

Record Number: 310
Author, Monographic: Couillard, D.//Drapeau, G.//Roy, L. P.//Slivitzky, M.
Author Role:
Title, Monographic: Impact sur l'environnement du projet oléoduc et super-port Saint-Laurent. Tome IV :
évaluation de l'impact écologique du projet
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: 174
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche
Series Volume ID: 31
Location/URL:
ISBN: 2-89146-037-5
Notes: Rapport annuel 1973-1974
Abstract: Rapport rédigé pour Acres Consulting Services Ltd
25.00\$
Call Number: R000031
Keywords: rapport/ ok/ dl

Impact sur l'environnement du projet
oléoduc et super-port Saint-Laurent.

Tome IV:
évaluation de l'impact écologique
du projet

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

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 31
1973

Rapport rédigé pour
Acres Consulting Services Limited

par

D. Couillard, G. Drapeau, L.P. Roy, M. Slivitzky

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

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 31
1973

Rapport rédigé pour
Acres Consulting Services Limited

Impact sur l'environnement du projet
oléoduc et super-port Saint-Laurent.

Tome IV:
évaluation de l'impact écologique
du projet

par

D. Couillard, G. Drapeau, L.P. Roy, M. Slivitzky

Impact sur l'environnement du projet
oléoduc et super-port Saint-Laurent.

Tome IV:
évaluation de l'impact écologique
du projet

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

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 31
1973

Rapport rédigé pour
Acres Consulting Services Limited

par

D. Couillard, G. Drapeau, L.P. Roy, M. Slivitzky

ISBN 2-89146-037-5

DEPOT LEGAL 1973

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

© 1973 - Institut national de la recherche scientifique

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier bien sincèrement les personnes suivantes:

- M.I. El-Sabh et A. Nadeau de l'INRS-Océanologie; B. Coupal de l'Université de Sherbrooke; A. Caillé, M. Pedneault et J.L. Sasseville de l'INRS-Eau, pour leur aide apportée à la rédaction de ce rapport;
- Danielle Plante pour sa participation intéressée à la dactylographie de ce texte;
- Magella Cantin, du Centre de Documentation de l'INRS-Eau, pour le support apporté à l'impression et à la reliure de ce rapport.

TABLE DES MATIERES

	Page	
1	Introduction	1
1.1	Le problème	2
1.2	Evaluation des conséquences	6
1.2.1	Effets sur les oiseaux	6
1.2.2	Effets sur les poissons et les organismes aquatiques	7
1.2.3	Effets sur la flore aquatique	14
1.2.3.1	Décharges successives	16
1.2.3.2	Décharges continues	16
1.2.4	Effets sur les plages et les côtes	17
1.2.5	Effets sur les sédiments de fond	18
1.2.6	Effets sur l'oxygène dissous dans l'eau	19
1.2.7	Effets sur l'homme et les animaux à sang chaud	21
1.2.8	Effets sur les approvisionnements en eau	23
1.3	Références bibliographiques	26
2	Evaluation de l'impact écologique du port et des super-pétroliers	31
2.1	Introduction	32
2.2	La présence d'huile et le milieu marin	33
2.3	L'effet du port	34
2.4	L'impact sur l'environnement le long de la route maritime	39
2.5	Zones spéciales à préserver	45

	Page	
2.6	Implantation d'un réseau de surveillance de l'impact écologique	48
2.6.1	Problématique	48
2.6.2	Description du réseau	51
2.6.2.1	Simulation des pertes dans les opérations portuaires	52
2.6.2.2	Description de l'environnement susceptible d'être affecté par les opérations portuaires	52
2.6.2.3	Evaluation de la qualité des eaux dans la région portuaire	53
2.6.2.4	Choix des stations fixes	54
2.6.2.5	Echantillonnage complémentaire	54
2.6.3	Description de l'échantillonnage du site	56
2.7	Conclusion	59
3	Evaluation de l'impact dû à la construction du port	61
3.1	Minimisation de l'impact lors de la construction	62
3.1.1	Présence de l'homme	62
3.1.2	Les matériaux	62
3.1.3	Bruit et onde de chocs	65
3.2	Effets du port et de la jetée sur l'environnement	65
3.3	Aspects esthétiques des installations portuaires à Grande-Ile, Kamouraska	67
3.4	Référence bibliographique	71
4	Mesures pour la prévention des fuites d'huile	72

	Page
4.1 Mesures sur le plan technique	73
4.2 Prévention des accidents	77
4.2.1 Causes des fuites	78
4.2.2 Mesures possibles	78
4.2.2.1 Défauts de conception	78
4.2.2.2 Défaillances mécaniques	79
4.2.2.3 Fuites durant les transbordements	79
4.2.2.4 Erreurs humaines	80
4.2.2.5 Décharges illégales	81
4.3 Aménagement du port et des aides à la navigation	81
4.3.1 Préliminaires	81
4.3.2 Accostage dans des conditions difficiles	81
4.3.3 Mesures de contrôle des pertes de pétrole au cours du transbordement	83 85
4.3.4 Aides à la navigation	85
4.4 Références bibliographiques	90
5 Mesures d'urgence	92
5.1 Introduction	93
5.2 Le comportement des nappes d'huile entre Grande-Ile et le détroit de Cabot	95
5.2.1 Préliminaires	95
5.2.2 Le comportement des nappes d'huile près de Grande-Ile	96

	Page
5.2.3 Les courants de l'estuaire et du golfe Saint-Laurent	100
5.3 Procédure de surveillance et de contrôle des fuites	111
5.3.1 Préliminaires	111
5.3.2 Télédétection	112
5.3.3 Description de techniques de télédétection	114
5.3.3.1 Spectro-radiométrie	114
5.3.3.2 Analyse multispectrale	120
5.3.3.3 Radar	130
5.3.4 Traitement des images	132
5.3.5 Instruments	133
5.3.6 Identification des nappes	134
5.4 Retenue des nappes d'huile	134
5.4.1 Préliminaires	134
5.4.2 Considérations théoriques	135
5.4.3 Considérations pratiques	137
5.4.4 Agents regroupants	140
5.4.5 Mouvement des nappes d'huile	141
5.5 Récupération	145
5.5.1 Préliminaires	145
5.5.2 Choix de l'absorbant	146
5.5.3 Epandage	150
5.5.4 Récupération mécanique du mélange	153

	Page
5.5.5 Séparation de l'huile et de l'absorbant	153
5.5.6 Destruction de l'absorbant	155
5.5.7 Combustion	155
5.5.8 Dispersants	156
5.6 Plan d'action pour combattre la pollution générée par un déversement d'huile	158
5.6.1 Localisation des nappes	158
5.6.2 Types d'huile	159
5.6.3 Diques flottantes	159
5.6.4 Récupération	159
5.6.5 Autres méthodes	160
5.6.6 Dimensions des nappes	160
5.7 Références bibliographiques	167

LISTE DES TABLEAUX

	Page
2.1 Prises d'anguilles dans le district de Kamouraska	38
4.1 Résumé de 1416 accidents sur une période de deux ans (1969 - 1970)	86
5.1 Apparence de l'huile sur l'eau	94
5.2 Capacité d'absorption pour l'huile	147
5.3 Tourbe nécessaire pour enlever 100 gms d'huile d'une nappe de 1/16" d'épaisseur	148
5.4 Capacité d'absorption de la tourbe et de la perlite	149
5.5 Critères de sélection des absorbants	152
5.6 Caractéristiques des étendeurs de tourbe	154
5.7 Plan d'action en haute mer	161
5.8 Plan d'action en eau calme	162
5.9 Plan d'action sur les rivages	163
5.10 Plan d'action sur la glace (près des rivages)	164

LISTES DES FIGURES

	Page
2.1 Schéma décrivant la méthodologie de l'implantation du réseau	57
3.1 Apparence d'un port pour super-pétroliers à Grande-Ile, Kamou- raska	70
4.1 Schéma qui montre le fonctionnement du réseau de radar sur le fleuve Elbe	89
5.1 Graphique indiquant le mouvement des nappes d'huile dans l'es- tuaire du Saint-Laurent près de l'Ile-aux-Lièvres et de l'Ile Verte	98
5.2 Vitesses des courants dans le détroit de Cabot	102
5.3 Vitesses des courants dans l'estuaire du Saint-Laurent	104
5.4 L'ensemble des courants de surface dans le golfe Saint-Laurent pendant l'été	106
5.5 L'ensemble des courants de surface dans le golfe Saint-Laurent pendant l'automne	107
5.6 L'aire des courants géostrophiques de surface dans le golfe Saint-Laurent	109
5.7 Rayonnement solaire au niveau du sol	116
5.8 Distribution spectrale du rayonnement diffus sous différents angles	117
5.9 Degré de polarisation en fonction de la position du soleil	118
5.10 Détection et identification des huiles par fluorescence	122

	Page
5.11 Rayonnement vs épaisseur d'une nappe d'huile	124
5.12 Exemple d'application pour le calcul des mouvements des nappes d'huile	144
5.13 Pouvoir absorbant de la tourbe à 70°F en fonction de la viscosité de l'huile	151

1. INTRODUCTION

1. INTRODUCTION

1.1 Le problème

La pollution d'une nappe d'eau par l'huile qui, très souvent, provient d'un écoulement à partir d'une barge ou d'un bateau, peut affecter fortement l'économie de la région polluée. Ces fuites sont provoquées par des accidents ou par la négligence dans la manipulation de l'huile brute lors du transport et des transbordements.

Le manque d'information sur la perte en dollars associée à la pollution par l'huile est un problème et il est urgent de traduire en terme économique les effets négatifs de la pollution. Lorsqu'on aura chiffré le coût des pertes, la communauté pourra alors faire la part des choses entre la valeur relative associée à la diminution de l'environnement et les avantages fournis par le pétrole. Cette évaluation est particulièrement urgente, si on se rappelle bien, au cours du siècle dernier l'huile a fourni une proportion toujours plus grande d'une demande d'énergie s'accroissant rapidement. En particulier, en Europe et au Royaume-Uni, le gaz naturel et l'énergie nucléaire contribuent à satisfaire à la demande totale d'énergie. Par contre, la consommation de charbon diminue et celle de l'huile continue de doubler à chaque décade (International Water Supply Congress, 1964).

