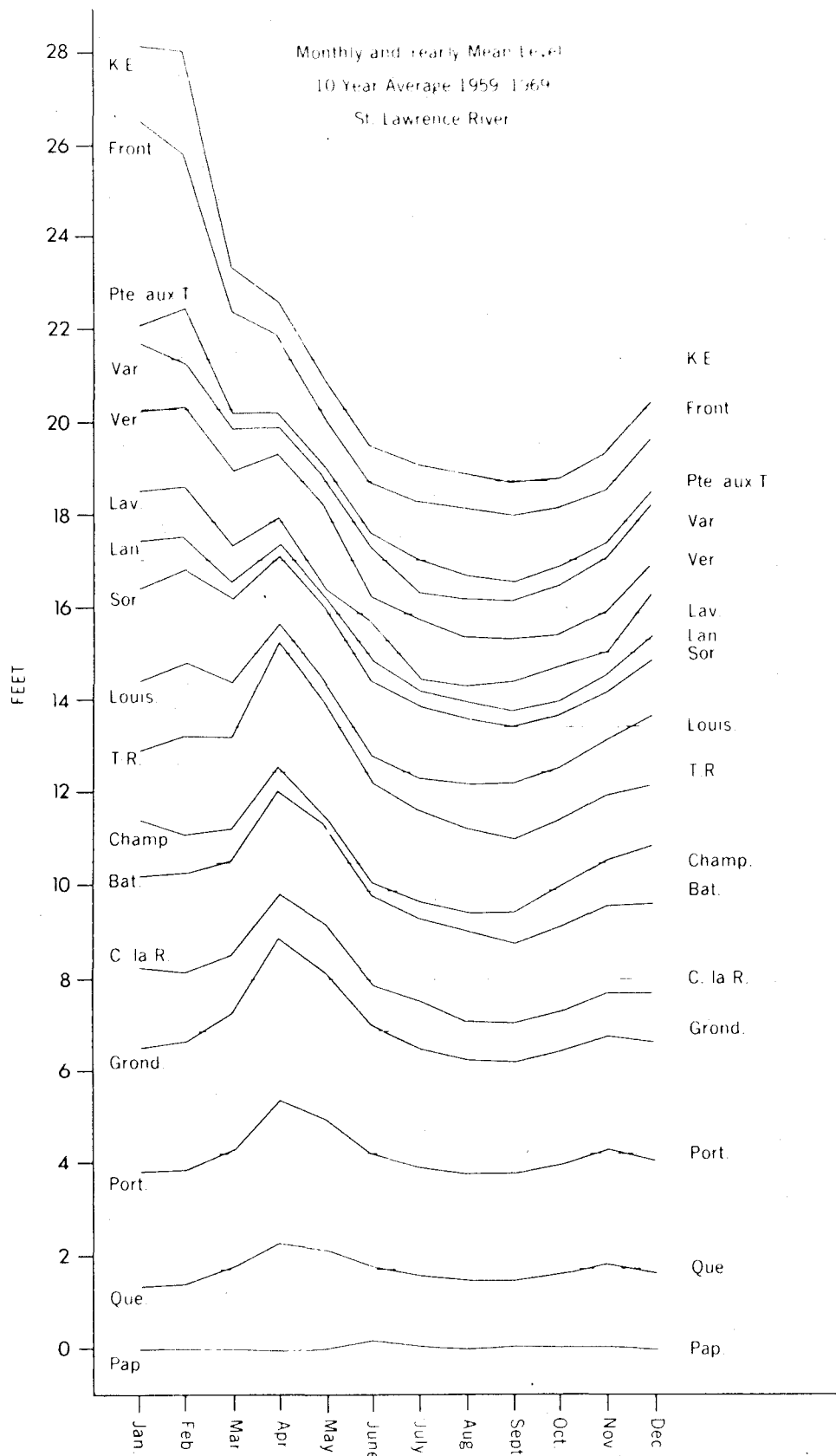


Figure 17: Monthly mean level in the St. Lawrence Estuary (after Godin, 1971.)

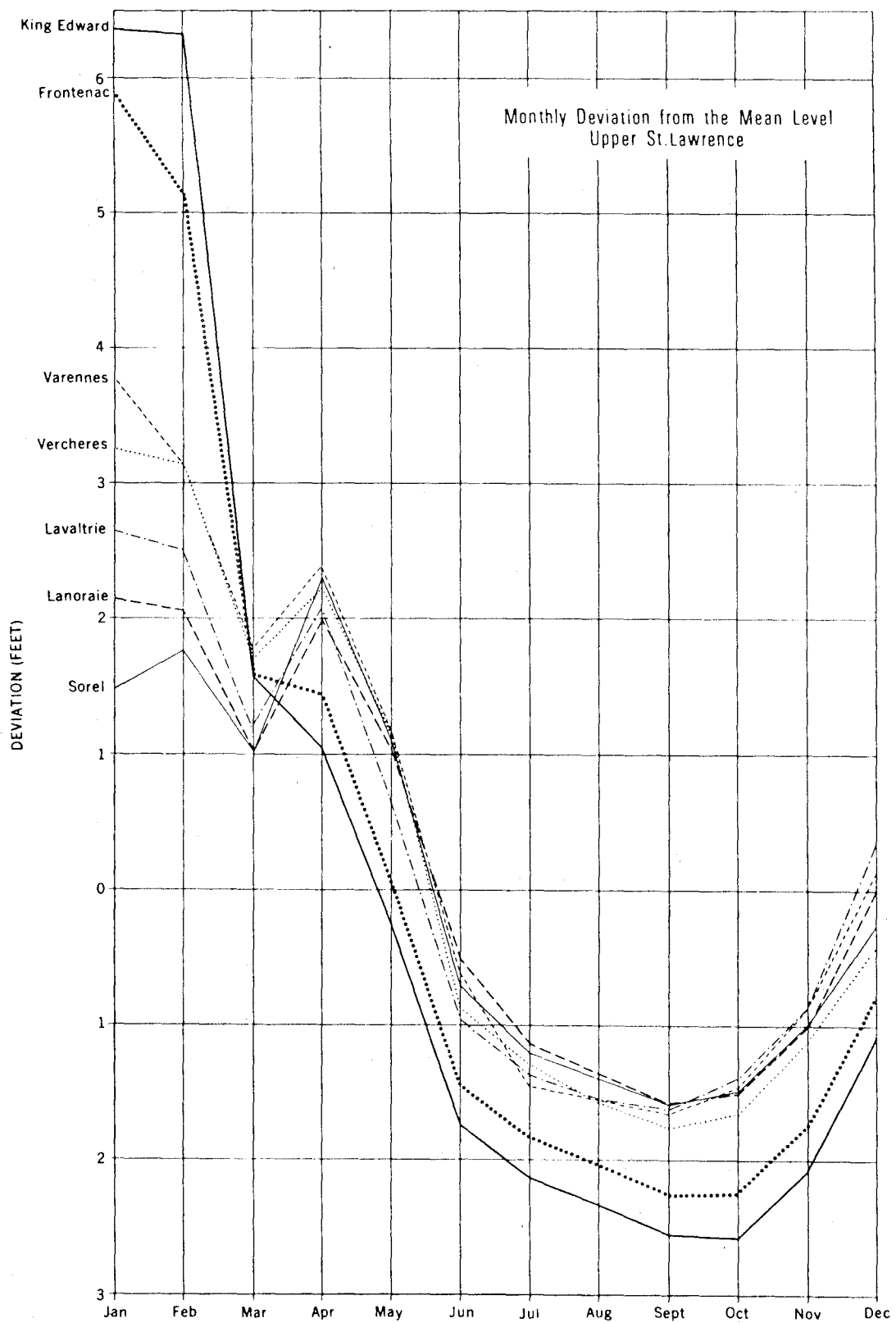


FIG. 18 (after Godin, 1971).

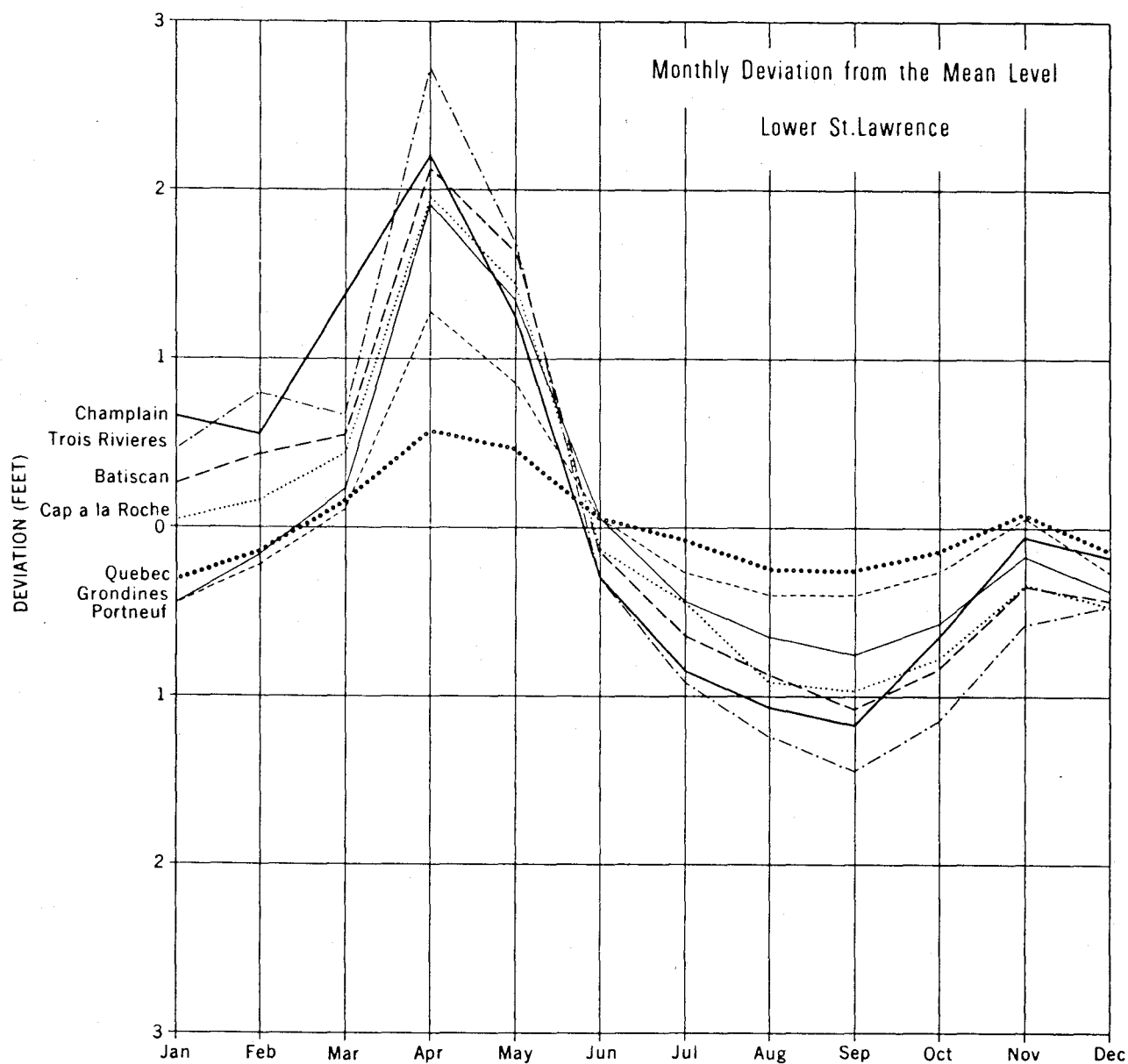


FIG. 19 : (after Godin, 1971).

increasingly less affected by the fluctuation in the discharge. The only exception to the rule is Trois-Rivières during April which exhibits then larger deviations from mean level than the stations on the other side of Lake St. Peter such as Sorel and Lavaltrie.

The mean level may deviate by as much as 1.3 meters in Montréal while at Québec its deviations seldom exceeds 20 centimeters. Ice free conditions in Montréal should reduce the fluctuations in level appreciably.

1.5 TIDAL FLATS:

Along the south shore of the St. Lawrence Estuary between St-Rock-des-Aulnaies and Trois-Pistoles, are a series of tidal marshes characterized by the presence of two grasses, Spartina alterniflora and Spartina patens. Man's past and present impact on this ecosystem and the importance of these marshes to aquatic birds have been discussed in details by Reed and Moisan (1971). Discussing the origin of these tidal marshes the authors give a concise account which is quoted here: "The south shore of the estuary is underlain by red, gray and green slates of Ordovician origin. In comparison with New England tidal marshes, those of the St. Lawrence are subject to extreme conditions of ice, tide, current and climate. Furthermore there are no large bays or inlets along the south shore of the estuary and the shallow bays in which the marshes are found offer little protection from wind, wave, current and ice action. These factors seriously affect the rate of sedimentation (hence the build up of thick sediments and peat) and the expansion of existing marshes. The St. Lawrence marshes are therefore underlain by a shallower layer of peat and sediment than those of New England. Another apparent particularity of the St. Lawrence marshes is their characteristically high density of small pools which occur mainly near the landward border.

The death of plants and the rotting of their rhizomes tend to deepen these pools. Hamelin and Cailleux (1966), working in a small marsh in the St. Lawrence Estuary, explained the formation of pools by the action of ice and tides: blocks of turf are pulled out and transported by the ice with the rising tide. The larger number of pools in the St. Lawrence marshes appears to be a consequence of extreme ice and tidal action.

"The gradually slopping shoreline of the St. Lawrence south shore is occasionally interrupted by high rocky outcrops. These outcrops do not

support marsh vegetation and therefore divide the marshland into smaller segments which can be more conveniently described. The most important of these individual marshes are listed and described in Table III."

It was concluded from this study that a large population of Black Ducks inhabits the *Spartina* marshes during the spring and summer where it finds almost all of its breeding needs. Breeding populations of Common Eiders, Herring, Gulls, Great Black-backed Gulls, Great Blue Herons, Black-Crowned Night Herons and several species of shore birds, as well as migrating populations of Canada Geese, Atlantic Brant and other aquatic birds rely on this habitat as a source of food.

TABLE III

Description of the tidal marshes of the south shore of the St. Lawrence Estuary

Location	length of* shoreline (miles)	original* acreage (acres)	acreage now* in marsh (acres)	description
Baie de Ste-Anne-de-la-Pocatière (from Mont-des-Ours to Rivière-Ouelle)	4.5	1100	400	- <i>S. alt.</i> zone : relatively narrow - steep gradient - fairly deep layer of underlying sediment as indicated by deep drainage channels. - <i>S. pat.</i> zone : narrow with relatively few <i>Ruppia</i> pools. - <i>Juncus</i> slope : narrow - prior to reclamation very wide with gentle slope. - Shoreline marsh : completely eliminated by agriculture. Some vegetation typical of this zone now growing on dike.
St-Denis to Kamouraska	3.0	600	175 (also 250 reclaimed by dike but now regenerating into marsh)	- <i>S. alt.</i> zone : as above. - <i>S. pat.</i> zone : bisected by dike - outside dike narrow, considerable number of <i>Ruppia</i> pools - within dike broad with few pools. - <i>Juncus</i> slope : broad - all reclaimed by a second dike. - Shoreline marsh : scattered patches along fence rows and abandoned fields.
Kamouraska to Ste-Hélène	6.0	940	725	- <i>S. alt.</i> zone : as above. - <i>S. pat.</i> zone : variable in width - high density of <i>Ruppia</i> pools - large salt panne in this and following zone at SW end of marsh. - <i>Juncus</i> slope : fairly broad but now almost all reclaimed. - Shoreline marsh : scattered patches along fence rows and around rocky outcrops.
St-André (3 miles SW to 1.5 miles NE of St-André)	4.5	575	435	- <i>S. alt.</i> zone : as above. - <i>S. pat.</i> zone : narrow, many pools. - <i>Juncus</i> slope : fairly broad - mainly intact except for narrow band reclaimed by dike in village. SW portion of reclaimed land returning to marsh. - Shoreline marsh : eliminated by agricultural and residential development.
Rivière-du-Loup (3 miles westward from Rivière-du-Loup wharf)	3.0	350	270	- <i>S. alt.</i> zone : moderately broad - fairly deep drainage channels. - <i>S. pat.</i> zone : variable in width but generally narrow. - <i>Juncus</i> slope : narrow but forming a broad "tongue" at the mouth of the river. - Shoreline marsh : mostly eliminated - heavily grazed where it remains.
Cacouna (1.5 miles either side of Cacouna)	3.0	700	285	- <i>S. alt.</i> zone : fairly broad on shallow sediment. - <i>S. pat.</i> zone : moderately broad with many pools - drainage and grazing in this and the following zone have led to salt panne formation in central portion of marsh. - <i>Juncus</i> slope : moderately broad - only partially reclaimed by low dikes. - Shoreline marsh : almost entirely eliminated by agriculture. N.B. the construction of a large sea port at Gros Cacouna (a project which has now been suspended short of completion) has led to the filling in of almost 350 acres (all zones) in the SW portion of this marsh.

* approximate measurements made from aerial photographs

TABLE III (cont'd)

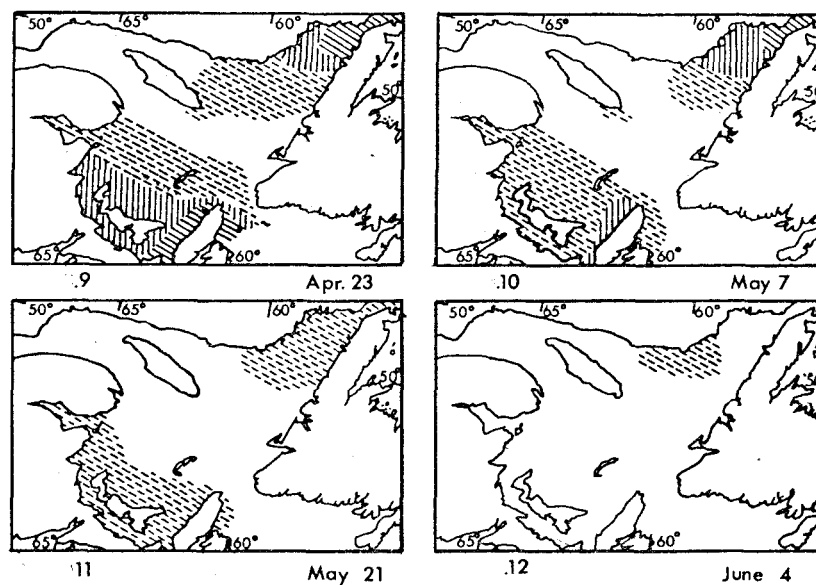
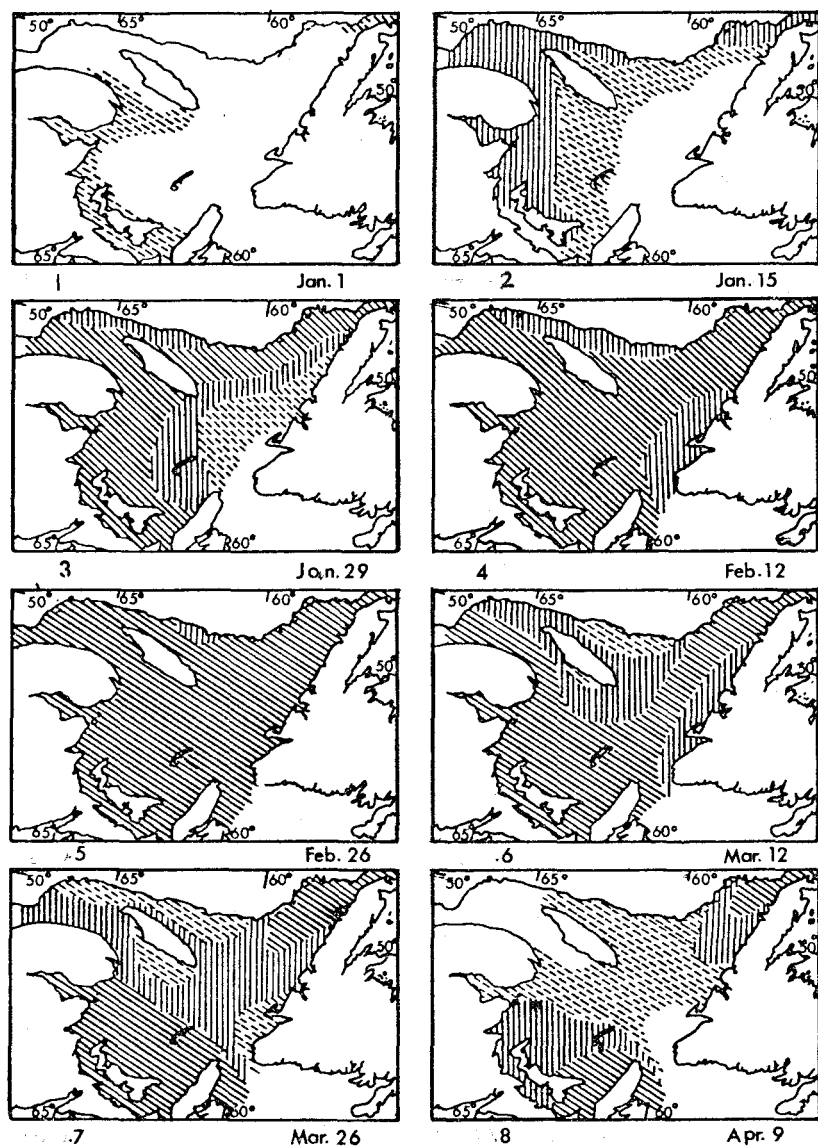
Location	length of shoreline (miles)	original acreage (acres)	acreage now in marsh (acres)	description
Ile Verte Channel (from above marsh to Riv.-des-Vases- also on S. shore of Ile Verte)	4.3 } 2.0 } 6.3	500	480	- <i>S. alt.</i> zone : narrow on steep slope. - <i>S. pat.</i> zone : narrow - considerable salt panne formation of uncertain cause. - <i>Juncus</i> slope : narrow - much salt panne, some mowing on rest. - Shoreline marsh : a few small remaining tracts.
Rivières-des-Vases to Rivière Verte	4.8	1200	1000	- <i>S. alt.</i> zone : moderately broad on deep to moderately deep sediment. - <i>S. pat.</i> zone : broad to very broad with very high density of <i>Ruppia</i> pools. - <i>Juncus</i> slope : variable but generally broad - about 50 acres reclaimed in E. portion of marsh - some grazing and mowing. - Shoreline marsh : one large, relatively undisturbed tract (200 ft. by one mile) also some regeneration in abandoned fields - occasional burning, grazing and mowing.
Rivière Verte to Pointe-à-la-Loupe	5.2	1800	1500	- <i>S. alt.</i> zone : very broad on shallow sediment. - <i>S. pat.</i> zone : fairly narrow, high density of pools - in central portion draining and grazing have caused salt panne formation. - <i>Juncus</i> slope : partially reclaimed (one large dike encloses more than 100 acres of this and preceeding zone near SW edge of marsh). - Shoreline marsh : all eliminated except a few small tracts.

1.6 ICE:

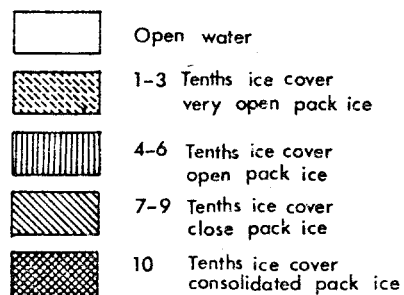
Aerial ice survey in the Gulf of St. Lawrence was first reported by Forward (1954) of the Geographical Branch of the Department of Mines and Technical Surveys, who analysed spring break-up patterns for the 1940-1952 period. Since 1959 the Meteorological Branch of the Department of Transport has operated an aerial ice reconnaissance in conjunction with an ice forecasting program of the Sea Ice Forecasting Central in Ottawa. (For details of bibliography, the reader is referred to El-Sabh et al. (1969)). Apart from their operational importance for navigation the ice charts have been and will be very useful for studies of the meteorological effect on formation, growth, decay, and break-up of the ice in the gulf.

In the Gulf of St. Lawrence observations show that ice comes from three sources; (a) Labrador ice that drifts from arctic and subarctic areas together with small icebergs and enters the gulf through the Strait of Belle Isle; (b) ice from the St. Lawrence River and Estuary; (c) ice fields which are locally formed in the gulf. In general, ice starts to form in mid December with fast ice forming in sheltered areas; by late January almost the whole gulf is frozen over; it reopens in late April-May. The ice charts identify four ice types in the gulf: new, young, medium winter, and thick winter.

Matheson (1967) has studied ice conditions over a five year period using charts published by the Department of Transport. Figure 20 shows the fortnightly average ice conditions. From these charts it can be seen that during the month of January the ice concentration increases rapidly; however, the region west of Newfoundland remains unfrozen due to the influx of water from the Labrador current. By the last week of January and the first week of February the southwestern and central parts of the gulf are covered by heavy ice originating in



LEGEND



Five-year mean ice concentration (after Matheson, 1967)

Fig. 20

the St. Lawrence River and Estuary. As winter progresses the ice in these areas is convected by the prevailing northwesterly wind and current out through the southern side of Cabot Strait. A typical feature seen from the charts is also the low concentration along the north shore, which is primarily caused by the prevailing off-shore wind. A rather rapid break-up occurs over the entire gulf with the vernal warming, leaving ice in the areas north of Prince Edward Island and the Strait of Belle Isle longer than in the Gaspé Passage and the central part of the gulf. Matheson's charts are valuable for showing the geographical distribution of ice, but they do not incorporate either thickness, volume or drift of the ice in the gulf.

Using the weekly ice summary charts, Forrester and Vandall (1968) divided the gulf into ten regions and estimated ice volumes and average ice thicknesses in each of the regions at two-weekly intervals through the six ice seasons of 1962 to 1967, and also through the six year mean (1962-1967) ice season. For the mean ice season they found the greatest average ice thickness (24 cm) occurred in the region around Prince Edward Island early in March. Over the gulf as a whole the greatest average ice thickness (16 cm) occurred at the end of February for the mean ice season.