Ceci s'applique aussi au Québec, puisque d'après le rapport "Les Objectifs d'une Politique Québécoise de l'Energie" (Gouvernement du Québec, 1972), les importations de pétrole brut ont augmenté en moyenne de 5 à 6%. En fait, tous les produits pétroliers sont obtenus en important le pétrole brut et en l'acheminant par train, par oléoduc et finalement dans la plupart des cas, par camion citerne. Présentement, rien n'indique un relâchement de la demande d'huile et les réserves connues et découvertes continuent à suivre la demande croissante.

Après la dernière guerre mondiale, on favorise de plus en plus l'idée de raffiner le pétrole brut dans les pays consommateurs plutôt que dans le pays producteur. Cette prise de position a pour effet d'augmenter considérablement le nombre de cargos malpropres, et dès lors, la possibilité de polluer les mers. Cependant, l'avènement du super-pétrolier réduit le nombre de voyages et tend à compenser cet effet.

L'avènement du super-pétrolier a joué un rôle important en réduisant la distance totale parcourue, les risques de collisions ou d'autres accidents en mer et le nombre de remplissage et de vidange. Mais ceci n'est vrai que dans le cas où l'accroissement du volume utile des navires aurait été accompagné d'une diminution du nombre de ces navires. Tel n'est pas le cas; la situation actuelle est que non seulement le nombre de pétroliers en usage a aug-

menté de 20% pour 7 ans (Gouvernement du Québec, 1972), mais leur volume utile a augmenté aussi. Il y aurait définitivement une augmentation dans les possibilités de collisions ou d'accidents entre pétroliers et aussi une augmentation du risque de pertes d'huile lors des remplissages et des décharges.

Toutefois, il faut se rappeler que les super-pétroliers possèdent plusieurs réservoirs de dimensions plus réduites. En effet, un sous-comité consultatif de l'Organisation Intergouvernementale Maritime (IMCO - Intergovernmental Maritime Consultative Organisation) se réunissait, au mois de mars 1971, pour étudier la conception et l'équipement des navires et a développé une proposition pour limiter les dimensions des réservoirs dans les futurs pétroliers afin de minimiser l'écoulement d'huile en cas de collisions ou d'échouement. Ce sous-comité a tenté d'allouer aux constructeurs le maximum de liberté pour l'installation de mesures préventives comme les doubles fonds et les doubles parois. On a supposé des dommages normaux aux coques des navires pour des collisions et des échouements et on a évalué le volume des réservoirs. Pour un navire avec une coque à parois étanches, une collision enfonçant le flanc entre deux réservoirs, laissera échapper toute l'huile. De même, on a évalué que lorsqu'un échouement ouvre le fond d'un navire à la jonction de quatre réservoirs, les pertes d'huile totaliseront le tiers de la capacité, à moins qu'on se soit muni de certains arrangements spéciaux.

Les conséquences de ces accidents ne doivent pas dépasser une limite d'écoulement théorique d'huile fixée par le Comité de Sécurité Maritime (MSC - Maritime Safety Committee). Ce comité a décidé que la limite maximum de pertes dans ces accidents était de 30,000 m³ d'huile. Cette proposition est un amendement à la Convention pour la Prévention de la Pollution de la Mer par l'Huile.

De même, la demande toujours croissante pour l'huile et parallèlement la demande aussi croissante d'eau fraîche pour les usages domestiques et industriels, de plages propres et d'eaux côtières pour les loisirs, font que tous les efforts doivent être faits pour réconcilier ces demandes apparemment contradictoires. Une étude des conséquences de la pollution des eaux douces et salées doit commencer par l'examen du rapport "Oily Substances and their Effects on the Beneficial Uses of Water" (State Water Pollution Control Board, 1956). Dans les prochains paragraphes de ce chapitre, nous allons décrire, très brièvement, les problèmes qui surviennent lors du déversement d'une certaine quantité d'huile dans l'eau. Bien que la présente étude porte principalement sur l'impact écologique du port pour super-pétroliers, nous allons quand même décrire les effets d'un déversement d'huile sur l'homme et les animaux à sang chaud. Ceci sera fait dans le but de fournir une étude plus globale et complète des effets d'un déversement d'huile dans la nature.

1.2 Evaluation des conséquences

1.2.1 Effets sur les oiseaux

La décharge d'huile de pétroliers est une menace constante pour les oiseaux aquatiques sur les bords des océans et dans les mers intérieures. Depuis les dernières années, le problème s'est accentué avec l'avènement des pétroliers de plus de 100,000 tonnes. Une collision pourrait exterminer certaines espèces d'oiseaux de mer et pourrait affecter grandement la végétation aquatique qui leur sert de nourriture.

La faculté qu'ont les oiseaux de mer de passer une grande partie de leur temps sur l'eau provient de l'étanchéité de leur plumage. Cette propriété du plumage de repousser l'eau vient de sa texture et de la présence d'une cire à l'épreuve de l'eau produite par une glande de lissage située au derrière de l'oiseau (Larsson, 1970).

L'expérience tirée de l'étude des oiseaux souillés d'huile a démontré que l'huile attaque deux qualités importantes du plumage: la répulsion de l'eau et l'isolation thermique. Ainsi, les oiseaux qui se posent sur une terre ou une eau recouverte d'huile

souillent leur plumage d'huile et ne peuvent habituellement plus voler. De même, en perdant ses propriétés thermiques et hydrofuges, le plumage des oiseaux imbibé d'eau entraîne une perte excessive de chaleur et, par la suite, la mort de l'oiseau. De plus, la perte de résistance à l'eau du plumage d'un oiseau rend beaucoup plus difficile son alimentation (Larsson, 1970).

Le risque d'empoisonnement par les composés soufrés toxiques est aussi très réel. En effet, les examens après décès ont fréquemment révélé la présence d'huile dans le système digestif, résultat probable du lissage. L'empoisonnement à l'huile change la flore bactérienne naturelle de l'oiseau et est souvent suivi d'infection des organes intestinaux (Blumer, 1969).

1.2.2 Effets sur les poissons et les organismes aquatiques

Les substances huileuses sont généralement nocives pour les poissons et les organismes aquatiques (Harrison, 1967). L'huile et les émulsions d'huile peuvent recouvrir les ouies des poissons et diminuent les échanges gazeux entre l'organisme et son environnement aqueux. Heureusement, les poissons possèdent, jusqu'à un certain point, un mécanisme de défense contre l'huile (Neel,

1957; Galtsoff, 1936; Giles, 1960). En effet, lorsqu'un poisson baigne dans une eau contenant des substances irritantes, il secrète un film épais de mucus qui nettoie les ouies de la substance nuisible. Toutefois, lorsque la concentration d'huile est forte et forme un film très épais sur le poisson, la sécrétion du mucus n'est pas suffisante pour nettoyer complètement les ouies; le pétrole s'accumule petit à petit et provoquera l'asphyxie de l'organisme (Gowanlock, 1935; Hawkes, 1961; Lincoln, 1936).

Ici, il est utile de souligner que la connaissance d'un danger pour la vie aquatique résultant de la pollution de l'eau par l'huile ne date pas d'aujourd'hui. Déjà en 1921, Gutsell (1921), du Bureau des Pêcheries des Etats-Unis, résumait les effets nocifs, connus à cette époque, résultant de la pollution de l'eau par l'huile et les goudrons. Il déclara alors:

"La décharge d'huiles de toutes sortes est telle que dans certaines régions on a proposé d'écumer l'huile de l'eau de certains ports et de la traiter pour l'utiliser".

Le même auteur déclare:

"Les dangers de contamination fatale par les substances toxiques semblent parvenir surtout des usines, des gaz, des pétroliers et autres bateaux mus par moteurs diesels, capables d'utiliser le goudron, les huiles de goudron et une grande variété de distillats du pétrole. Ces produits pétroliers sont nettement dommageables pour les poissons, soit par une action toxique directe ou en recouvrant les ouïes et en empêchant ainsi une respiration normale".

La pollution par l'huile affecte les pêcheries de plusieurs façons; le poisson peut être directement tué ou repoussé par le pétrole. Les coquillages de fond, tels les huîtres peuvent être tuées ou rendues malades par les dépôts de sédimentation de substances pétrolifères au fond du cours d'eau. En particulier, il y a plusieurs grandes rivières navigables qui servent de frayères ou de routes vers les frayères pour les poissons. Dans ces cas, il y a mort des oeufs et des larves qui flottent à la surface. Plusieurs larves délicates nagent à la surface ou tout près de la surface et sont rapidement tuées par un film d'huile s'é-

tendant à la surface de l'eau. L'huile détruit aussi le plancton et les animaux servant de nourriture aux larves et aux poissons. De plus, il est important de noter que les substances huileuses teignent la chair des poissons et des mollusques et par le fait même rendent beaucoup plus difficile la vente de ces aliments (Meehan, 1957). Enfin, une petite quantité d'huile donne mauvais goût aux poissons et aux crustacés, et souvent les rend impropres à la consommation par les humains. La concentration en ppm des produits pétroliers causant la mort d'un poisson dépend beaucoup de la nature de l'huile. Il y a même certaines huiles qui en apparence ne contiennent aucune substance toxique; mais quand elles sont mélangées à l'eau elles causent une mort rapide des organismes aquatiques. Chipman et Galtsoff rapportent qu'une huile brute à une concentration aussi faible que 0.3 mg/l est extrêmement toxique pour les poissons d'eau douce.

Une expérience russe sur l'effet toxique des huiles sur les poissons a montré qu'un poisson nageant dans une eau contenant une concentration de 0.3 mg/l de pétrole possède un temps de survie moyen d'environ 17 jours; plusieurs poissons sont morts après 6 ou 7 jours d'expérience. A une concentration 10 fois supérieure, le temps de survie moyen était d'environ 3 jours. Gutsell

(1921), constatant la disparition rapide des pêcheries maritimes sur certaines parties de la côte Est des Etats-Unis écrivait:

"Les oeufs des poissons de mer qui ne cherchent ni une eau fraîche, ni une eau saumâtre, ni le rivage pour pondre diffèrent de ceux des poissons d'eau douce en ce sens qu'ils flottent. Dans plusieurs cas, les larves flottent aussi pour un certain temps. Ce qui fait que les pêcheries sont gravement en péril car on peut difficilement concevoir l'éclosion des oeufs et le développement normal des petits dans un milieu huileux. Les oeufs des huîtres et des autres crustacés ne flottent pas à la surface mais sont entraînés de haut en bas, parfois jusqu'à la surface, par les courants. Un danger particulier les menace du fait que l'huile comme les larves ont tendance à s'accumuler dans les remous".

Enfin, il est utile de mentionner que des expositions prolongées à de très petites concentrations de pétrole sont aussi mortelles. Par exemple: des solutions de goudron et de pétrole causant une mort rapide à une concentration de 66 ppm et plus, provoquent à

une concentration de 13 à 33 ppm une mort lente après 1 à 3 jours.

Une étude menée à l'Université de Californie par les professeurs Kanter et Straughan (1970) et portant sur une série d'expériences pour déterminer si les organismes exposés à une infiltration constante d'huile naturelle avaient une tolérance plus grande à une fuite de pétrole brute que les organismes n'ayant jamais été exposés a démontré que plusieurs types d'organismes aquatiques développaient une certaine endurance. En effet, dans cette étude, les auteurs ont exposé des "Mytilus californianus" provenant de différentes régions de la côte californienne à différentes concentrations de pétrole. Les résultats montrent une plus grande tolérance pour le "Mytilus californianus" provenant des régions où il y a infiltration que les autres. De plus, les auteurs ont remarqué une tolérance différente à l'huile pour les "Mytilus californianus" provenant de différentes régions sans infiltration (Coe et Fox, 1942).

Dans le même ordre d'idée, les résultats d'une étude récente des effets de la fuite d'huile survenue en 1969 dans le canal Santa Barbara, indiquent que la mortalité de la faune sur la côte est moins élevée que prévu. Les données prises sur le terrain sem-

blent indiquer que la mortalité était surtout due aux effets physiques et non aux effets toxiques (Nicholson et Cimberg, 1971).

La région de Santa Barbara a été longtemps exposée aux infiltrations d'huile naturelle et on croit que les organismes y ont développé une tolérance plus grande au pétrole de Santa Barbara que celle possédée par les organismes non exposés à l'infiltration naturelle.

Enfin, des essais sur le terrain (Crapp, 1969) ont montré que quelques escargots gastropodes du littoral, notamment le *Littorina neritoides* L., le *Littorina saxatilis* et le *Littorina obtusata* sont affectés par l'huile. Ce sont toutes de petites espèces, et une couche d'huile sur la coquille accroît effectivement le volume et la masse de l'animal. Lorsque ceci arrive, l'action des vagues tend davantage à les déloger des rochers et à les transporter jusqu'à l'habitat des hautes marées. Il est donc probable qu'à ce niveau les petites espèces soient affectées par des petites fuites mais fréquentes (Baker, 1970a). De même, les algues unicellulaires sont souvent endommagées par l'huile et coulent au fond. La décomposition biologique des détritiques de fond est diminuée par l'action de l'huile sur la boue.

1.2.3 Effets sur la flore aquatique

Les oiseaux et les poissons ne sont pas les seules espèces écologiques affectées par une pollution par le pétrole. En effet, les zones de croissance des plantes des marais peuvent être éliminées temporairement par l'huile. Heureusement, avec le temps les huiles se décomposent et après un coup de pollution, la végétation a une chance de reprendre lorsque les dérivés du pétrole sont décomposés. Il faut noter ici que si la végétation est soumise à plusieurs attaques de pollution par l'huile, le phénomène de récupération par les plantes des marais diminue beaucoup et devient pratiquement inexistant.

Lorsqu'une nappe de pétrole atteint le rivage, l'huile adhère fortement à la flore et les marées successives ne réussissent qu'à laver une proportion minime des plantes. Sous les films d'huile, les feuilles peuvent, initialement demeurer vertes mais éventuellement, elles jaunissent et meurent. Toutefois, si la fuite est légère, des nouvelles pousses apparaissent au bout de trois semaines et la végétation revient. Par contre, si la pollution a été produite dans le sol jusqu'aux racines, la récupération par les plantes diminue grandement et les nouvelles pousses deviennent pratiquement inexistantes. De même, les plantes

annuelles repoussent naturellement très rarement après une pollution par l'huile (Cowell et Baker, 1969).

Cependant, à long terme, on a souvent observé une récupération par les plantes après une fuite. En effet, les observations expérimentales montrent que les marais se remettent bien d'une seule attaque de pollution par l'huile (Ranwell, 1967). A Bentlass, sur la rivière Pembroke, un marais abondamment recouvert d'huile par l'accident du pétrolier Chryssi P. Goulandris en 1967 était virtuellement complètement rétabli deux ans après (Cowell, 1969; Cowell et Baker, 1969). Des expériences ont montré que la toxicité varie largement avec le type d'huile répandue (Ottway, 1970).

Les dommages varient aussi avec les saisons; une fuite est beaucoup moins grave si elle se produit en hiver que si elle arrive au printemps ou au début de l'été.

Les effets des fuites sur la zone intercotidale des plages rocheuses ont été étudiés expérimentalement en simulant des fuites sur le terrain et en suivant les changements pendant la régénération. Les résultats montrent que la plupart des espèces du littoral résistent aux huiles toxiques, même lorsque les fuites sont à intervalle d'un mois.

Cowell (1969) a décrit deux formes possibles de pollution chronique. Premièrement, celle qui résulte de fuites successives dont la fréquence est plus grande que celle permettant une régénération complète. Deuxièmement, celle qui résulte de la décharge continue d'effluents à bas niveau d'huile comme ceux des usines de traitement d'eau de lest.

1.2.3.1 Décharges successives

Baker (1970) a étudié les effets des fuites successives sur les marais. Trois types différents de communauté de marais ont été étudiés à Bentlass, à Milford Haven et dans l'estuaire de Gower (Glamorganshire). Des mesures de la productivité ont démontré qu'une récupération peut être bonne, même après quatre attaques mensuelles successives de pollution par l'huile. Lorsqu'il y a davantage de fuites d'huile, il en résulte un déclin rapide de la végétation et la régénération est lente et demande plusieurs années (Baker, 1970b).

1.2.3.2 Décharges continues

Les effets de ce type de pollution ont été étudiés par Baker (1970a) et Crapp (1970). Sur un marais de Southampton Water,

Baker (1970b) a découvert qu'une décharge huileuse continue, même si la concentration est très faible, peut détruire toute végétation par l'érosion de la surface du marais. De plus, on a effectué des expériences en laboratoire pour certifier que les dommages résultaient du contact de l'huile avec les feuilles et les tiges qui ont des surfaces lipophiles (Baker, 1970a) et non de l'huile autour des racines. Des sédiments recueillis près des décharges à Southampton Water contenant 20% d'hydrocarbures permettaient la croissance saine du *Spartina anglica* pourvu qu'il n'y ait aucune pollution subséquente par le pétrole (Baker, 1970a). On a aussi démontré que l'huile à la surface des feuilles empêche le transport d'oxygène à l'intérieur des tissus de la plante avec pour résultat, une forte réduction d'oxygène autour des racines.

1.2.4 Effets sur les plages et les côtes

Les plages utilisées pour la baignade et d'autres loisirs sont rendues inutilisables lorsqu'elles sont polluées et recouvertes par l'huile. Sur les plages et les côtes nord américaines, il est évident qu'il existe un problème de pollution par les huiles et les goudrons. Le problème n'est pas localisé; en effet, le secrétariat des Nations Unis (1956) a fait une enquête dans 42

pays au sujet du problème de la pollution par l'huile dans les eaux côtières et dans les ports. La réponse des divers gouvernements indique qu'en règle générale, il y a un réel problème dont l'ampleur varie d'un pays à l'autre.

En 1962, un pétrolier Italien s'est échoué sur les récifs à Puerto Rico. Afin de remettre le bateau à flot, le capitaine à pompé environ 10,000 tonnes de pétrole dans la mer, au moment où la marée baissait. L'huile brute fut transportée sur les plages par le vent et les courants. Les récifs de coraux du rivage furent recouverts d'une épaisse couche d'huile. Du point de vue physique, il y eut une forte érosion des plages due à l'action combinée des vagues et de l'huile. Le sable semblait former avec l'huile de petites boules qui étaient entraînées loin des plages en très grandes quantités.

1.2.5 Effets sur les sédiments de fond

Il est clair que l'huile brute flottant à la surface d'une eau est dommageable pour les organismes aquatiques venant à la surface. Souvent, dans une eau tiède, l'huile visible à la surface est enlevée par l'action biologique. Toutefois, il semble que la plus grande partie de l'huile sur la surface ne soit pas dé-

gradée, mais soit enlevée par décomposition sur les rivages ou sur le fond des nappes d'eau sous forme de boues huileuses. Périodiquement, cette boue est entraînée et remise en suspension par les crues.

L'accumulation des boues huileuses au fond présente un danger réel pour l'écologie. En effet, cette boue est une substance polluante qui s'accumule pendant longtemps et relâche très lentement dans le courant les produits toxiques compris dans le pétrole brut. Bien plus, elle forme sur de grandes surfaces du fond, une couverture stérile. Cette couverture est vraiment néfaste parce qu'elle prive de nourriture d'importants organismes faisant partie de l'environnement naturel d'un cours d'eau. Privés de l'alimentation nécessaire, certains organismes sont inévitablement blessés ou complètement détruits. De cette manière, les algues unicellulaires sont souvent endommagées par l'huile et coulent au fond. Aussi, la décomposition biologique des détritiques au fond est diminuée par l'action de l'huile sur les boues (Neel, 1957).

1.2.6 Effet sur l'oxygène dissous dans l'eau

On sait que le pétrole utilise l'oxygène dissous dans l'eau et

qu'il empêche le transfert de l'oxygène de l'air à l'eau. De plus, la demande en oxygène de l'huile est plutôt élevée. Ce fait a tendance à diminuer beaucoup l'oxygène dissous dans les eaux polluées par l'huile.

La plupart des huiles sont dégradées par l'action biologique (Pilpel, 1968). Le taux de cette action varie avec le nombre et le type de microorganismes, avec l'oxygène disponible, avec la température, avec la concentration du pétrole et avec la dispersion de l'huile dans l'eau. Comme on peut le penser, si une molécule d'huile est en contact continu avec une eau à une température d'environ 15 à 35°C, la dégradation par les microorganismes est rapide. Néanmoins, il y a une certaine décomposition de l'huile par les microorganismes à 0°C.