It is essential to carry out heat budget studies in order to understand, and hence predict, the formation, growth, and break-up of the ice. Few complete studies of this character have been carried out in the Gulf of St. Lawrence; however, Lauzier and Graham (1958), Lauzier and Barlett (1961), Coombs (1962) and Matheson (1967) have investigated the subject. Matheson (1967), from his study on the meteorological effect on ice in the Gulf of St. Lawrence, has shown that high heat losses during the season do not necessarily imply severe ice conditions. As pointed out by him "computation of the heat fluxes revealed the very high heat gains or losses which may ensue if an airflow type is maintained over a long

period. It is imperative that these high heat loss periods continue for at least three consecutive days in order to produce a significant effect on the ice cover".

Previous to 1965 no detailed ice drift studies were undertaken. The Marine Sciences Centre of McGill University, however, has for several years been engaged in ice drift studies in the gulf with the ultimate aim of formulating a numerical method for sea ice prediction in the gulf and for related areas in the Canadian Arctic. Some of the preliminary results are reported by Ingram (1967), Johannessen et al. (1968), Ingram et al. (1969); Johannessen et al. (1969), Farmer (1969), Banke (1970), Farmer et al. (1970), Johannessen (1970), Johannessen et al. (1970), Smith et al. (1970), Pounder et al. (1971), Seifert and Langleben (1972). Some preliminary analyses from positioning of a drifting buoy by the D.O.E. ice reconnaissance aircraft, and wind and positions obtained from a "Manned Drifting Station" show that the ice fields take part in the tidal motion and that maximum response of the ice drift to changing wind stress is achieved in less than 2 hours. This is indeed a very fast response, when compared with the response of the surface layer of changes under wind stress for oceanic conditions.

In the St. Lawrence Estuary ice tends to accumulate along the south shore. Aerial observations reveal that ice is mostly packed and snow-covered, while along the north shore it is more translucent and therefore probably younger. This feature seems to indicate that surface water deviates toward the south shore, while the warmer water of the underlying layers deviates towards the north shore.

A detailed study of ice conditions related to winter navigation in Kamouraska Basin was carried out by Michel (1973) who concluded that "In general manner there is less ice in the central part of Kamouraska Basin than at both ends where ice movement is hampered by Ile-aux-Coudres and Ile-aux-Lièvres. In average winter weather this ice concentration is low of the order of 3/10 and it is not believed to ever get higher than 6/10.

On the average the accountable ice appears in the basin around December 10 and disappears around March 7 for a period of 3 months. There are 36 days, on the average, of heavy ice formation. Because of the statistical distribution of wind direction the ice will be well distributed 61 % of the time (22 days), will be pressed on the north shore 11% of the time (4 days) and 28% (10 days) on the south shore.

Shorefast ice extends to the outermost Kamouraska Islands most of the winter but the ice keeps moving at all times seawards of Grande-Ile. This shorefast ice forms a groin joining both islands which has interesting hydraulic and ice effects. For instance at change of tides between flood and ebb tide, it leads the water and clears the ice outwards, away from the Islands. When ice floes are moving along the south shore with ebb tide they are deflected off the upper tip of this natural groin leaving an area of clearer water close to Grand Island. Finally, and most interesting, when ice is pressed by N W winds on the south shore at ebb tide the groin has the effect of retaining the ice under pressure upstream while relieving the pressure downstream, just in front of the islands.

Currents influence the ice drift in the area. One very peculiar phenomenon occurs at the end of flood tide, with reversing tide, when water seems to flow directly from the south shore to the north shore off Kamouraska Island. This has the effect of clearing all floating ice from the south shore at the beginning of each tidal period unless this effect is counteracted by wind in the opposite direction.

Shorefast ice forms rapidly and its stable line seems to coincide with the outward limit of flats, uncovered at low tides. When pressure ice is moving along shores it may stick and form temporarily an extended fast ice cover. This seems to be of rare occurrence. One area where there seems to be very little or no shorefast ice extension is along the outer Kamouraska Islands.

1.7 POLLUTION CONCERN:

Development of supertanker oil ports are generally associated with pollution problems and their effect on the marine environment.

Seldom, however, have the pollutant measurements and pollution research been done in the Gulf of St. Lawrence. Only in recent years when Sprague and Ruggles (1967), Mann and Sprague (1970) reviewed the subject, together with Trites (1970) who single out the following as major areas of concern: pesticides; wastes from pulp and paper industry; mercury; petroleum; and other, mainly mining wastes and domestic sewage. To date most pollutant measurements in the Gulf have been confined to areas relatively near to urban areas or industrial operations where man-made activities have had obvious local effects.

It is important to have some knowledge of how rapidly a pollutant may be carried away from its point of discharge, and at what rate it is dispersed. When detailed current and diffusion measurements are not available, it is sometimes helpful to estimate flushing times from very simple models, being more readily measured than currents and diffusion. The mean flushing time of fresh water in the Gulf is in the order of one year. Trites (1970) calculated that a particle moving in the direction of the current from Saguenay to Cabot Strait would complete the journey in about three months. In reality, the particle would probably make one or several circuits in the Gulf before exiting, rather than moving in a straight path. In a recent study, El-Sabh (1973) estimated one month as the time required for a particle to move at the sea surface from the Gaspé Coast to Cape Breton Island and two years as the time for the deep water to reach the Estuary area from Cabot Strait. Trites (1970) further calculated that "if wastes are discharged relatively uniformly into the fresh water entering the Gulf, one cannot expect a dilution of as much as two orders of magnitude with sea during its residence in the Gulf.

There have been no large oil spills in the Gulf. The most notable of the smaller disasters occurred in September 1970, when the oil barge "IRVING WHALE", carrying a cargo of Bunker C oil, sank in the Gulf, resulting in an oil slick of about 200 square miles (Loucks and Lawrence, 1971). Part of the emulsified oil contaminated the western beaches of the Magdalen Islands two weeks after the accident. The high viscosity of the oil facilitated beach cleaning since the oil did not penetrate to any large extent into the sand (Ages, 1971). By an analysis of the ultra-violet absorption spectra of the Bunker C oil carried by the "IRVING WHALE" and that of the oil polluting the beaches of the Magdalen Islands, Levy (1971) established that the barge spill was responsible for the observed pollution.

Surveys undertaken after the ARROW disaster in February 1970, and the subsequent release of about 2 million gal. of Bunker C, revealed that small oil particles down to sizes at least as small as a few microns were present in the water column, not only in the vicinity of the wreck but for distances of at least 200 km from the source. Particles were observed to depths of at least 80 m. Within a 10-20 km region of the wreck, typical concentrations in the water column below the sea surface were in the neighbourhood of 20 ppb (Forrester, 1971).

There is a great deal of shipping activity in and out of the St. Lawrence Seaway. Using techniques recently developed by Levy (1970), pollution from Bunker C and similar oils were surveyed on a transit from Montreal to Cabot Strait. "Concentrations of a few parts per billion were found at all stations and all depths. While these levels are near the limits of reliability of the method, Levy is of the opinion that there is a low background level of oil which has resulted from man-made activities." (Trites, 1970). Recent data are reviewed by Levy and Walton (1973).

At present, there is no oil drilling in the Gulf, but oil explorations

are planned for the southern (the Magdalen Shallows) area. Together with the more westerly parts, this is the area of greatest biological production in the Gulf (Steven, 1970). It is also the site of major fisheries activities for herring, cod and plaice, as well as for some other species. Furthermore, as Trites (1970) points out, "a major spill in the winter months could be particularly detrimental to the large seal herds which enter the Gulf and pup during the winter months."

1.8 CONSTRUCTION OF KAMOURASKA PORT AND JETTY AND THEIR EFFECTS ON MARINE ENVIRONMENT

From the foregoing review sections it is evident that very little information are available in the Kamouraska area of the St. Lawrence Estuary. It must be emphasized therefore that any conclusion at the present time for the effects of the proposed Port and Jetty on the marine environment will be based mainly on a personal guess and on the few available information.

As mentioned by Michel (1973) "Kamouraska Basin has a central portion more than 100 feet deep having an area of more than 25 sq. n. mi. that can receive and berth the biggest existing ships. Because of a small misalignment with the general direction of the St. Lawrence estuary and the presence of numerous seaward islands it is protected from the storms of the Gulf and is a natural safe haven. A large channel, 84 feet deep at low tide, connects the central part of the basin to a deep pool very close to the shore of Grande-Ile which is almost a natural wharf for deep water ships". Examination of the recent current measurements near Grande-Ile and of the tidal charts show, however, that tidal currents prevailing off the island are 2 knots at flood tide and 2.5 knots at ebb tide. These fast currents together with the presence of heavy winter ice in the estuary may complicate the operations of large tankers at Grande-Ile. Engineering works, such as breakwaters and seawalls constructions, can be designed to take care of these problems.

In general, the proposed pier along the north west side of Grande-Ile will not affect the general circulation pattern in the St. Lawrence Estuary. Its effect, however, will be locally. Depending on the direction and height of the seawalls necessary for the port construction, oceanographic conditions will change.

"A reach of shoreline that has been shaped into a permanent configuration

by natural forces acting over the previous centuries may change greatly in a manner of a few weeks or months if certain man-made works appreciably modify the character of these natural forces" (Ippen, 1966). Such works may consist of an extensive breakwater and jetty systems. Unfortunately there are no oceanographic observations available at the present time between Grande-Ile and shoreline to predict the effect of the proposed Jetty on the environment. The following conclusions are based on Ippen (1966) who states that a structure that extends seaward from the shore and across the littoral zone acts as a dam and traps the littoral drift. The impounding capacity of such a barrier depends on the height of the structure, the bottom slope and the equilibrium alignment of the shore in that region. The proper siting and spacing of jetties are discussed. The immediate effect of such structures where the rate of littoral drift is significant is that accretion occurs on the updrift side and erosion occurs on the downdrift side. The seriousness of the erosion on the downdrift shoreline is a function of the character and value of the land in this region.

It was pointed out earlier that the south shore of the St. Lawrence Estuary, including Kamouraska area, is characterized by the existing of a series of tidal marches. No doubt the proposed jetty will affect the character of these salt marches and hence aquatic birds which inhabit them during the spring and summer where it finds almost all of its breeding needs.

A necessary part of most jetty systems is some provision for passing the littoral drift from the updrift to the downdrift side. It is the opinion of the writer that the more openings in the jetty the less effects will have on the environment. In order to predict exactly these effects a hydraulic model for Grande-Ile and the proposed port and jetty must be built and experiments can be done to test all possible effects.

There are many questions one would like to know their answers such as:

- a) What would the circulation pattern look like in Kamouraska area after building the port and jetty?
- b) What would the tidal current look like with the proposed jetty?
- c) Currents will be very strong at the openings of the Jetty. What are their effects on the jetty itself and on the tidal marshes in the area?
- d) What would the shoreline look like with one jetty? With two jetties?

Hydraulic models seeking answers to these questions should increase measurably our knowledge about how the nearshore area of Kamouraska will behave after building the Grand-Ile port and jetties between the port and shoreline.

1.9 BIBLIOGRAPHY

- BAILEY, W.B., 1958. On the dominant flow in the Strait of Belle Isle.
J. Fish. Res. Bd. Canada, 15(6) pp: 1163-1174
- BANKE, E., 1970. Wind stress measurements in the Gulf of St. Lawrence.
M. Sc. thesis, McGill University, Marine Sciences Centre,
Montréal, Canada.
- BEAUGE, L., 1949. Croisière de recherches sur le fleuve Saint-Laurent.
(juin-Septembre 1949), Rapp. MS., Dept. des Pêches, Québec. 113 pp.
- BLACKFORD, B.L., 1965. Some oceanographic observations in the southeastern
Gulf of St. Lawrence - Summer 1964. Fish. Res. Bd. Canada.
Unpubl. MS. Report (Oceanog. & Limn.) Series No. 185, 48 pp.
- _____ 1966. A simple two-dimensional electrical analog model for
wind-driven circulation in the gulf of St. Lawrence. J. Fish.
Res. Bd. Canada, 23(9): 1411-1438 pp.
- _____ 1967. Some oceanographic observations in the southern Gulf
of St. Lawrence - Summer 1965. Fish. Res. Bd. Canada. Unpubl.
Tech. Report Series No. 26, 34 pp.
- BOUDREAU, F.R., 1972. Dériveurs du fond dans le Sud-Ouest du Golfe du
Saint-Laurent: 1969-1970. Minist. l'Ind. Comm. Direction des
Pêches Marit., Service de la Rich. Québec, Canada. Cah. Inform.
No. 58, 54 pp.
- _____ and F. Héritier, 1971. Dériveurs de surface dans le Golfe du
Saint-Laurent. Ibid., No. 57, 152 pp.
- BUMPUS, D.F. and L.M. Lauzier, 1965. Surface circulation on the continental
shelf off Eastern North America between Newfoundland and Florida.
Serial Atlas of the Marine Environment - Folio 7, American Geogr.
Soc. N.Y.
- COOMBS, J.A., 1962. A preliminary investigation of the heat budget in
the Gulf of St. Lawrence. Bd. Inst. Oceanog., Dartmouth, N.S.
Canada. Unpubl. MS. Report 62-1, 50 pp.