L'oxygène nécessaire pour l'oxydation totale de 1 litre d'huile est estimé à 3,300,000 mg (Zobell, 1964). En supposant que l'eau de mer ayant une salinité de 30-35% soit saturée en oxygène à 15°C (environ 8 mg d'oxygène dissous par litre) et que le litre d'huile soit finement dispersé, il faudrait pour oxyder toute l'huile, tout l'oxygène contenu dans 400,000 litres d'eau de mer. Ce volume d'eau de mer équivaut à 400 m³. D'après ces données, il est évident que toutes décharges de pétrole ou de

déchets contenant du pétrole provenant de bateaux en mouvements doivent se faire à un taux très lent et finalement divisé pour que le polluant soit dispersé dans un très grand volume d'eau.

1.2.7 Effets sur l'homme et les animaux à sang chaud

Lorsqu'on évalue le danger que représente la pollution d'une eau par l'huile, on doit réaliser que la fraction du pétrole qui cause le plus de dommage est, ordinairement, celle qui est formée de composés très stables.

Dans une expérience dans un réservoir, on a pu voir une huile flotter sans changement pendant près de 18 mois. D'autres expériences pour évaluer le comportement de l'huile sur une étendue d'eau ont démontré que 15 tonnes de mazout couvrent une surface de près de 8 milles carrées, 6 jours après avoir été répandues. De plus, les mêmes expériences ont démontré que sous l'effet des vents et des marées, la nappe d'huile dérive jusqu'au delà de 20 milles en 8 jours.

Il est remarquable de constater le peu d'information que l'on trouve dans la littérature scientifique sur les effets toxiques de l'ingestion d'huile par l'homme ou les animaux à sang chaud.

Apparamment, on suppose que l'homme ne peut pas souffrir de boire une eau polluée par l'huile parce que le goût et l'odeur vont rendre l'eau inacceptable bien avant qu'un degré chronique de toxicité soit atteint. Bien que cette hypothèse soit vraie pour quelques substances huileuses, elle néglige la présence de produits cancérigènes (Bingham, 1965).

Dans le même ordre d'idée, il existe si peu d'information sur les effets toxiques des substances huileuses sur le bétail et les animaux sauvages qu'il serait futile d'en parler. Des études au cours desquelles des moutons, des bêtes à cornes et des porcs ont bu de l'eau polluée par du pétrole ont montré des effets nocifs dus probablement aux propriétés laxatives des huiles. Chez les chiens, une concentration de 10 parties par 1,000 a causé des convulsions, tandis qu'une concentration de 25 parties par 1,000 a donné la mort. Le département de la Santé de l'Ohio a fixé une limite de 30 mg/l pour les huiles émulsifiées dans les ruisseaux traversant les pâturages. Ici, il faut rappeler que la mesure de la contamination de l'eau par le pétrole en mg/l n'est pas suffisante parce qu'une même quantité d'huile peut produire des effets très différents du point de vue biologique. De plus, le terme mg/l d'hydrocarbures perd toute sa signification lorsque l'huile flotte en surface. C'est pourquoi, lorsque nous

parlons d'eau potable, il est important de mesurer le contenu d'hydrocarbures dispersés car une eau potable contenant du pétrole dispersé est plus néfaste à la santé qu'une eau ayant du pétrole à sa surface. Après tout, il ne faut pas se limiter à ce qu'on voit à la surface de l'eau, mais nous devons savoir ce qui va dans l'eau; c'est pourquoi la quantité totale d'huile perdue dans une rivière est peut-être plus importante que la concentration. Pour l'homme, l'aspect majeur de la pollution de l'eau par le pétrole réside sans doute dans la contamination de l'eau potable.

1.2.8 Effets sur les approvisionnements en eau

L'aspect le plus sérieux de la pollution des cours d'eau par l'huile est probablement la possibilité de contaminer les sources d'eau potable. En effet, les cours d'eau sont de plus en plus utilisés comme source d'eau potable. On peut donc s'attendre à ce qu'il y ait des accidents qui obligent à condamner une ou des prises d'eau pour une municipalité ou un village. De plus, il ne faut pas sous-estimer les effets nocifs de la pollution par l'huile sur les divers traitements de l'eau et l'interférence sur les procédés de coagulation, floculation, sédimentation et filtration. Enfin, la demande d'oxygène accrue d'une

eau polluée par l'huile peut réduire appréciablement la marge de sécurité.

En dépit de l'usage étendu des produits pétroliers, il y a relativement peu d'empoisonnements rapportés. La toxicité des produits pétroliers est étroitement reliée à leur point d'ébullition. En effet, les produits qui se distillent à une température inférieure à 150°C, incluant l'éther, le naphta et le benzène, sont toxiques lorsqu'on les avale ou qu'on en respire les vapeurs. Des doses aussi petites que 8 à 10 g. de pétrole se sont avérées toxiques pour les jeunes enfants, quoiqu'il soit habituellement difficile de préciser la quantité réellement absorbée. Une gorgée de kérosène (quantité équivalente à $1\frac{1}{4}$ once environ) a tué un bébé de 14 mois en 2 heures (Smith et Simpson, 1957).

Chez les adultes, l'inhalation de vapeurs de pétrole en concentration d'une partie de 1,000 produit la somnolence en 15 minutes et le vertige en une heure. Chez les chiens, une concentration de 10 parties par 1,000 a causé des convulsions, tandis qu'une concentration de 25 parties par 1,000 a donné la mort (Smith et Simpson, 1957). On voit donc que les quantités qu'on peut absorber à cause d'une contamination de l'eau par l'huile

sont relativement petites. Par contre, les effets sur le goût et l'odeur sont suffisants pour empêcher qu'une quantité considérable soit absorbée. Kirkor (1951) a déterminé que pour une huile les concentrations seules où apparaissent des odeurs se situent entre 0.1 et 0.5 mg/l.

Les odeurs, en particulier celles des composés phénoliques, même sous forme de trace, sont considérablement amplifiées par la chloration de l'eau. Il y a des chlorophénols dont l'odeur est très déplaisante. Il faut donc considérer les effets de ces odeurs non seulement en fonction de l'eau potable pour la consommation domestique, mais aussi en fonction de l'eau potable utilisée dans l'industrie pour la préparation des aliments et des breuvages. La loi exige que l'eau utilisée dans l'industrie alimentaire, ainsi que l'eau utilisée comme eau de refroidissement dans les conserveries aient un même degré de pureté que l'eau potable (Davson et Eggleton, 1968).

1.3 Références bibliographiques

BAKER, J.M. 1970a.

"The effects of a single oil spillage".
The Ecological Effects of Oil Pollution on Littoral Communities.
Proc. of Symp. Nov. et Dec.

BAKER, J.M. 1970b.

"Successive spillage".
The Ecological Effects of Oil Pollution on Littoral Communities.
Proc. of Symp. Nov. et Dec.

BINGHAM, E., HORTON, A.A. et TYE, R. 1965.

Arch. Environ. Health, 10, 449.

BLUMER, M. 1969.

Oceanus, 15 (2), 2.

COE, W.R. et FOX, D.L. 1942.

Biology of the California sea-mussel (*Mytilus californianus*).
J. Exp. Zool., 90, 1-30.

COWELL, E.B. 1969.

The effects of oil pollution on salt marsh communities in
Pembrokeshire and Cornwall.
J. Appl. Ecol. 6, 133.

COWELL, E.B. et BAKER, J.M. 1969.

Recovery of a salt marsh in Pembrokeshire, S.W. Wales from
pollution by crude oil.
Biol. Conserv. 1, 291.

CRAPP, G.B. 1970.

"The biological consequences of emulsifier cleaning".
The Ecological Effects of Oil Pollution on Littoral Communities.
Proc. of Symp. Nov. et Dec.

DAVSON, H. et EGGLETON, M.G. 1968.

Principles of Human Physiology.
Londres.

GALTSOFF, P.S. 1936.

Oil Pollution in coastal waters.
Proc. N. Amer. Wild Conf. 2, 550

GILLES, L.A. et LIVINGSTON, J. 1960.

Oil Pollution of the seas.
Trans. N. Amer Wild. Conf. 25, 297.

GOUVERNEMENT DU QUEBEC 1972.

Les objectifs d'une Politique Québécoise de l'Energie.
Ministère des Richesses Naturelles.

GOWANLOCK, J.N. 1935.

Trans Amer Fish Soc. 65, 293.

GUTSELL, J.S. 1921.

Bureau des Pêcheries, rapport no. 910.
Département du Commerce.

HARRISON, J. 1967.

Birds, 1, 134.

HAWKES, A.L. 1961.

Trans. N. Amer. Wild. Conf. 26, 343.

INTERNATIONAL WATER SUPPLY CONGRESS 1964.

Rapport no.2, Stockholm, juin.

KANTER, R. et STRAUGHAN, D. 1970.

Université de Californie, travaux non publiés.

KIRKOR, T. 1951.

Sewage Works J., 23, 938.

LARSSON, K. et ODHAM, G. 1970.

Marine Poll. Bull. 1, 122

LINCOLN, F.C. 1936.

The effect of oil pollution on waterfowl.
Proc. N. Amer. Wild Conf. 2, 555.

MEEHEAN, O.L. 1957.

Biological Problems in Water Pollution, Washington, U.S.
Département de la Santé et de l'Education.

NATIONS UNIES 1956.

Pollution of the sea by oil, New York, E.U.
Publication no ST/ECA/41.

NEEL, J.K. 1957.

Some Aspects of Water Pollution in the Missouri Basin.
Biological Problems in Water Pollution, Washington, U.S.
Département de la Santé et de l'Education.

NICHOLSON, N.L. et CIMBERG, R.L. 1971.

The Santa Barbara Oil Spills of 1969: A Post-Spill Survey of the
Rocky Intertidal.
Biological and Oceanographical Survey of the Santa Barbara Channel
Oil Spill 1969-70.
Publication 325-400 d'Allan.
Hancock Foundation.

COIWAY, S.M. 1970.

"The comparative toxicities of crude oils".
The Ecological Effects of Oil Pollution on Littoral Communities.
Proc. of Symp. Nov et Dec.

PILPEL, N. 1968.

Endeavour, 27, 11.

RANWELL, D.S. 1967.

World resources of *Spartina townsendii* and economic use of
Spartina marshland.

J. Appl. Ecol. 4 (1), 239.

SMITH, S. et SIMPSON, K. 1957.

"Taylor's Principles and Practice of Medical Jurisprudence".
Vol. 2, Londres.

STATE WATER POLLUTION CONTROL BOARD 1956.

Rapport no. 16. Sacramento, Californie.

ZOBELL, C.E. 1964.

Adv. in Water Poll. Cont. Fed., 3, 85.

2. EVALUATION DE L'IMPACT ECOLOGIQUE

DU PORT ET DES SUPER-PETROLIERS

2. EVALUATION DE L'IMPACT ECOLOGIQUE DU PORT ET DES SUPER-PETROLIERS

2.1 Introduction

A la suite de toutes les conséquences sur l'écologie décrites très brièvement au chapitre précédent, la présence d'un port à eau profonde pour super-pétroliers dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent, précisément à Grande-Ile de Kamouraska, n'est pas sans susciter certaines appréhensions. On est en droit de se demander que serait l'impact de la construction et de l'opération d'un port sur l'écologie de la région.

Plusieurs facteurs sont à considérer avant l'implantation d'un centre pétrolier. L'écosystème du milieu ambiant et les conditions de navigation sont entre autre autant de points importants dont il faut tenir compte. L'étude de l'impact d'un port pétrolier peut se ramener aux considérations suivantes:

- la présence d'huile et le milieu lui-même;
- l'effet du port sur l'environnement;
- l'impact sur le milieu par suite d'avaries de navigation le long de la route suivie par les pétroliers.

2.2 La présence d'huile et le milieu marin

La présence d'huile ou de résidus de pétrole peut avoir une influence sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du milieu marin.

Les nappes d'huile persistantes en surface empêchent la formation de vagues, diminuent le brassage de l'eau et par conséquent, son aération. Il peut s'en suivre une diminution de l'oxygène dissous, essentiel à la vie marine.

L'huile, en fines particules, peut s'agglutiner par un phénomène quelconque d'absorption aux particules en suspension dans l'eau. Ces particules de caractère plutôt organique que minéral, jouent un rôle important dans la chaîne alimentaire. On les retrouve sur les fonds de sédimentation, lieux privilégiés de nourriture de plusieurs espèces marines.

La production primaire et la teneur en chlorophylle peuvent être influencées par la présence d'huile. Une couche persistante d'huile pourrait retarder le processus de formation de chlorophylle qui se produit surtout en surface et à une faible profondeur (5m). Ceci est particulièrement important dans le secteur de l'estuaire maritime, et des eaux gaspésiennes où on rencontre dans le premier secteur, le maximum de sels nutritifs et dans le second, le maximum de productivité primaire.

Le zooplancton peut absorber une certaine quantité d'huile sans qu'apparemment son organisme en soit affecté. On a constaté ce phénomène à la suite d'un naufrage d'un pétrolier. Jusqu'à 10% d'huile présente dans la colonne d'eau était associée au zooplancton dont les fèces contenaient jusqu'à 7% d'huile. Le zooplancton entrant dans la chaîne alimentaire, est absorbé par différents organismes supérieurs qui servent à leur tour de nourriture aux coquillages, crustacés, etc... . Il se produit ainsi un phénomène d'accumulation plus ou moins important d'huile qu'on peut retrouver chez le poisson à la longue.

L'huile n'a pas d'influence directe sur les éléments métalliques qu'on peut rencontrer dans l'eau de mer. Mais indirectement, elle peut s'associer à ces éléments qui entrent dans certains cas, dans le cycle alimentaire comme catalyseur du système enzymatique. On constate fréquemment des enrichissements de quelques éléments métalliques dans les êtres vivants. On peut présumer que des particules d'huile seraient entraînées en même temps par le même processus.

2.3 L'effet du port

La présence d'une île près d'un chenal relativement profond faciliterait certainement l'implantation d'un port pour super-pétroliers. Le dragage serait d'autant simplifié. La Grande-Ile de Kamouraska offrirait cet

avantage. La construction d'un quai à cet endroit ne présenterait pas, semble-t-il, de difficultés techniques.

Quel serait l'effet sur l'environnement ? Cette île est située dans le secteur de l'estuaire moyen caractérisé par une eau plutôt saumâtre de salinité de 22% au maximum, transportant un grand nombre de particules en suspension ainsi que des polluants chimiques, d'après ce que laissent entrevoir les quelques travaux faits à date sur la qualité de l'eau dans ce secteur. La productivité primaire et secondaire est assez faible.

La présence d'huile ou de résidus de pétrole est pratiquement inévitable dans un port de transbordement. Les quantités peuvent être minimales, si l'on prend toutes les précautions nécessaires. La technique moderne qui a encore des progrès à faire, il est vrai, a mis au point des méthodes d'une certaine efficacité. Le problème se résume à empêcher la propagation des nappes d'huile. Si malgré tout, l'huile se répand, il y a risque que le rivage en amont soit affecté par l'effet de la marée montante, même si le courant vers l'aval est assez fort. La région plus à l'est, serait la plus susceptible d'être envahie par l'huile.

La flore de la zone intertidale qui recouvre les batures parfois assez étendues dans la région et qui est recherchée par les oiseaux aquatiques, migrateurs ou autres, serait la première à subir les effets nocifs du pétrole. La présence prolongée d'huile peut détruire en bonne partie la végétation.

Les oiseaux sont particulièrement sensibles à la présence d'huile qui fait perdre au plumage son imperméabilité et son isolation calorifique provoquant une perte de chaleur allant même jusqu'à la mort. L'ingestion d'huile d'une façon ou d'une autre en se nourrissant de plantes ou d'animaux même légèrement imprégnés de pétrole, peut causer un empoisonnement.

La présence d'un port à Grande-Ile aurait pour effet de chasser les oiseaux qui ont l'habitude d'y faire leur nid. Cet handicap à la reproduction ne serait pas trop sérieux si on prend toutes les précautions nécessaires pour empêcher la propagation des nappes d'huile et en autant que les autres îles et les batures du voisinage ne seraient pas touchées par ce développement industriel.

Dans ce secteur, la présence de crustacés est négligeable et les coquillages de petites tailles sont apparemment en faible quantité. Il n'y aurait pas de possibilité d'exploitation commerciale. Il n'y a pas eu ce-
pendant d'inventaire de fait. Le poisson représente des captures totalisant 500,000 lbs par saison dont 80% est de l'anguille. Le gros de cette pêche cependant se fait à l'automne dans la région de Rivière Ouelle qui a très peu de possibilité d'être incommodée par la présence d'un port pétrolier à Grande-Ile. Par contre, la partie de la pêche faite à proximité de Grande-Ile pourrait être grandement incommodée. De plus, il faut

noter que la pêche aux anguilles se concentre aux mains d'un petit nombre de pêcheurs comme le prouve le tableau 2.1. Il s'ensuit qu'une diminution des prises près de Kamouraska causera un préjudice grave auprès de ces personnes qui comptent sur ce moyen de subsistance.

La pêche se pratique au moyen d'engins fixes qui se découvrent à marée basse. En aval de Kamouraska, il y a un certain risque que ces engins soient endommagés par la présence de nappes d'huile qui s'approcheraient du rivage. Le nombre est toutefois restreint.

L'établissement du port devrait se faire avec le minimum d'installation afin de modifier le moins possible l'environnement sur l'île même. Du côté du large, on peut entrevoir peu de changement dans le courant, mais il n'en sera pas de même entre l'île et la terre ferme. La présence de nombreux tuyaux d'amenée de l'huile pourrait changer le comportement des courants en favorisant ou non le phénomène de sédimentation.

Le travail de génie devrait être fait en fonction du respect des lieux en les modifiant le moins possible. Toute la tuyauterie devrait être enfouie, à moins de raisons sérieuses. Les réservoirs de storage devraient être installés au sud du village dans un endroit assez retiré pour ne pas nuire à l'esthétique de la région. Il est bien important
que la berge reste intouchée et ne serve que de passage à la tuyauterie
 pour ne pas détruire la vie biologique.

REGIONS	PECHEURS	PRISES	
		x 100 livres	
		1 9 7 1	1 9 7 2
Ste-Anne de la Pocatière	7	25	48.1
Rivière Ouelle	14	106.2	97.9
St-Denis	6	64.7	85.8
Kamouraska	5	65.6	37.5
St-André	18	70.5	24.8

TABLEAU 2.1 PRISES D'ANGUILLES DANS LE DISTRICT DE KAMOURASKA
(Sources: Ministère de l'Industrie et Commerce,
Gouvernement du Québec).

On doit penser également au potentiel récréatif. Présentement, Kamouraska même, représente un potentiel très faible sur ce plan si ce n'est la chasse aux oiseaux aquatiques. La présence du port n'empêcherait pas cette chasse. Le territoire en serait probablement quelque peu déplacé. Le potentiel récréatif est de beaucoup meilleur à l'est où existent des endroits de villégiature réputés comme Notre-Dame-du-Portage, St-Patrice, Cacouna.

La navigation de plaisance est pratiquement inexistante dans la région. L'aménagement de marinas prévisibles dans le plan de développement touristique pourrait contribuer à son développement, mais dans une certaine limite vu les difficultés de navigation de plus en plus grandes en descendant l'estuaire. La région de Kamouraska ne se prête pas à ce développement. Il y a de plus grandes possibilités au quai de Rivière Ouelle et Rivière-du-Loup pour ne nommer que ces deux endroits.

2.4 L'impact à l'environnement le long de la route maritime

Un aspect important à considérer est l'impact que pourrait produire les avaries de navigation survenant le long de la route maritime des super-pétroliers pour atteindre le port de Grande-Ile.

Le Saint-Laurent est déjà fréquenté par un bon nombre de pétroliers.

Les accidents maritimes toujours possibles, sont très rares à date. Un super-pétrolier est-il plus dangereux que dix pétroliers de tonnage moyen?

L'ampleur des dommages causés par l'huile dépend du sérieux de l'avarie et surtout de l'endroit où l'accident se produit. A l'heure actuelle, la contamination causée par l'huile dans l'estuaire et le golfe sont loin d'avoir atteint le degré de pollution qui causerait des répercussions immédiates. On a fait certaines études pour déceler la présence de pétrole. Sans entrer dans les détails, on constate dans l'estuaire maritime à l'embouchure du Saguenay, que la teneur en résidus de pétrole est de 1 à 5 mg/L. Cette teneur a tendance à augmenter en gagnant le golfe pour atteindre 5 à 10 mg/L dans le détroit de Cabot. De faibles concentrations ont été observées le long de la côte Nord et à travers le passage de Jacques Cartier. La quantité de résidus de pétrole n'a jamais dépassé 50 mg/L sur la totalité de la surface du golfe. Des expériences récentes faites dans le secteur moyen ont montré que la nappe de pétrole se disperse rapidement dû aux effets simultanés du courant et du vent. Ceci suppose que le système réussit à assimiler tout apport nouveau de pétrole. La présence d'huile dans le golfe Saint-Laurent serait due en bonne partie à l'apport du pétrole des eaux de l'océan Atlantique entrant dans le golfe (voir tome III).