- D'ANGLEJAN, B.F. and M.J. Dunbar, 1968. Some observations of oxygen, pH and total alkalinity in the Gulf of St. Lawrence, 1966, 1967 and 1968. McGill University, Marine Sciences Centre, Montreal, Canada. Unpubl. MS. Report No 7, 50 pp.
- DAWSON, W.B., 1898. Survey of tides and currents in Canadian Waters, 1896-97. Canada, Dept. Marine and Fish., Report of Progress, 49 pp.
- _____ 1907. The currents in Belle Isle Strait from investigation of tidal and current survey in the seasons of 1894 and 1896. Ibid., 43 pp.
- _____ 1913. The currents in the entrance to the Gulf of St. Lawrence. Canada Dept. Naval Service, 50 pp.
- _____ 1920. The currents in Belle Isle Strait, the northern entrance to the Gulf of St. Lawrence. Bull. Geogr. Soc., Philadelphia, 18: 35-37pp.
- EL-SABH, M.I., 1972. The water masses of Cabot Strait. McGill University, Marine Sciences Centre, Montreal, Canada. Unpubl. Annual Report. 1971, pp. 19-20.
- _____ 1973. Transports and currents in the Gulf and Estuary of St. Lawrence (in preparation).
- _____ and O.M. Johannessen, 1972. Winter Geostrophic circulation in the Gulf of St. Lawrence. J. Fish. Res. Bd. Canada. 29 (5) pp. 595-598.
- _____ W.D. Forrester and O.M. Johannessen, 1969. Bibliography and some aspects of physical Oceanography in the Gulf of St. Lawrence. McGill University, Marine Sciences Centre, Montreal, P.Q. Canada Unpubl. MS. Report No 14, 64 pp
- FARMER, D., 1969. Observations on Ice movement in the Gulf of St. Lawrence. Ibid, M. Sc. thesis.
- _____ O.M. Johannessen, J.E. Keys, E.R. Pounder and H. Serson, 1970. Observations of ice drift from a manned drifting station in the Gulf of St. Lawrence. J. Geophys. Res., 75 (15) pp. 2863-2867.

- FARQUHARSON, W.I., 1957. Cotidal charts of the Gulf of St. Lawrence. Assoc. d'Océan. Physique, Reports of Abstracts and Communications, pp. 59-60.
- _____. 1962. Tides, tidal streams and currents in the Gulf of St. Lawrence. Canada Dept. Mines and Technical Surveys, Marine Sciences Branch, 76 pp.
- _____. 1963. Gaspé Passage current and oceanographic survey, 1962. Bed. Inst. Oceanogr., Dartmouth, N.S., Canada. Unpubl. MS for internal circulation No. 63-9.
- _____. 1965. Tidal stream and current surveys, evaluation of data. Bed. Inst. Oceanogr., Dartmouth, N.S. Canada. Unpubl. MS Report 65-11, 66 pp.
- _____. 1966. St. Lawrence Estuary current surveys. Ibid., MS Report 66-6, 84 pp.
- _____ and W.B. Bailey, 1966. Oceanographic study of Belle Isle Strait, 1963. Ibid, MS Report 66-9, 78 pp.
- FORRESTER, W.D., 1964. A quantitative temperature-salinity study of the Gulf of St. Lawrence. Ibid. MS. Report 64-11, 16 pp.
- _____. 1967. Currents and geostrophic currents in the St. Lawrence Estuary. Ibid., MS Report 67-5, 175 pp.
- _____. 1970. Geostrophic approximation in the St. Lawrence estuary. Tellus, 22 : pp. 53-65
- _____. 1972. Tidal transports and streams in the St. Lawrence River and Estuary. Int. Hydr. Rev. XLIX (1): pp. 95-108.
- _____ and M.I. El-Sabh, 1972. Principe of salt continuity applied to estuarine transport calculations. Symposium on the Physical Processes responsible for dispersal of Polluants in the sea organized by ICES. Aarhus University, Denmark, July 1972.
- _____ and P.E. Vandall, Jr. 1968. Ice volume in the Gulf of St. Lawrence. Atlantic Oceanog. Lab., Bed. Inst., Dartmouth, N.S. Canada. Unpubl. MS Report No. 68-7, 16 pp.
- FORWARD, C.N., 1954. Ice distribution in the Gulf of St. Lawrence during break-up season. Geographical Bull., 6: pp. 45-48

- GODIN, G., 1971. Hydrodynamical studies on the St. Lawrence River. Dept. of Energy, Mines & Resources, Marine Sciences Branch, Ottawa. Unpubl. MS Report No 18, 116 pp.
- HAMELIN, L.E. and A. Cailleux, 1966. Le marais troué. Forme nouvelle de marais littoral. C. r. Acad. Sci. Paris 262: pp 540-543.
- HUNTSMAN, A.G., W.B. Bailey and H.B. Hachey. 1954. The general oceanography of the Strait of Belle Isle. J. Fish. Res. Bd. Canada, 11 (3): 198-260.
- INGRAM, R.G., 1967. Ice drift in the Gulf of St. Lawrence. M. Sc. thesis, McGill University, Marine Sciences Centre, Montréal, Canada.
- _____ 1973. Winter currents around Cape Breton Island. J. Fish. Res. Bd. Canada, 30 (1): pp
- _____ O.M. Johannessen and E.R. Pounder, 1969. A pilot study of ice drift in the Gulf of St. Lawrence. J. Geophys. Res., 74: pp 5453-5459.
- IPPEN, A.T., 1966. Estuary and Coastline Hydrodynamics. McGraw-Hill Book Company Inc. New York, 744 pp.
- JOHANNESSEN, O.M., 1970. Note on some vertical current profiles below ice flow in the Gulf of St. Lawrence and near the North Pole. J. Geophys. Res., 75 (15) pp. 2857-2861.
- _____ E.R. Pounder, J. Keys, D. Lindsay, W. Seifert and E. Banke, 1968. Preliminary report on the 'Ice Drift Study' in the Gulf of St. Lawrence, Winter 1968. McGill University, Marine Sciences Centre, Montreal. Unpubl. MS Report No. 4, 21 pp.
- _____ S. Smith, E.R. Pounder, J. Keys, H. Serson, E. Banke and Finlayson, 1969. Preliminary report from the McGill Ice Drift Study in the Gulf of St. Lawrence. 1969. Ibid., No 11, 18 pp.
- _____ E.R. Pounder, H. Serson, S.D. Smith, D. Finlayson, J.E. Keys, J.R. Weber and M.P. Langleben, 1970. Cruise report from the ice drift study in the Gulf of St. Lawrence. 1970. Ibid., No 15, 52 pp.
- KAMPUIS, J.W., 1969. Mathematical Model Study of the Propagation of Tides in the St. Lawrence River and Estuary. National Res. Council. Canada. No. MH-105

- _____. 1970. Mathematical Model Study of the St. Lawrence River. ASCE Hydraulics Division Special Conference M.I.T., Boston. Aug. 1968.
- LAUZIER, L.M., 1965. Drift bottle observations in Northumberland Strait, Gulf of St. Lawrence. J. Fish. Res. Bd. Canada. 22 (2): pp. 353-368.
- _____. 1967. Bottom residual drift on the Continental shelf area of the Canadian Atlantic Coast. Ibid., 24 (9): pp. 1845-1859.
- _____. and W.B. Bailey, 1957. Features of the deeper waters of the Gulf of St. Lawrence. Bull. Fish. Res. Bd. Canada. No. 111, pp. 213-250.
- _____. and J.I. Bartlett, 1961. Heat Budget Studies - Gulf of St. Lawrence. Fish. Res. Bd. Canada. Biol. Station, St. Andrews, N.B., Annual Report and Investigators summaries 1960 - 1961, pp. 217-219.
- _____. and R.G. Graham, . Computation of ice potential and heat budget in the Gulf of St. Lawrence. Fish. Res. Bd. Canada, Unpubl. MS Report (Ocean. and Limn.) Series No 11.
- _____. and R.W. Trites, . The deep waters in the Laurentian Channel. J. Fish. Res. Bd. Canada, 15 (6) 1247-1257.
- LAWRENCE, D.J., 1968. Current meter data from Cabot Strait, 1966. Atlantic Oceanog. Lab., Bed. Inst. ,Dartmouth, N.S. Canada. B.I. data Series 68-10-D
- MACGREGOR, D.G., . Currents and transport in Cabot Strait. 1956. J. Fish. Res. Bd. Canada, 13(3): pp. 435-448.
- MATHESON, K.M., 1967. The meteorological effect on ice in the Gulf of St. Lawrence. McGill University, Marine Sciences Centre, Montreal, Canada. Unpubl. MS Report No. 3, 110 pp.
- MCLELLAN, H.J., 1957. On the distinctness and origin of the Slope water off the Scotian Shelf and its easterly flow south of the Grand Banks. J. Fish. Res. Bd. Canada 14 (2): 213-239.

- MICHEL, B., 1973. Ice conditions related to winter navigation.
Kamouraska Basin - St. Lawrence River. Unpubl. MS Report.
NEPCO. 46 pp.
- MURTY, T.S. and J.D. Taylor, 1970. A numerical Calculation of the
wind-driven circulation in the Gulf of St. Lawrence. J. Oceang.
Soc. Japan. 26 (4) pp. 203-214.
- NEU, H. J. A., 1970. A study on mixing and circulation in the St. Lawrence
Estuary up to 1964. Atlantic Oceanog. Lab., Bed. Inst., Dartmouth,
N.S. Canada. Unpubl. MS Report No 70-9, 31 pp.
- PARTENSKY, H.W. and R. Vincent, 1965. Tidal characteristics of the
St. Lawrence Estuary determined by means of a linearized
approximation. Unpubl. MS Report to the N.R.C., Canada.
- _____ 1968. Tidal motion in the St. Lawrence Estuary. 10th Conf.
Coastal Engin. Tokyo, Sept. 5-8, 1966: pp. 1-6.
- _____ and J.C. Warmos, 1969. Damped oscillating tides with negative
reflection at the end of the estuary XIIIth Congr. Int. Assoc.
Hydraul. Res., Kyoto, Sept. 1969, pp. 1-9.
- _____ and B. Ngoc Va, 1971. Etude de l'effect coriolis dans
l'estuaire du St-Laurent. Rapport soumis au CNR du Canada.
- PLOEG, J. and J.W. Kampuis, 1969. Comprehensive Tidal study of the
St. Lawrence River. Coastal Engineering. pp 1421-1438.
- POUNDER, E.R., O.M. Johannessen and B.W. Wright, 1971. Ice movement in
the Gulf of St. Lawrence. XVth Assembly IUGG, Moscow, August
1971 No 16-20.
- PITCHARD, D.W., 1952. Estuarine hydrography Adv. in Geophys. Vol 1,
pp. 243-280.
- REED, A. and G. Moisan, 1971. The Spartina Tidal marshes of the
St. Lawrence Estuary and their importance to aquatic birds.
Naturaliste Canad., 98: pp. 905-922
- SANDSTROM, J.W., 1919. The hydrodynamics of the Canadian Atlantic
waters. Report Canadian Fish. Expedition, Dept. Naval Service,
pp. 221-346. Ottawa.

- SEIBERT, G.H., . Mean seal level fluctuations in the Gulf of St. Lawrence. M. Sc. thesis, McGill University, Marine Sciences Centre, Montreal, Canada.
- SEIFERT, W.J. and M.P. Langleben, 1972. Air drag coefficient and roughness length of a cover of sea ice. J. Geophys. Res. 77 (15): pp. 2708-2713.
- SMITH, S.D., E.G. Banke and O.M. Johannessen, 1970. Wind stress and turbulence over ice in the Gulf of St. Lawrence. Ibid. 75 (15): pp. 2803-2812.
- TRITES, R.W., 1963. Geostrophic flow in the Gulf of St. Lawrence. Fish. Res. Bd. Canada. Atlantic Oceanog. Group., Bed. Inst., Dartmouth, N.S. Canada. Annual Report and Investigators summaries, 1962-63, pp. 34-35.
- _____ 1970. The Gulf of St. Lawrence from a pollution view point. FAO Technical Conference on Marine Pollution and its effects on living resources & fishing. Rome, Italy, Dec. 1970, 23 pp.