La présence de super-pétrolier dans le golfe Saint-Laurent augmentera certainement la concentration en hydrocarbures. Bien entendu, certaines régions sont plus exposées les unes que les autres. L'influence des courants de surface y est pour beaucoup dans l'entraînement des nappes d'huile. On connaît dans ses grandes lignes, le mouvement des eaux de l'estuaire et du golfe. L'estuaire maritime du Saint-Laurent est caractérisé à l'ouest le long de la rive nord par une remontée intense des eaux profondes salées et glaciales du golfe qui se mélangent aux eaux douces du Saint-Laurent et du Saguenay. Il en résulte un courant de surface d'eau mélangée qui se dirige vers Trois-Pistoles pour ensuite longer la côte sud du fleuve prendre de l'intensité le long de la côte Nord de la Gaspésie, pénétrer d'une part dans la Baie des Chaleurs et, d'autre part, continuer vers les bancs de pêche gaspésiens, le plateau madelinot et sortir par le détroit de Cabot. Une section longe la côte ouest de Terre-Neuve pour gagner le détroit de Belle-Isle.

Puisque la route habituelle des navires est le chenal Laurentien, une bonne partie du golfe et de l'estuaire a de grandes chances d'être évitée par les nappes d'huile qui proviendraient de naufrages ou d'avaries aux pétroliers. Ceci comprend tout le secteur nord et est du golfe incluant toute la région au nord et à l'est du chenal Laurentien à partir de Pointe-des-Monts à Blanc Sablon incluant l'Ile d'Anticosti,

la section nord des secteurs de l'estuaire maritime et moyen. Ainsi les bancs de crevettes dans la région sud de Sept-Iles, les poissons de fond du secteur nord, les coquillages de la côte Nord, les mammifères marins et les phoques de cette région ont moins de chances d'être affectés par la présence de pétroliers pénétrant dans le fleuve. Tout de même, une telle hypothèse devrait être vérifiée sur le terrain avec l'aide de dériveurs de surface.

Par contre, la rive sud du Saint-Laurent, les eaux gaspésiennes et le plateau madelinot seraient plus exposés. Mais encore là, il faut apporter certaines considérations. Dans le golfe, les pétroliers ne présentent qu'un minimum de risques au point de vue navigation. La route habituelle est le chenal Laurentien profond qui ne présente aucun obstacle à la navigation à l'exception de la présence de champ de glace à certaines périodes de l'année. La voie de navigation passe assez loin du plateau madelinot et des bancs de pêche gaspétiens. Toutefois, une avarie quelconque dans les parages causerait des dommages même si les effets de dilution et de dispersion de l'huile sont importants. Par contre, une avarie aurait peu d'influence néfaste sur la pêche hauturière parce qu'elle ne se pratique pas dans le chenal laurentien.

Dans le secteur des eaux gaspésiennes, il n'y a pas d'obstacle à la

navigation, mais une avarie toujours possible pourrait avoir une répercussion importante. Il y aurait danger que des nappes d'huile atteignent le rivage. La voie de navigation généralement suivie, longe la côte d'assez près et le fort courant dans ce secteur pourrait amener l'huile dans la Baie des Chaleurs et sur les bancs de pêche gaspésiens. Le moyen de minimiser les dommages serait de suivre une route de navigation beaucoup plus large. Les nappes d'huile auraient alors plus de chance de prendre le chenal et d'atteindre le golfe sans approcher pour la peine du rivage.

L'estuaire maritime présente moins de risques de navigation. Par la présence de courants dominants déjà mentionnés plus haut, la rive sud pourrait être plus affectée par l'huile provenant d'un pétrolier que la rive nord. Quant à la pêche elle-même, elle se pratique presque exclusivement au moyen d'engins fixes et est peu développée. Les possibilités d'expansion dans l'avenir sont pratiquement nulles.

Les poissons pélagiques (voir tome III) qui longent la rive sud pour venir frayer à différents endroits dans le fleuve pourraient être incommodés par la présence d'huile. Le saumon qui remonte le fleuve le long de la rive sud guère plus haut que l'embouchure de la rivière Matane, serait particulièrement sensible à la présence d'huile. Le hareng se rencontre chaque printemps en quantité assez intéressante sur-

tout dans la partie est de l'Ile Verte. La présence prolongée d'huile dans cette région de fraie devrait être évitée. Il est question de plus que le Service Canadien de la Faune se porte acquéreur des batures de l'Ile Verte pour en faire un sanctuaire d'oiseaux aquatiques.

La faune et la flore les plus susceptibles d'être endommagées par les nappes d'huile sont celles dont l'habitat est le rivage, la zone intertidale et sub-tidale. Les plantes marines sont d'une abondance assez relative. L'exploitation est tout à fait artisanale. Les coquillages par contre, avec le développement possible de l'aquaculture offre des possibilités d'exploitation commerciale.

La présence d'huile serait surtout dommageable pour les myes et les moules de la zone inter-tidale. L'absorption d'huile pourrait donner un goût désagréable à la chair de ces coquillages. Pour éviter le plus possible les dangers de contamination dans ce secteur, les pétroliers devraient s'éloigner de la côte sud et suivre une course au centre du fleuve.

Dans l'estuaire moyen, c'est-à-dire en haut de l'embouchure du Saguenay, la navigation est un peu plus difficile. Le Saint-Laurent est moins profond; certains hauts-fonds sont à éviter. Les dommages causés à la suite d'accidents, affectera la pêche qui est considérée com-

me un revenu d'appoint dans cette région. Ces dommages seraient localisés le long du rivage aux installations de récréation, aux engins fixes de pêche, aux plantes marines qui poussent sur les batures parfois assez étendues. Comme déjà mentionné, les nappes d'huile auraient des chances de s'étendre en amont du port de Grande-Ile même avec la présence de courants descendants assez forts. Par précaution, les pétroliers devraient suivre le chenal plus profond au nord de l'Ile-aux-Lièvres pour ne s'approcher de la rive sud qu'une fois rendus à la hauteur de Grande-Ile.

2.5 Zones spéciales à préserver

Il est essentiel pour éviter les désastres toujours possibles d'apporter une attention spéciale à certaines zones qui exigent une protection particulière. Le port de transbordement de Grande-Ile en est une. Il faut de toute nécessité, empêcher toutes les nappes d'huile de se propager et d'altérer l'environnement.

L'Ile Verte qui est à la fois un centre de pêche de harengs, le printemps et un sanctuaire possible pour les oiseaux aquatiques devrait être préservée de toute souillure par l'huile. Une étude devrait être faite pour connaître le comportement du hareng et l'importance de la frayère à cet endroit.

Dans l'estuaire maritime le rivage de la rive sud devrait être surveillé pour empêcher la pollution par l'huile. La présence de coquillages et la possibilité d'un certain développement dans le domaine de l'aquaculture justifieraient cette précaution.

La Baie des Chaleurs de la Pointe-à-Maquereau à l'Ile de Miscou devrait être une zone spécialement protégée pour la conservation du homard, des pétoncles, des myes et des cultures d'huîtres de la côte de Caraquet.

La Baie des Chaleurs n'est heureusement pas sur la voie maritime des super-pétroliers. Les nappes d'huile à craindre, sont uniquement celles entraînées par le courant.

Une zone de protection devrait être établie tout au tour des Iles-de-la-Madeleine, pour préserver de toute souillure d'huile l'habitat du homard. Ce crustacé occupe une importance considérable dans l'économie des pêches commerciales. La présence d'huile dans les eaux pourrait peut-être affecter dans une certaine mesure la chair délicate du homard. C'est aussi le cas des pétoncles qui représentent une pêche lucrative aux Iles.

Le projet mis de l'avant il y a quelques mois à la suite de découverte de gisements importants de sel aux Iles, d'utiliser les réservoirs souterrains après l'extraction du sel pour le storage du pétrole, devrait

être étudié sous tous ses aspects avant d'en venir à une décision.

L'arrivée de pétroliers présenterait certainement des risques.

A tout considérer, cependant l'estuaire du Saint-Laurent n'est pas la région la plus exposée aux dommages qui pourraient survenir à la suite d'une avarie à des pétroliers. La côte du Maine est beaucoup plus vulnérable. Elle est très découpée et comprend des plages renommées qu'il faut absolument protéger. La lutte contre la pollution est très difficile. Les eaux renferment des espèces de luxe comme ces coquillages, le homard et les crevettes.

On comprend aisément que la population veuille protéger à tout prix ces ressources naturelles et qu'elle soit contre tout développement de port pétrolier en plus de ce qui existe déjà depuis nombre d'années. Le problème est beaucoup moins aigu dans l'estuaire du Saint-Laurent qui est plus pauvre en espèces marines. Les côtes sont régulières; la navigation facile; les courants dominants en direction du golfe favorisent d'une certaine façon la dispersion des nappes d'huile. La lutte contre ce polluant est d'autant facilitée.

Ce n'est pas une raison cependant pour négliger toute méthode de contrôle. Au contraire, la protection des zones spéciales en particulier suppose la mise au point de techniques perfectionnées pour combattre

toute avarie et empêcher la propagation des nappes d'huile.

Tout le problème se résume à garder et à récupérer le pétrole qui peut se répandre au port de transbordement ou d'un pétrolier en route. Des recherches sont en cours pour étudier le comportement des nappes d'huile dans les eaux relativement froides de l'estuaire et de trouver les moyens de récupérer l'excès d'huile.

2.6 Implantation d'un réseau de surveillance de l'impact écologique

2.6.1 Problématique

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 pour surveiller la qualité des eaux, ainsi que l'impact sur les écosystèmes. 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. 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.

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, bourrasques, 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, prospectives, perspectives de développement et gestion politique des ressources).

Les connaissances actuelles de la région susceptible d'être influencée étant limitées, on ne peut établir à 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 plusieurs étapes. Une des premières étapes aura pour objectif d'établir la qualité physique, chimique et biologique du milieu, tandis qu'une autre 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.