BIBLIOGRAPHY (2)

- FORRESTER, W.D., 1971. Distribution of suspended oil particles following the grounding of the tanker "Arrow". J. Mar. Res. 29(2):151-170.
- LEVY, E.M., 1971. A shipboard method for the estimation of Bunker C in sea water. Paper presented to Symposium, Atlantic Section of Chemical Institute of Canada, Charlottetown, P.E.I., August 1970.
- _____ and A. Walton, 1973. Dispersed and particulate petroleum residues in the Gulf of St. Lawrence. J. Fish. Res. Bd. Canada 30 (2).
- LOUCKS, R.H. and D.J. Lawrence, 1971. Reconnaissance of an oil spill. Mar. Poll. Bull. 2:92-94.
- MANN, K.H. and J.B. Sprague, 1970. Combatting pollution on the east coast of Canada. Mar. Poll. Bull. 1(5): 75-77.
- SPRAGUE, J.B. and C.P. Ruggles, 1967. Impact of water pollution on fisheries in the Atlantic provinces. Canadian Fisheries Reports, No 9, pp. 11-15.
- STEVEN, D., 1970. International Biological Programme study of the Gulf of St. Lawrence Workshop. Bedford Institute, Dartmouth, N.S. Nov. 30 - Dec. 3, 1970.

2 APPARENCE DES INSTALLATIONS POR--

TUAIRES DE GRANDE-ILE, KAMOURASKA

2 APPARENCE DES INSTALLATIONS PORTUAIRES

DE GRANDE-ILE, KAMOURASKA

Les travaux de génie ont acquis la mauvaise réputation au cours de la révolution industrielle de XIX^e au XX^e siècle de manquer de valeur esthétique. On peut faire utile et beau; à preuve le Pont du Gard près d'Avignon en France, que tous admirent et qui est un aqueduc construit par les Romains pour des fins purement utilitaires. Il peut en être de même pour les installations portuaires et mentionnons à titre d'exemple que celles de Cap-aux-Meules, Matane et Baie-Comeau n'enlèvent rien à la beauté naturelle du paysage.

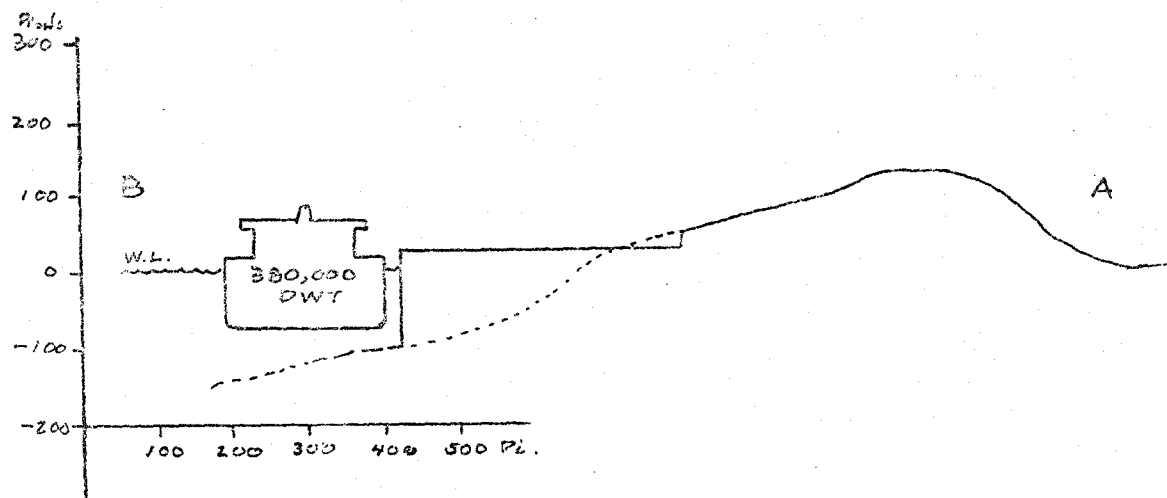
Dans le cas particulier de Grande-Ile, on peut donc prendre pour acquis que les quais et la jetée qu'on se propose de construire ne sont pas en soi des éléments préjudiciables en autant qu'on prenne les mesures nécessaires pour que l'ensemble des constructions donnent l'impression de travaux finis et d'une propreté impeccable.

Il arrive assez souvent que les travaux de génie soient élégants en soi mais que le coup d'oeil qu'ils laissent soit désagréable parceque les travaux d'aménagement ont été mal dirigés. On peut citer un cas typique, c'est celui du John McKay Bridge qui relie les villes de Halifax et Dartmouth en Nouvelle-Ecosse. Le pont lui-même est élégant et cadre assez bien dans le paysage si ce n'est qu'au cours de la construction du pont et surtout des artères routières qui y conduisent, on a procédé au dynamitage de grandes quantités de roc dans le voisinage du pont et on a dénudé des surfaces immenses de verdure, de sorte que même si le pont est élégant, l'ensemble ne donne pas un beau coup d'oeil.

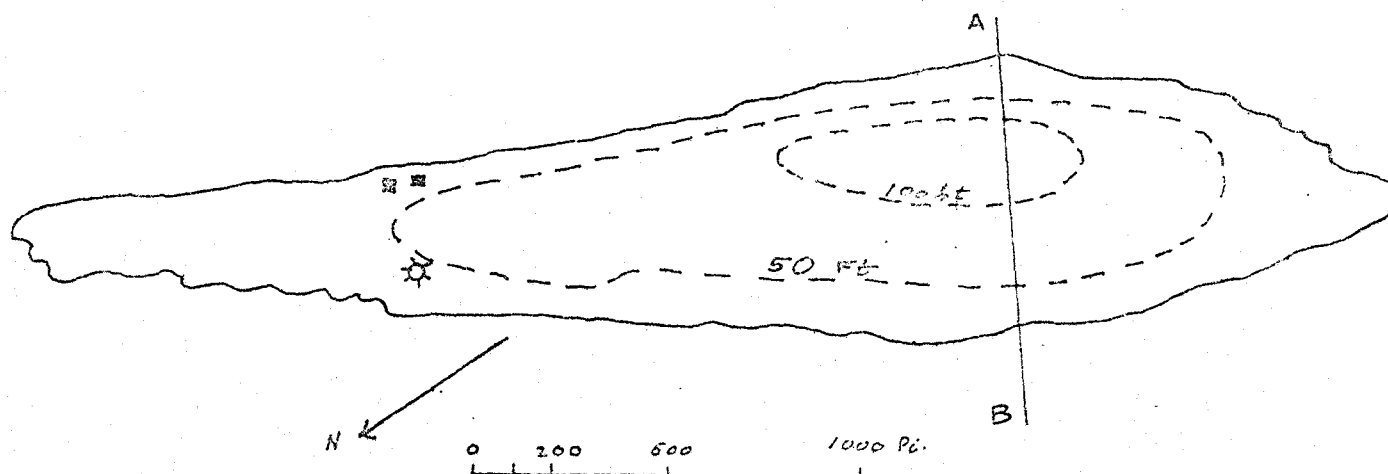
Pour ce qui concerne le projet de Grande-Ile il faudrait prévoir des modalités de construction pour la jetée et le port qui prévoient de laisser intacts les environs immédiats des chantiers de construction. Les terres agricoles

peuvent être facilement réaménagées après la construction, mais il n'en est pas de même des marais salants dont la stabilité dépend d'un équilibre délicat de la nature. Il faudra donc veiller à ce que l'activité des constructeurs se limite à l'espace qui sera éventuellement recouvert par la jetée. L'impact de la jetée sur l'environnement et sur les marais salants est discuté ailleurs. Mentionnons que l'enlèvement des marais qui pourrait résulter d'une jetée mal conçue aurait un mauvais impact visuel en plus d'être néfaste à la faune aquatique.

En tant que la construction des quais eux-mêmes est concernée nous considérons le schéma No 1 proposé par ACRES, qui propose la construction de trois quais "au fil de l'eau" au large de Grande-Ile, parceque c'est la solution que préféreraient les pilotes consultés par la compagnie ACRES. On constate sur la figure ci-jointe que les quais et les navires seraient pour la plus grande partie invisibles de la terre ferme. Pour ne pas altérer l'apparence de l'île, il suffira de planifier l'excavation du roc, soit pour créer l'espace nécessaire ou pour obtenir du matériel de remplissage, de façon à ne pas dépasser la crête de l'île. En procédant de cette façon, on ne verra pas de la terre ferme d'entaille dans le profil oblong de Grande-Ile et on pourra dire des installations portuaires qu'elles s'intègrent parfaitement au paysage paisible de la région de Kamouraska.



Section A B montrant les proportions qui existent entre un pétrolier de 380,000 D.W.T., le quai prévu sur le schéma No 1 de ACRES et Grande-Ile.



Grande-Ile. Contours topographiques transcrits de la carte topographique: St-Pascal 21N/12W.

3 PROCEDURE DE SURVEILLANCE ET

DE CONTROLE DES FUTTES D'HUILE

3 PROCEDURE DE SURVEILLANCE ET DE CONTROLE DES FUITES D'HUILE

3.1 INTRODUCTION

La surveillance, dans le cas du trafic pétrolier impliqué par un super-port, serait grandement simplifiée par télédétection. Les techniques actuelles permettent en effet de repérer la trace d'un navire déchargeant 1 gpm d'huile.

D'autre part, lorsqu'une fuite est repérée, on peut en connaître la nature, l'étendue et le volume total d'huile impliqué. De ces informations, la surface de la nappe est celle qu'on obtient le plus précisément à l'heure actuelle. Des expériences sont continuellement en cours pour en arriver à déterminer les autres sans recourir à l'échantillonnage et les mesures au sol.

3.2

SPECTRO-RADIOMETRIE

Cette méthode de détection s'appuie sur le contraste entre la lumière du soleil réfléchi par l'eau et la lumière réfléchi par l'huile.

La garde côtière américaine a mené des expériences afin d'évaluer plusieurs techniques radiométriques de détection. On compara plusieurs fréquences spécifiques de bleu et d'ultraviolet, associées à la fluorescence de l'huile.

L'intensité solaire, la distribution spectrale, la polarisation et l'angle d'incidence influencent la mesure de rayonnement effectuée par un spectro-radiomètre. Les figures suivantes illustrent les caractéristiques de la lumière solaire. La figure 22 représente la quantité de lumière directe et diffuse touchant une surface horizontale, montrant que la composante diffuse augmente avec les nuages. Il ressort qu'un meilleur contraste est obtenu par temps couvert à cause de l'augmentation de la composante diffuse. La figure 23 montre comment la distribution spectrale de la lumière solaire varie avec la position du soleil dans le ciel. Le soleil venant de différentes directions aura donc différentes distributions spectrales. La figure 24 montre que la lumière solaire dépend de l'angle d'incidence et des conditions du ciel.