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 qui sera décrite au chapitre 5. 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 trop grand. Par contre, si de tels accidents devaient se produire il permettra d'en évaluer l'impact à long terme.

2.6.2 Description du réseau

Comme on l'a déjà dit, 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. En conséquence nous croyons qu'il serait nécessaire de procéder à une implantation progressive du réseau.

2.6.2.1 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.

2.6.2.2 Description de l'environnement susceptible d'être affecté 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.

2.6.2.3 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 per-

manentes représentatives 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.

2.6.2.4 Choix des stations fixes

Intégrant les connaissances développées dans la première étape sur le comportement des masses d'eaux aux données recueillies sur les courants et marées locales, sur les conditions météorologiques, sur la batymétrie, 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.

2.6.2.5 Echantillonnage complémentaire

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, elles 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: elles sont adaptables à la situation qui surviendra et qui pourra être identifiées par l'intégration de l'information obtenue de la surveillance aérienne (Photo aérienne multispectrale) qui sera décrite au chapitre 5, 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 brefs délais les informations qu'il aura su obtenir dans sa démarche.

La figure 2.1 présente le schéma proposé du mode d'implantation du réseau d'acquisition de données de qualité.

2.6.3 Description de l'échantillonnage du site

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 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 concernant l'eau, les sédiments en suspension et le fond sont susceptibles de renseigner sur la qualité du

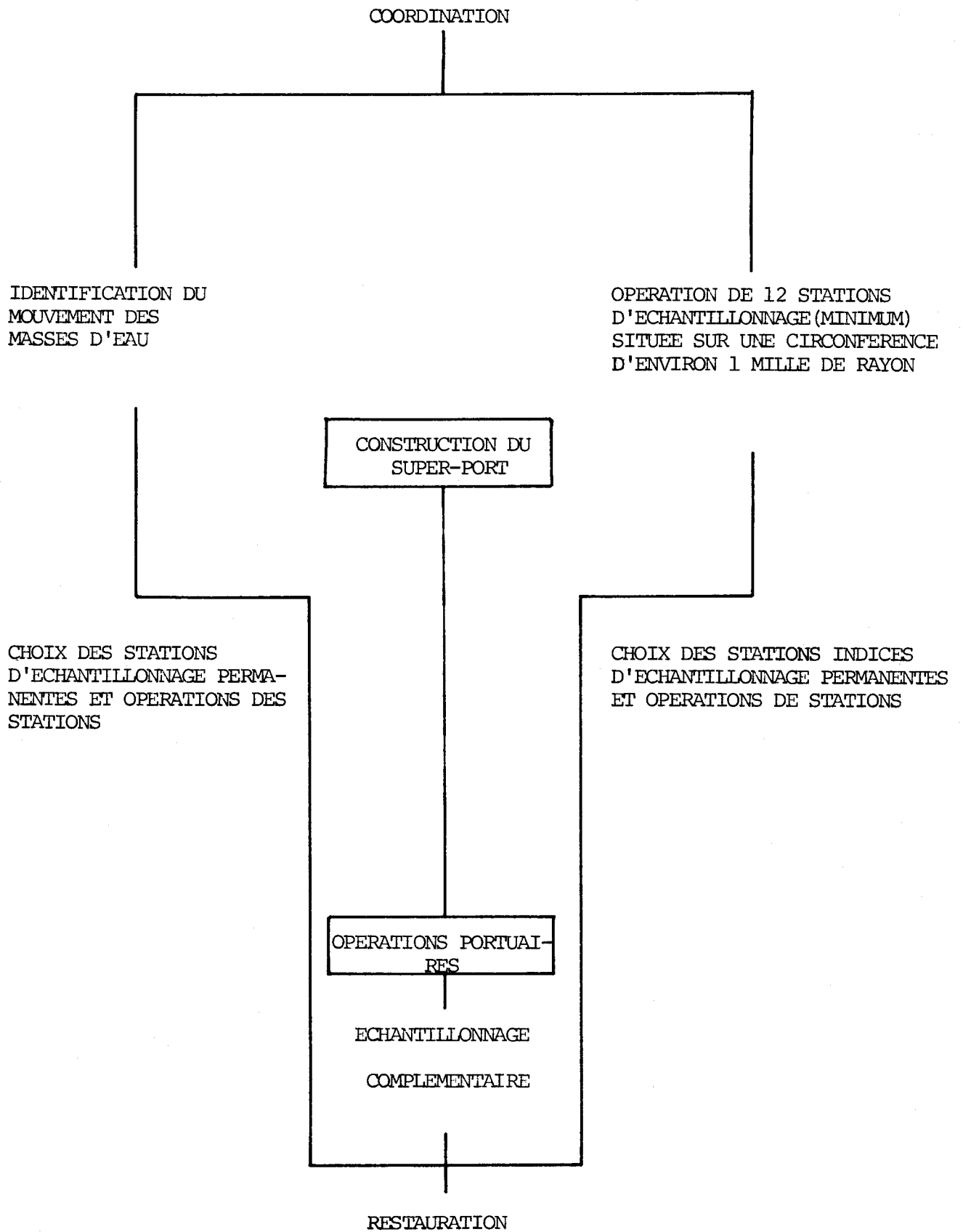


FIGURE 2.1 SCHEMA DECRIVANT LA METHODOLOGIE DE L'IMPLANTATION DU RESEAU.

milieu. Ce nombre de paramètres est réduit et ne vaut, évidemment, que pour une première étape, Il pourra être modifié 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 1cm), 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 (0.45 μ):

- 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 dévolus à l'échantillonnage lui-même, il serait logique de pousser les analyses plus loin. Aussi, il serait bienvenu, 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.

De plus, nous suggérons que des échantillons en provenance des pêches commerciales ou des pêches sportives soient analysés 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.

2.7 Conclusion

L'ensemble de l'exposé permet de conclure que l'installation d'un port pour super-pétroliers à Grande-Ile de Kamouraska ne présente pas pour l'île même d'inconvénients trop sérieux à l'écologie du milieu. Sans doute, les possibilités de contaminations par l'huile existent, mais

si toutes les précautions sont prises pour empêcher l'huile de se répandre, les dommages seraient minimes. Malgré tout, s'il y avait fuite, les plantes aquatiques seraient affectées, ainsi que la pêche qui tout de même, n'est pas tellement importante. Cependant, l'île ne pourrait plus être considérée comme sanctuaire pour les oiseaux aquatiques. C'est l'inconvénient le plus sérieux à noter.

Dans le golfe, la voie maritime que devront suivre les pétroliers, ne présente pas de difficultés de navigation. Les risques d'avaries toujours possibles, peuvent être minimisés surtout si on suit une route au large comme mentionné plus haut et qu'on évite les hauts-fonds en prenant le chenal du Nord.

La planification rationnelle de la surveillance des opérations portuaires, animée par le souci de préserver la qualité de l'environnement aquatique, ou de le 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.

3. EVALUATION DE L'IMPACT DÛ A LA CONSTRUCTION DU PORT

3. EVALUATION DE L'IMPACT DU A LA CONSTRUCTION DU PORT

3.1 Minimisation de l'impact lors de la construction

3.1.1 Présence de l'homme

La présence de l'homme influence l'environnement. La forte concentration d'individus lors de la construction du port, sur terre et sur mer, risque de le faire de façon marquée.

Il faudra donc songer à ériger des installations sanitaires adéquates au tout début et pour la durée de la construction. En plus des déchets sanitaires, il y aura aussi à traiter les rebuts provenant des cuisines.

Il serait bon d'établir un programme de formation pour les ouvriers, visant à les sensibiliser au problème de l'environnement; et enfin, il serait nécessaire de contrôler la possession d'armes à feu et d'articles de pêches chez les ouvriers, car, pour l'homme, sport et massacre ne font souvent qu'un.

3.1.2 Les matériaux

Les matériaux solides, comme le roc, devant être enlevés du

fond marin peuvent être soit accumulés sur la terre ferme, soit enfouis en eaux profondes. En ce dernier cas, il importe d'étudier la zone d'enfouissement et d'établir positivement, avec certitude, qu'il ne s'agit pas d'une frayère.

Les boues de dragage, pour leur part, seront sans doute rejetées à l'eau, comme c'est habituellement le cas dans tous les endroits dragués de la voie maritime. Cette coutume a des effets plus ou moins nocifs selon le type de fond remué. Ceux-ci sont peu connus mais il est évident que la remise en suspension de sédiments augmente la demande d'oxygène relié à la biodégradation des sédiments organiques et favorise la dissolution des éléments toxiques pouvant éventuellement s'y trouver (e.g. le mercure). De plus, la retombée de ces substances recouvre des fonds établis, étouffant frayères, végétation et organismes aérobiques.

Outre la terre et le roc, les hommes devront manipuler du bois, de l'acier, du béton, de l'huile de lubrification, des carburants, peut être des insecticides, des herbicides et des produits retenant la poussière sur les routes du chantier. Les surplus de ces produits ne doivent en aucun cas être jetés à l'eau. Ils ne doivent pas non plus être entraînés par ruissel-

lement. Les contenants de ces produits, au même titre que ceux des produits alimentaires, doivent être éliminés proprement; le meilleur moyen étant sans doute de les enterrer, puisque la recirculation des contenants n'est pas encore adoptée.

Les résidus d'acier seront sans doute minimes étant donné le coût de ce matériau. Toutefois, on ne peut les éviter complètement et aussi craindre un certain gaspillage. Il faudrait alors ramasser ces résidus et les joindre aux contenants déjà mentionnés.

Le bois risque de poser un plus grave problème. La sciure de bois étant facilement dispersée par le vent, devrait être récupérée fréquemment. Tous les autres résidus de bois devront aussi être rassemblés et brûlés.

Sur terre et sous l'eau, il y aura quantité de béton de coulé. Ce matériau est toxique d'une part et d'autre part on voit peu de vie sur une surface de béton. Il convient donc d'éviter de jeter inconsidérément des surplus de béton et les eaux de lavage des bétonneuses et autres appareils impliqués. Ce mal étant toutefois nécessaire, on devrait regrouper ces déchets et les concentrer dans une zone minimum.

Par ailleurs, il faudra veiller à ce que l'infiltration de béton lors des coulages sous-marins soit réduite à sa plus simple expression. Enfin, il serait tout à fait dommage qu'accidentellement une quantité importante de béton s'échappe librement dans le fleuve.