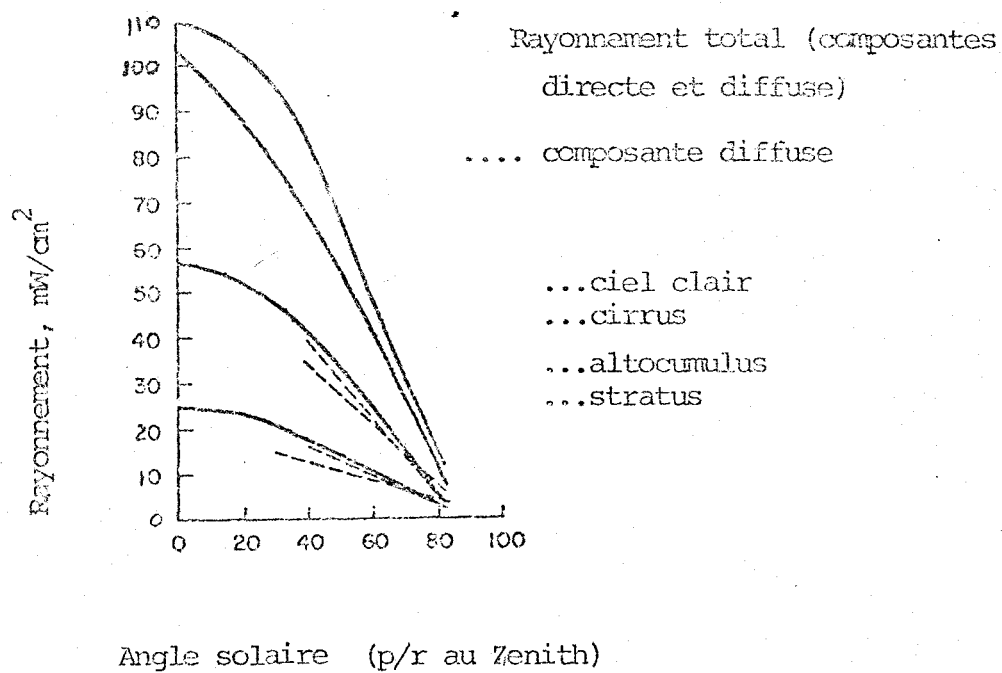


FIGURE 22: RAYONNEMENT SOLAIRE AU NIVEAU DU SOL

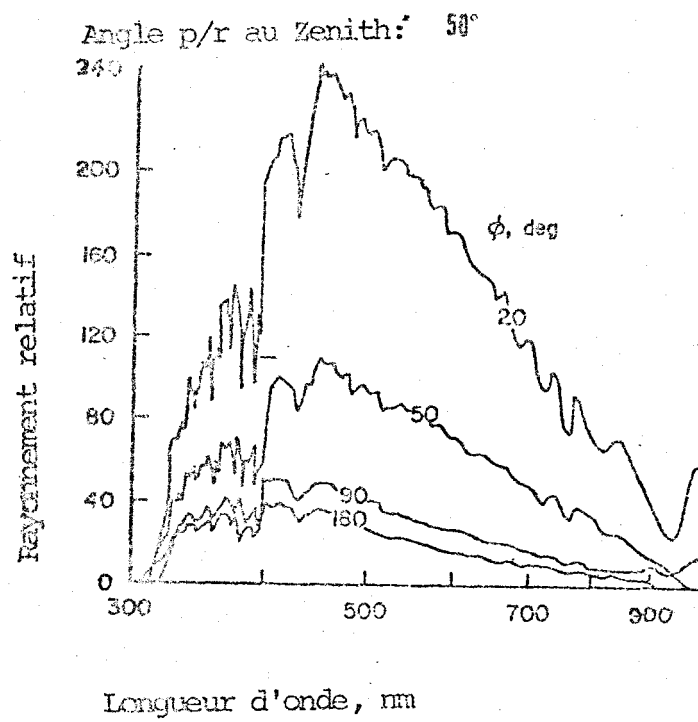


FIGURE 23: DISTRIBUTION SPECTRALE DU RAYONNEMENT DIFFUS SOUS
DIFFERENTS ANGLES

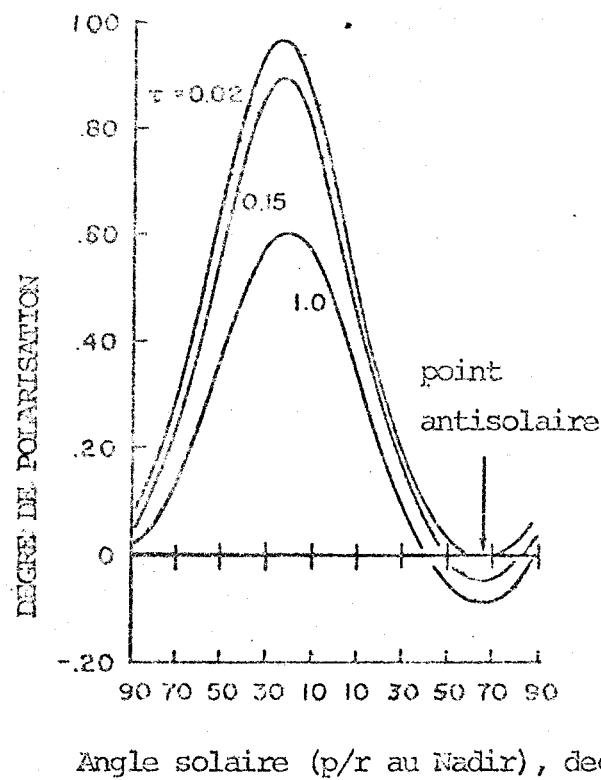


FIGURE 24: DEGRE DE POLARISATION EN FONCTION DE LA POSITION
DU SOLEIL.

Les conclusions des expériences ont été:

Le contraste maximum entre l'huile et l'eau s'obtient dans l'ultraviolet (380 nm) et le rouge (600 nm).

Le contraste minimum se situe entre 450 et 500 nm.

L'huile apparaît presque toujours plus brillante que l'eau.

Les huiles légères sont plus brillantes que les huiles lourdes.

On n'a remarqué aucune bande d'absorption permettant de distinguer une huile d'une autre.

Le plus important facteur influençant les résultats concerne les conditions du ciel. On obtient un meilleur contraste par temps couvert.

L'effet de l'état de la mer ne nécessite aucune recherche supplémentaire.

Les gradients de densité dans l'huile sont détectables qualitativement, mais des recherches supplémentaires sont nécessaires à l'obtention de résultats quantitatifs.

La polarisation est une technique prometteuse.

On devrait effectuer les études futures avec des spectroradiomètres pouvant soit balayer rapidement, soit enregistrer plusieurs longueurs d'onde simultanément.

3.3 ANALYSE MULTISPECTRALE

L'huile flottant sur la mer impressionne mal les émulsions pan-chromatiques. Le contraste entre l'huile et l'eau y est très peu élevé. Un bon contraste nécessite un angle privilégié du soleil accentuant la réflexion de l'huile. Et même ainsi, la réflexion due à l'huile est difficile à distinguer d'un éclat de soleil sur l'eau nette. Les courants en surface et les courants d'air localisés donnent une surface striée, alternativement calme et agitée, tout comme le font les nappes d'huile discontinues. La photo couleur est aussi inefficace. Le contraste entre les couleurs d'huile et d'eau est encore très bas. Sauf pour les zones où des courants visqueux et épais d'huile apparaissent gris foncé, les eaux polluées par l'huile sont gris vert, ce que l'œil accepte facilement comme une teinte normale pour la surface de la mer. Par conséquent, il est souvent impossible de dire si une photographie aérienne montre une surface complètement couverte ou complètement découverte d'huile.

Par contre, l'image de l'eau propre dans l'infrarouge est uniforme et les problèmes de contraste entre l'objet recherché et le fond n'existent pas dans ces longueurs d'onde.

A l'Université du Michigan, on a recueilli des images de fuites provoquées, dans les parties ultraviolettes, visibles et infra-

rouges du spectre électromagnétique. Les images multispectrales obtenues ont permis un regard qualitatif sur le problème de la détection de la pollution par l'huile. L'examen des images, en parallèle avec les conclusions du modèle théorique des nappes étudiées, a jeté quelque lumière sur la question de la relation entre les régions de détection thermique et ultraviolette. De plus, des résultats d'expériences en laboratoire sur la fluorescence de plusieurs huiles indiquent une possibilité d'identification des types d'huile en utilisant leur fluorescence caractéristique telle qu'indiquée à la figure 25.

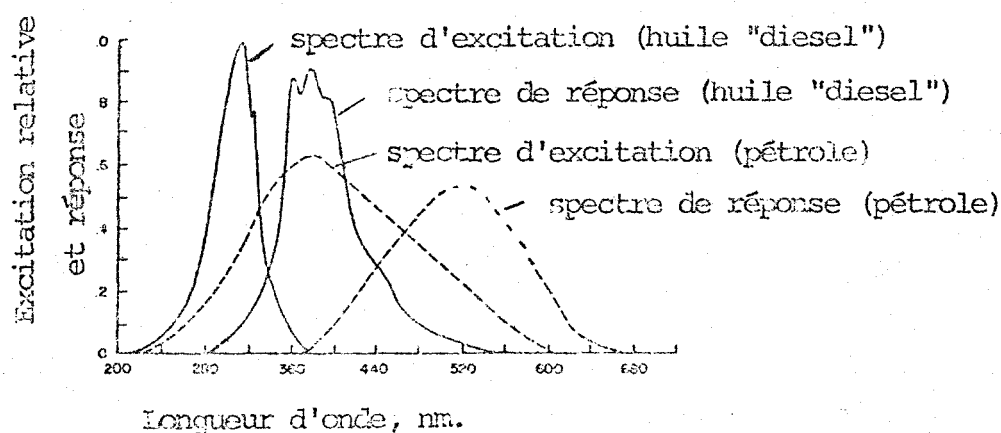


FIGURE 25: DÉTECTION ET IDENTIFICATION DES HUILES PAR FLUORESCENCE

Sur une éprouve noir et blanc d'image ultraviolette (0.32 à 0.38 nm) au moins une partie de chacun des types d'huile utilisés dans l'expérience apparaît plus brillante que l'eau et trois des huiles (pétrole 21.6 API, pétrole 26.1 API, carburant "Diesel") ont aussi des régions plus sombres que l'eau. Ce changement de contraste par rapport à l'eau est dû aux variations d'épaisseur dans la nappe. C'est aussi une fonction du type d'huile comme l'indique la figure 26.

A l'aide des indices de réfraction et des coefficients de dispersion et d'absorption mesurés en laboratoire, on a utilisé un modèle mathématique de réflexion pour l'huile sur l'eau, pour produire des valeurs de rayonnement de chacune des quatre huiles en fonction de l'épaisseur. Les résultats pour la région U.V. (0.36 - 0.38 nm) sont tracés en figure 26 avec les valeurs pour deux types d'eau. Les conditions météorologiques étaient ajustées à celles du vol réel. On voit par le graphique que dans l'UV les nappes minces devraient être plus brillantes que l'eau et que les nappes épaisses devraient être plus sombres, le point de retournement étant fonction des types d'huile et d'eau en présence. On peut expliquer ce changement de réflexion avec l'épaisseur d'une couche d'huile. Le rayonnement observé comprend deux composantes: une partie réfléchie à la surface de la couche d'huile et une partie diffuse provenant de la réflexion à l'interface huile/eau en

dessous. La lumière réfléchiée par l'huile est essentiellement constante alors que le rayonnement diffus venant de l'eau varie avec l'épaisseur de la couche d'huile. La partie diffuse est maximum pour l'eau propre mais approche zéro pour un film d'huile très épais.

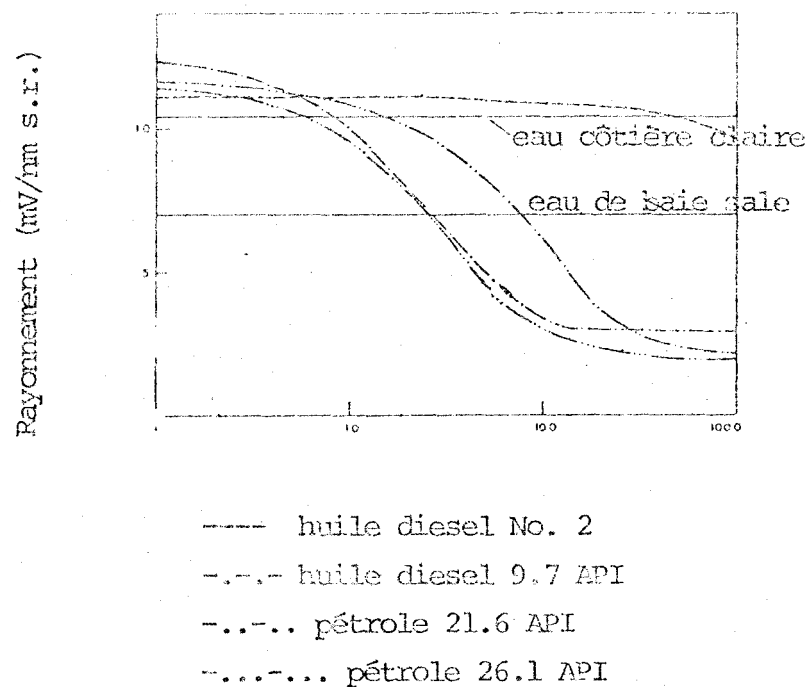


FIGURE 26: RAYONNEMENT VS EPAISSEUR

Dans la région thermique du spectre électromagnétique, on obtient des résultats intrigants. On a comparé les épreuves noir et blanc d'une image thermique et d'une image U.V. des nappes étudiées. On constate que, pour les pétroles, les régions les plus légères de l'UV n'apparaissent pas du tout dans le thermique. De plus, les régions de brillance intermédiaires dans l'UV apparaissent plus froides (i.e. plus foncées) que l'eau, alors que les régions plus foncées que l'eau dans l'UV apparaissent plus chaudes que l'eau dans la zone thermique. D'autre part, l'huile diesel semble plus froide que l'eau alors que les zones foncées ou intermédiaires dans l'UV semblent un peu plus chaudes (bien qu'elles soient plus froides) que l'eau. On doit en conclure que les variations d'épaisseur (telles qu'observées dans l'UV.) ont quelque effet sur la radiation émise, quoiqu'actuellement on puisse seulement faire des hypothèses sur la raison de cet effet. Il est possible qu'avec l'épaississement de la couche d'huile, l'évaporation des volatiles augmente, refroidissant la nappe. Cependant, lorsque la couche devient suffisamment épaisse pour absorber une quantité d'énergie significative, l'effet de refroidissement est contrecarré et on obtient une nappe chaude. L'huile diesel, hautement volatile et relativement transparente, n'atteint jamais une épaisseur suffisante pour absorber une quantité considérable d'énergie solaire; elle n'apparaît donc jamais plus

chaude que l'eau. Cependant, même dans ce cas, les portions les plus épaisses sont un peu plus chaudes que les zones d'épaisseur modérée tout autour.

Une mise en valeur par coloration densitométrique peut aider à une détermination plus marquée des différences de teinte distinguant les traînées d'huile du fond d'eau. Des valeurs sélectionnées de teinte sont accentuées alors que d'autres sont supprimées, afin d'obtenir un contraste maximum entre la teinte choisie et le fond.

Le système de lecture de film Datacolor, fabriqué par Spatial Data Systems Inc., Santa Barbara, Californie, permet une telle valorisation des images. Sur l'écran Datacolor, les zones de couleurs différentes représentent des augmentations progressives de densité correspondant à des nappes, des flaques et des traînées d'huile d'épaisseurs variées comprises entre des valeurs de densité choisies.

Datacolor représente les valeurs de densité d'une image photographique à l'aide des tensions électriques analogiques d'un signal vidéo pouvant être montré en couleur. Un convertisseur analogique-digital, opérant à très haute vitesse (20 nanosecondes) change constamment la tension analogique en valeurs discrètes bien

échelonnées. Chaque valeur individuelle, en retour, est fournie à trois convertisseurs digital-analogique, lesquels fournissent les tensions pour les tubes cathodiques rouge, vert et bleu de l'écran couleur. Les trois couleurs peuvent être mélangées sur l'écran pour produire les nuances désirées et les couleurs peuvent être changées pour assigner telle nuance à telle densité. On obtient des valeurs quantitatives de densité en incluant dans la photographie, une référence calibrée. On peut faire apparaître les différents niveaux de densité en différentes couleurs par ajustement des contrôles de couleur. La même couleur apparaîtra dans toutes les régions de l'image ayant la même densité que celle interprétée comme correspondante sur la référence. La coloration de l'image peut augmenter automatiquement la contraste objet/fond et peut réduire une variation graduelle à un nombre limité de paliers discrets. Cette mise en valeur permet de repérer toute flaque, trainée ou pellicule d'huile présentant une différence, même mineure, de densité avec le fond. Comme l'eau émet essentiellement de façon uniforme dans l'infrarouge, les films d'huile donnant une différence de teinte sur ce fond uniforme peuvent être automatiquement amplifiés et identifiés par ce procédé.

Le système Datacolor utilise aussi un planimètre digital. Ce planimètre donne la surface des portions d'une même couleur en

pourcentage de la surface totale de l'image. Un sélecteur permet à l'opérateur du système de mesurer rapidement chacune des 10 couleurs de base ou une combinaison quelconque de ces couleurs. Un voltmètre digital indique quel pourcentage de l'image est de la couleur choisie. La surface indiquée représente la fraction de l'image dont la densité est comprise entre les valeurs de deux contours: isodensimétrique, encadrant la couleur sélectionnée.

Tenant compte de la distorsion linéaire dans le balayage infrarouge, on peut calculer la surface totale de l'image. En la multipliant par le pourcentage considéré comme pollué, on obtient la surface de la nappe.

Le volume de la fuite, pour sa part, est fonction de l'estimation de l'épaisseur appliquée à la mesure de la surface concernée. Ici on doit tenir compte de l'évaporation ainsi que du fait que le polluant aperçu n'est pas du pétrole mais une émulsion de pétrole et d'eau de mer dont la concentration n'est pas nécessairement uniforme. Mais quelle que soit la méthode pour estimer l'épaisseur, la mesure de la surface est requise pour estimer le volume.

En bref, un système de télédétection fonctionnel devrait comprendre:

- des vols réguliers avec enregistrement d'images multi-spectrales;

- la mise en valeur de ces images par coloration densitométrique et
- une lecture au planimètre digital de toutes des surfaces de teintes choisies.

Les images enregistrées dans l'UV ou l'infrarouge peuvent donner la surface de la nappe. Les images enregistrées dans l'UV et le thermique peuvent donner l'épaisseur de la nappe. Quant à la nature de cette nappe, il semble que le spectre de fluorescence peut nous la révéler. Cependant, cette méthode est limitée au temps clair et par ciel dégagé.

3.4 RADAR

Le laboratoire de recherches navales de la garde côtière américaine, utilisant les avions EC-121 équipées du système de radar à quatre fréquences doublement polarisées NRL, a participé à des tests sur les fuites d'huile.

Le système 4 FR est constitué de 4 radars cohérents aux impulsions différentes transmettant dans la bande P/UHF (428 MHz), la bande L (1228 MHz), la bande C (4455 MHz) et la bande X (8910 MHz) avec une puissance de pointe d'environ 25 Kw. Chaque transmetteur est conçu pour opérer avec 2 antennes, l'une polarisée horizontalement, l'autre verticalement, soit séparément, soit sur impulsions en succession

rapide fournissant un total de 8 combinaisons de fréquence de polarisation différentes.

Bien qu'il y ait 8 émissions différentes provenant du système 4 FR, il y a 16 combinaisons de fréquence de polarisation différentes au retour. C'est que la surface inégale de la mer agit comme un dépolariseur: une partie polarisée verticalement retourne horizontalement et vice versa. Chaque retour de signal a son amplitude et sa phase. La production d'une image synthétique par radar (Synthetic Aperature Radar, (SAR)), toutefois, ne requiert que la phase de retour. La donnée sur la phase est enregistrée sur film à partir d'un tube cathodique, pour des opérations optiques subséquentes par lesquelles on reconstitue les images SAR. Les expériences effectuées avec le radar à 4 bandes de fréquence indiquent qu'on peut dresser la carte des nappes d'huile en polarisation verticale alors que la polarisation horizontale est inadéquate. En polarisation verticale (VV), la présence d'huile sur l'image synthétique est représentée par une surface noire, non réfléchissante. Ceci peut être attribuable au fait que dans les surfaces huilées, les vaguelettes requises pour la dispersion arrière sont éliminées. La polarisation horizontale (HH) et les composantes de polarisation croisée ne donnent pas d'indication sur l'huile. Cette absence de détection d'huile par la polarisation horizontale et les composantes croisées n'est pas caractéristique des nappes d'huile comme on pourrait le penser, mais plutôt une caractéristique

des surfaces légèrement rudes vues sous des angles faibles; sous ces conditions, la coupe transversale radar (RCS) polarisée horizontalement est plus petite (6-20 dB) que la coupe verticalement polarisée, et la coupe à polarisation croisée est encore plus petite.

L'usage du radar pour localiser et suivre la contamination de la surface de la mer par l'huile présente l'avantage de couvrir rapidement de larges surfaces avec une bonne résolution sous des conditions de température défavorables.

3.5 CONCLUSION

La télédétection fournit, ou fournira, des méthodes simples, reproductibles, précises et automatiques pour évaluer la surface affectée par une fuite d'huile, la concentration de polluant dans l'aire affectée, la nature et la quantité de polluant impliquée.

La détection étant prérequis au contrôle, au nettoyage, aux sanctions, bref à tout ce qu'implique le mot fuite, aucune méthode ne doit être négligée.

3.6 BIBLIOGRAPHIE

ESTES, J.E. et COLONB, B., Oil Spills: Method for Measuring their
Extent on the Sea Surface. Science, vol. 169, 676 (1970)

4 Implantation d'un réseau d'acquisition
des données de qualité

4 IMPLANTATION D'UN RESEAU D'ACQUISITION DES DONNEES DE QUALITE (Pollution par le super-port)

4.1 PROBLEMATIQUE

Dans l'optique où l'on désire évaluer l'impact, sur les eaux du fleuve Saint-Laurent, consécutif aux pertes qui découleront des opérations normales du super-port, nous avons considéré l'implantation d'un réseau d'acquisition de données de la qualité.

Ce réseau devra donc permettre d'évaluer la qualité actuelle de ces eaux et de suivre leur évolution à partir du moment où débiteront les activités portuaires.

Les connaissances actuelles de la région susceptible d'être influencée étant limitées, on ne peut établir a priori un réseau d'acquisition de données qui permettrait à coup sur d'atteindre l'objectif fixé. Pour décrire le réseau définitif, il faudra donc augmenter les connaissances spécialement dans le domaine des courants, des phénomènes de mélange eaux salées-eaux douces, de la sédimentologie, de la chimie de ces eaux et, en général, de l'écologie de cette région.

Ces considérations nous amènent à recommander l'installation du réseau d'acquisition de données de la qualité en deux étapes. La première de ces étapes aura pour objectif d'établir la qualité physique, chimique et biologique du milieu. La seconde consistera à rationaliser le réseau à partir des données et de l'expérience acquises. On pourra alors orienter le réseau, avec beaucoup plus de discernement, vers la recherche de l'impact du port.

La première étape vise surtout la description de la zone d'impact. Elle fait également appel à une interprétation des résultats par rapport à l'impact possible du port. On pourra donc déjà, recommander des aménagements précis ou des modes d'exploitation particuliers du port pour diminuer l'impact éventuel.

La seconde étape permettra de confirmer les prédictions de la première et rendra nécessaire une interprétation approfondie des résultats de façon à initier le plus rapidement possible des mesures correctives pour minimiser les dommages à l'environnement naturel.

L'installation d'un réseau d'acquisition de données de qualité ne correspond donc pas uniquement à la localisation de station d'échantillonnage, au prélèvement et à l'analyse d'un certain nombre d'échantillons. Il faut prévoir l'interprétation continue des résultats obtenus par rapport aux différents impacts possibles, et surtout il faut s'assurer que ce travail débouche vraiment sur des recommandations claires et réalisables qui permettront d'épargner l'environnement.

Il est à noter, que ce réseau ne dédouble pas et, en conséquence, ne peut se substituer à l'observation aérienne du fleuve. Même avec toute l'efficacité technique que l'on pourrait lui donner, ce réseau ne pourrait pas permettre de suivre de près l'évolution de la situation résultante d'un accident quelconque; son temps de réponse serait beaucoup plus grand. Par contre, si de tels accidents devaient se produire il permettra d'en évaluer l'impact à long terme.

4.2 DESCRIPTION DU RESEAU

4.2.1 Première étape (2 ans minimum)

En première étape nous recommandons qu'un réseau intérimaire d'acquisition des données soit installé au plus tôt dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent de Rivière-du-Loup à Gaspé. Le secteur couvert par ce réseau comprend deux milieux différents: les berges et les deux chenaux principaux. Le premier secteur est, en fait, morcelé en plusieurs sous-secteurs qui englobent les rives du Saint-Laurent et celles de nombreuses îles. Une centaine de stations d'échantillonnage seront localisées, sous forme de grille, dans le premier secteur. Ce nombre n'est cité que pour donner un ordre de grandeur, il pourra être précisé par l'équipe qui s'occupera du réseau. La répartition des stations sera comme suit:

50% sur la rive sud, 30% autour des îles et 10% sur la rive nord. Cette répartition origine du fait que dans les conditions prédominantes les eaux du fleuve s'écoulent en longeant la rive sud de l'estuaire. Un nombre équivalent de stations seront localisées de façon homogène dans le fleuve et l'estuaire. Ces stations seront toutes visitées deux fois au cours du premier été. Par la suite, un certain nombre d'entre elles seront retenues comme station-indice et seront visitées douze fois par année.

Parallèlement à ces travaux une étude hydrodynamique devra être entreprise. Puisque la marée, la faible profondeur et les vents variables rendent très aléatoires les courants dans cette région, nous suggérons que l'on se limite à l'étude des tendances générales. Ce travail peut se faire en libérant des dériveurs de fond et de surface au site projeté, en monitorisant leur déplacement au cours d'un cycle de marée et en initiant au programme de récupération de ces dériveurs.

De plus sur le plan biologique, nous suggérons que durant cette première étape l'on réunissent les compétences qui travaillent déjà sur les différentes espèces de poissons et d'invertébrés qui habitent ces eaux. On pourra alors établir les données de bases manquantes et initier les inventaires correspondants.

4.2.2 Seconde étape

Après deux ans on procédera à la rationalisation et à la coordination des efforts des différentes études sectorielles en:

- hydrologie,
- chimie des eaux naturelles,
- biologie.

Son objectif sera de définir une méthode propre à monitoriser l'impact des opérations portuaires sur la qualité du milieu, et d'identifier les

éléments de solution propres à minimiser cet impact. Ce travail fait appel évidemment à l'interprétation des données acquises, et aussi à la participation de spécialistes de formation très diverses pour identifier les solutions aux problèmes posés.

On pourra alors rationaliser le choix des stations, les modes d'échantillonnage et d'analyses ainsi que développer des programmes d'études biologiques à long terme.

4.3 DESCRIPTION DE L'ECHANTILLONNAGE D'UN SITE

Cette procédure d'échantillonnage concerne l'eau, les sédiments en suspension et le fond. En ce qui a trait aux paramètres biologiques, comme nous le suggérons plus haut, on devra consulter les experts ayant de l'expérience dans ce milieu avant de pouvoir décrire les inventaires appropriés. Elle ne vaut évidemment que pour la première étape, et elle pourra être modifiée tel que mentionné plus haut.

A chacun des prélèvements sur un site donné, on procédera d'abord à l'établissement d'un profil vertical de la conductivité, de la température et de la turbidité. On prélèvera par la suite des échantillons d'eau en surface (0 à 1 cm), au maximum de conductivité, au minimum de conductivité et au fond. Parallèlement, lg de sédiments sera prélevé aux mêmes profondeurs à l'aide d'une pompe couplée à une centrifugeuse.

Les analyses chimiques suivantes seront réalisées en laboratoire sur les sédiments et sur l'eau filtrée (0.45μ):

- les hydrocarbures par la méthode infra-rouge et par chromatographie en phase gazeuse,
- le nickel et le vanadium par absorption atomique.

Ces éléments sont évidemment les plus susceptibles d'être influencés par les opérations portuaires. Si on se limite aux objectifs poursuivis il n'y a pas

lieu, en première étape, de pousser plus loin les analyses. Toutefois, les coûts associés à l'opération de ce réseau étant principalement dévolu à l'échantillonnage lui-même, il serait logique de pousser les analyses plus loin. Aussi, il serait bienvenue, dans le cadre de ce réseau, de mettre à la disposition des chercheurs de d'autres laboratoires les échantillons qu'ils pourraient désirer. Le rendement du réseau ne pourrait qu'en être amélioré et cela pourrait permettre de gagner rapidement des connaissances sur la chimie des eaux de l'estuaire.

5 Méthode d'évaluation de l'impact des opérations

portuaires nominales sur la qualité des eaux du

fleuve

5 METHODE D'EVALUATION DE L'IMPACT DES OPERATIONS PORTUAIRES NOMINALES SUR LA QUALITE DES EAUX DU FLEUVE

La planification rationnelle de la surveillance des opérations portuaires, animée par le souci de préserver la qualité de l'environnement aquatique, ou de la restaurer avant que se manifeste un état critique dans un ou plusieurs des écosystèmes associés, débouche sur la mise en opération d'un réseau d'acquisition de données physiques, physico-chimiques, biologiques et sociales.

Les paramètres pouvant servir à décrire le comportement du système port-fleuve sont multiples; il faut intervenir une foule de connaissances acquises et non-acquises sur le secteur aérien (vents, bourasques, humidité relative, température de l'air, turbulence, ensoleillement) le secteur aquatique (hydrodynamique, caractéristiques physiques, physico-chimiques, biologiques) et le secteur socio-économique (économie régionale, tourisme, perspectives, perspectives de développement et gestion politique des ressources).

5.1 IMPLANTATION DU RESEAU D'ACQUISITION DE DONNEES

La méthodologie proposée d'implantation du réseau repose sur les objectifs suivants:

- Evaluation préalable de la qualité des eaux qui viennent en contact avec la région portuaire sur leur parcours et sur des distances déterminées par la persistance des polluants libérés dans les opérations de déchargement, de storage et d'acheminement du pétrole brut.
- Evaluation continue de la qualité de ces eaux sur l'ensemble de leur parcours pendant la construction du port et de ses dépendances.
- Evaluation continue de la qualité de ces eaux après l'amorce des opérations portuaires.

- Evaluation de l'impact sur les écosystèmes aquatiques.
- Identification rapide des états critiques et développement de méthodes d'intervention adéquates en vue de restaurer la qualité de l'environnement.

On ne saurait trop insister sur l'importance du choix des stations permanentes et de leur intégration à des modèles pouvant décrire le comportement des masses d'eau et des huiles qui y sont associées; or, dans l'état actuel des connaissances sur les différents secteurs nécessaire à l'établissement du choix, toute procédure y étant rattaché serait démunie de sens et conduirait à des interprétations erronées des processus d'impact des huiles brutes sur l'environnement aquatique.

En conséquence nous croyons qu'il serait nécessaire de procéder à une implantation progressive du réseau.

5.1.1 Simulation des pertes dans les opérations portuaires

A l'aide de dériveurs de surface et de fond, et autres accessoires de mesure d'écoulement des fluides, il est possible de simuler le comportement des nappes d'huiles ainsi qu'évaluer le comportement hydrodynamique des masses d'eau qui viennent en contact avec la région portuaire; la mise en eau des dériveurs sera faite de façon à simuler, par différentes conditions météorologiques et en différentes saisons, un écoulement massif d'huile, et de façon à simuler des pertes continues. Deux années d'opération devraient normalement être envisagées avant de s'arrêter sur un choix définitif des stations fixes.

5.1.2 Description de l'environnement susceptibles d'être affectées par les opérations portuaires

Un inventaire de la faune et de la flore régionale ainsi que des ressources piscicoles d'intérêt commercial de l'estuaire devraient être entrepris

simultanément à la simulation des pertes associées aux opérations portuaires; l'interprétation des résultats obtenus de la simulation permettra de détailler, dans les régions critiques, l'inventaire déjà entrepris et d'identifier les organismes susceptibles de servir d'indicateur de la qualité du milieu. Une description détaillée de la morphologie des fonds et des berges et l'analyse de l'utilisation du territoire régional fournira des renseignements nécessaires à l'établissement de zones prioritaires où une surveillance plus intense se traduira par une augmentation de la densité des stations fixes et/ou de la fréquence de l'échantillonnage.

5.1.3 Evaluation de la qualité des eaux dans la région portuaire

Un certain nombre de stations d'échantillonnage fixe dans un rayon de 1 mille du site projeté pour le port servira à l'évaluation mensuelle de la qualité des eaux en contact avec la région portuaire (12, distribuée sur un cercle d'un mille de rayon). Les résultats obtenus sur la qualité de l'eau, des sédiments en suspensions, et des sédiments de fond ainsi que ceux obtenus des dériveurs de surface et de fond permettront probablement de fixer un nombre plus restreint de stations permanentes représentative du milieu. Les résultats obtenus et le maintien en service des stations permanentes serviront ultérieurement à évaluer l'impact de la construction du port et des opérations portuaires dans les eaux avoisinantes.

5.1.4 Choix des stations fixes

Intégrant les connaissances développées dans la première étape sur le comportement des masses d'eau aux données recueillies sur les courants et marées locales, sur les conditions météorologiques, sur la bathymétrie, la morphologie des fonds en eau peu profonde et profonde, sur la morphologie des berges, et respectant les zones prioritaires il sera possible de déterminer l'emplacement de stations permanentes susceptibles, en tout temps de témoigner de la qualité du milieu. Ces stations dites permanentes devraient entrer en opération un an au minimum avant le début des opérations portuaires.

5.1.5 Echantillonnage complémentaires

Les stations d'échantillonnage complémentaires viendront, en période critique, augmenter la résolution du réseau, ou corriger ses défaillances probables dues à la faillibilité de la courte série historique qui aura servi à l'établir; de plus, elle pourront se transformer en stations permanentes en cas de crise. Au fur et à mesure que les connaissances du comportement des huiles dans le fleuve, dans l'estuaire et même dans le golfe s'amélioreront un échantillonnage complémentaire adaptable à la situation réelle permettra d'augmenter l'efficacité de la surveillance du réseau permanent.

L'amorce d'un échantillonnage complémentaire et la description de sa méthodologie ne peuvent être anticipées; elle sera adaptable à la situation qui surviendra et qui pourra être identifiée par l'intégration de l'information obtenue de la surveillance aérienne (Photo aérienne multispectrale), de la surveillance du réseau permanent, de la surveillance de la qualité des produits comestibles en provenance de l'estuaire ou du golfe et de la surveillance des plages. L'initiative du déclenchement des opérations de surveillance complémentaire doit être considérée comme fondamentale et confiée à un scientifique responsable; il décidera à partir de l'expérience acquise des procédures d'échantillonnage et d'analyse et verra à interpréter dans les plus bref délais les informations qu'il aura su obtenir dans sa démarche.

La figure 27 présente le schéma proposé du mode d'implantation du réseau d'acquisition de données de qualité.

5.2 MODE D'ECHANTILLONNAGE

La méthodologie de l'échantillonnage (fréquence et paramètre à mesurer) doit servir les objectifs identifiés dans la section précédente; en particulier, elle doit permettre d'évaluer la qualité générale du milieu sans être handicapée par une série de relevés de paramètres physiques, physico chimiques et biologiques difficile à interpréter. Cette restriction rend difficile l'identification de paramètres qui renseignent simultanément sur la qualité générale

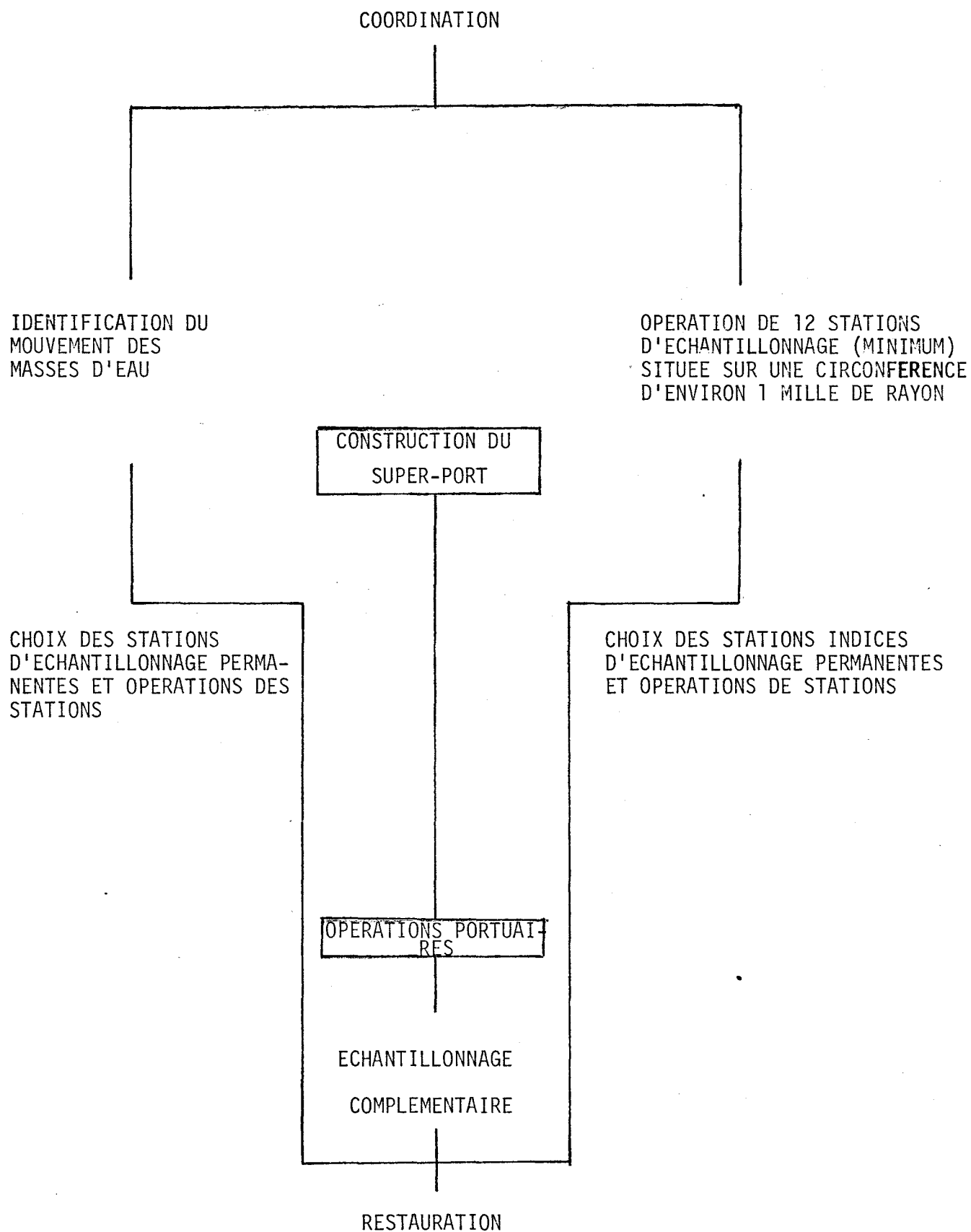


Figure 27: Schéma décrivant la méthodologie de l'implantation du réseau

du milieu aquatique et sur les conditions physiques, physico-chimiques et biologiques qui prévaudront dans les zones détériorées où il faudra intervenir pour les restaurer de la façon la plus adéquate possible.

Le choix des paramètres est donc conditionné par le besoin d'information sur l'état du milieu et sur l'optimisation du processus d'intervention en vue de restaurer le milieu. Les paramètres physiques tel que la température, la conductivité, le pH, les solides en suspension, les paramètres physico-chimiques tel que les ions majeurs (Na, K, Mg, Ca, Cl, SO_4) les substances traces (le vanadium, le nickel et le soufre), la concentration en huile, en composé aromatiques ou en phénol ainsi que les paramètres biologiques tel que la microflore totale, l'accumulation en hydrocarbure dans la chaîne trophique sont tous susceptible de renseigner sur la qualité du milieu.

Nous proposons de visiter mensuellement les stations permanentes, de mesurer ou d'analyser sur des échantillons pris en surface (0.5 cm de la surface), en profondeur intermédiaire (à l'interface de 2 zones distinctes où, le gradient thermique est maximum ou le gradient de conductivité est maximum) et en profondeur maximale (à l'interface eau-fond), les paramètres suivants:

paramètres physiques:

- vitesse et direction du courant;
- température;
- pH;
- conductivité;
- les solides en suspensions;

paramètres physico-chimiques:

- Na, K,;
- Ca, Mg,;
- Cl, SO_4 ,

- V, Ni, S,
- hydrocarbure total (en suspension et associé aux sédiments en suspension ou aux sédiments de fond);
- phénols.

De plus, nous suggérons que des échantillons en provenance des pêches commerciales ou des pêches sportives soient analysées afin d'évaluer leur teneur en hydrocarbure et en phénol; une autopsie devrait être pratiquée sur tous les oiseaux aquatiques trouvés morts ou mourants lors de l'inspection des berges afin d'identifier la cause de la mort.