3.1.3 Bruit et onde de choc

La pêche à la dynamite a depuis longtemps fait ses preuves. En plus de tuer les animaux marins, l'onde de choc peut perturber des mammifères en voie d'extinction, comme le bélugas, au moment des amours, et contribuer à la disparition de la race.

Conséquemment, il faut, d'une part minimiser l'onde de choc; en ce cas, des normes peuvent être fournies par des fabricants ayant une longue expérience des explosifs, telle la C.I.L. D'autre part, le programme de construction peut tenir compte des moeurs des habitants des eaux dynamitées. Il serait en effet bête, s'il existe une frayère à proximité, de dynamiter au moment du frayage.

Parallèlement, l'intense activité dans les eaux au moment des travaux peut-être ralentie aux époques où elle risque de per-

turber définitivement des animaux dont la survivance est déjà fragile.

3.2 Effets du port et de la jetée sur l'environnement

Il existe très peu d'informations sur la région de Kamouraska qui fait partie de l'estuaire du Saint-Laurent. Pour le moment, les effets d'un port et d'une jetée éventuels sur l'environnement seront basés sur le peu d'informations disponibles et sur une appréciation tout à fait personnelle. La présence d'un quai le long de la côte nord-ouest de Grande Ile n'affecterait pas en général la direction des courants dans l'estuaire. Il pourrait y avoir cependant certains effets locaux. Suivant la hauteur et la direction du mur de protection nécessaire pour le port, les conditions océanographiques pourraient être changées.

Malheureusement, il n'y a pas eu jusqu'à maintenant d'observations océanographiques d'entreprises entre Grande-Ile et le rivage de façon à prévoir l'effet d'une jetée sur l'environnement. Les conclusions qui suivent sont basées sur Ippen (1966) qui stipule qu'une construction à partir du rivage qui se dirige vers le large, agit comme un barrage et emprisonne le mouvement des flots. La capacité d'endiguer les eaux d'un tel barrage dépend de la hauteur de la structure. Dans le cas, où il y a un mouvement important des flots, l'effet est de provoquer une accumulation de sédi-

ment en amont et une érosion en aval. L'importance de cette érosion est fonction de la résistance et de la qualité du terrain de la région.

On sait que la côte sud du Saint-Laurent incluant la région de Kamouraska est caractérisée par une série de marais salés. Il n'y a pas de doute que la jetée proposée devrait affecter les caractéristiques de ces marais qui fournissent presque entièrement la subsistance aux oiseaux aquatiques qui fréquentent ces parages le printemps et l'été.

Toute jetée doit offrir aux flots des passages de l'amont vers l'aval. Dans l'opinion de l'auteur, plus il y a d'ouvertures moins les effets sur l'environnement sont importants. Mais seulement une étude élaborée et des mesures sur le terrain pourraient nous renseigner sur les effets de la construction sur les marécages, ainsi que sur l'étendue des dégats aux plantes aquatiques.

3.3 Aspects esthétiques des installations portuaires à 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.

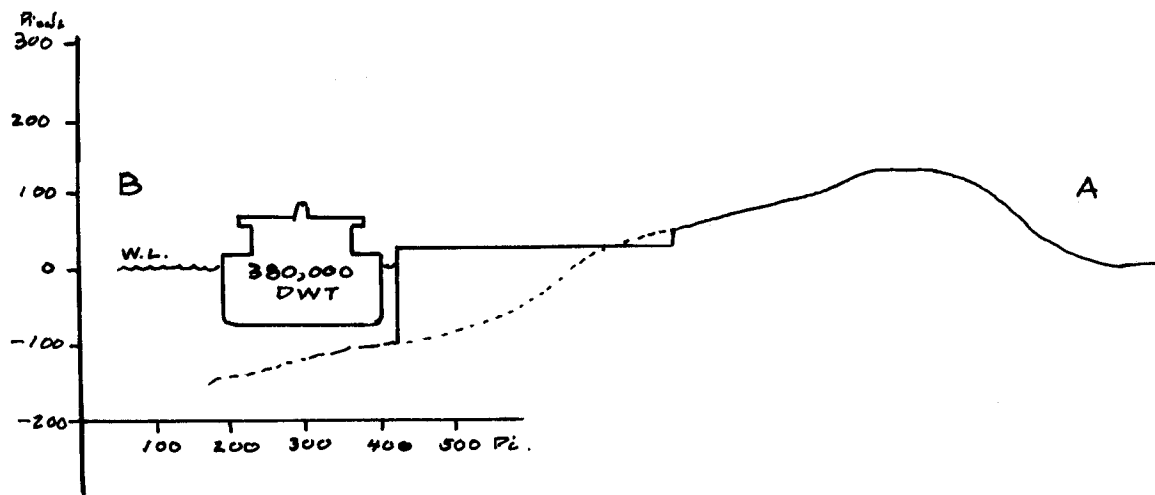
Dans le cas particulier de Grande-Ile, on peut donc prendre pour acquis que les quais et la jetée qu'on se propose de construire ne sont pas en soi des éléments préjudiciables en autant qu'on prenne les mesures nécessaires pour que l'ensemble des constructions donne l'impression de travaux finis et d'une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

En tant que la construction des quais eux-mêmes est concernée, nous suggérons le schéma No 1 proposé par ACRES, qui propose la construction de trois quais "au fil de l'eau" au large de Grande-Ile, parce que c'est la solution que préféreraient les pilotes consultés par la compagnie ACRES. On constate sur la figure 3.1 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.

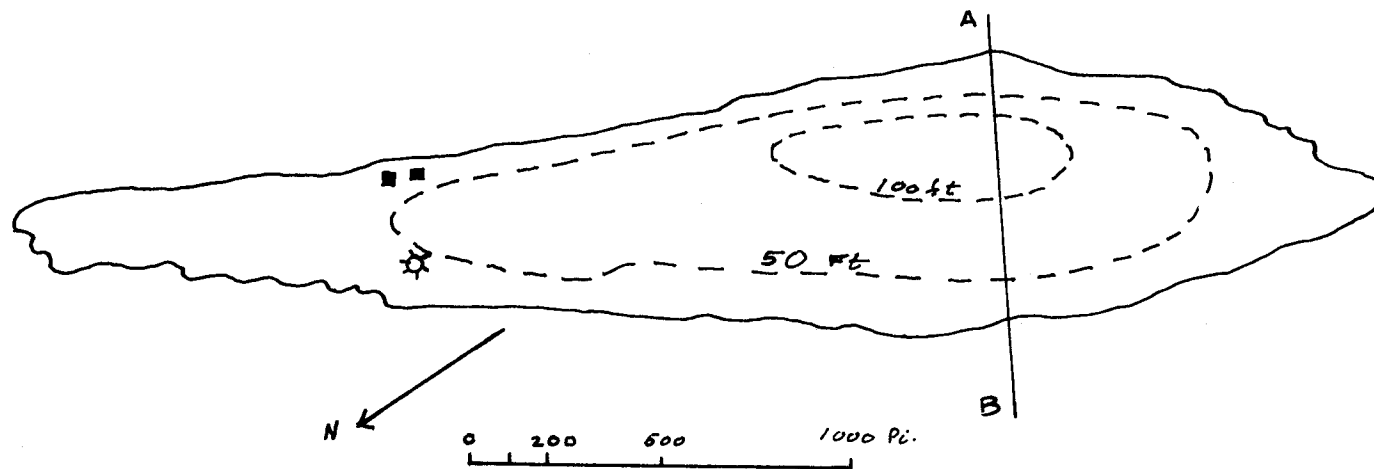


FIGURE 3.1 APPARENCE D'UN PORT SUPER-PETROLIER A GRANDE-ILE, KAMOURASKA

3.4 Référence bibliographique

IPPEN, A.T. 1966.

Estuary and Coastline Hydrodynamics.
McGraw-Hill Book Company Inc., New-York.

4. MESURES POUR LA PREVENTION DES FUITES D'HUILE

4. MESURES POUR LA PREVENTION DES FUITES D'HUILE

4.1 Mesures sur le plan technique

Il ne fait aucun doute que le meilleur moyen d'éviter les dégâts considérables occasionnés par les nappes d'huile est de les prévenir. Cette prévention fera ici l'objet de recommandations au niveau administratif et au niveau technique. Au plan technique, il est nécessaire d'obliger les compagnies responsables du transport d'avoir un équipement de première qualité. Sur le plan technique, la prévention peut également être améliorée par l'utilisation de la technique qui consiste à solidifier l'huile par l'addition de produits chimiques (oil gellation technique).

Le solide ainsi produit peut être reconverti sous phase liquide en le chauffant à 130^oF. Ce procédé semble offrir plusieurs avantages. Il permet d'éliminer ou de diminuer considérablement l'écoulement, lorsque le pétrolier est en difficulté. De plus, l'huile solidifiée qui s'écoule du pétrolier demeure en boules et ne forme pas de nappes. Différents mazouts ont fait l'objet d'essais et il semble que le gel (huile solidifiée) peut s'obtenir en mélangeant le mazout avec 5% en poids d'une solution d'amine et d'isocyanate (rapport 0.75: 1.00 à 1.50: 100). En résumé, il s'agit de former un polymère poreux qui

absorbe l'huile (Goldstein, 1973).

Les essais réalisés en laboratoire ont ensuite été vérifiés sur une plus grande échelle. L'étude a permis d'étudier entre autre les points suivants:

- 1- temps requis pour la formation de gel (mixing time);
- 2- température de la réaction;
- 3- énergie requise;
- 4- degré de solidification.

La formation du gel atteint 50% de sa rigidité finale après une dizaine d'heures. Après deux jours, la solidité du matériau ne change plus. L'influence de la température est directement proportionnelle à la dureté du gel. Le point important consiste dans l'énergie requise pour mélanger de façon adéquate l'agent solidifiant avec le mazout. L'utilisation d'agitateurs classiques n'apparait pas souhaitable à cause des inconvénients suivants:

- 1- dimension restreinte des ouvertures aux divers compartiments dans

un pétrolier;

- 2- poids des installations requises pour les volumes énormes des compartiments;
- 3- système additionnel requis pour l'addition des agents solidifiants.

Devant ces problèmes, il semble qu'un système de recyclage est tout indiqué. Un tel système utilise un jet ainsi que des pompes classiques, probablement déjà disponibles sur les pétroliers.

La conception du jet nécessaire pour assurer un bon mélange doit satisfaire les points suivants:

- 1- les zones mortes à l'intérieur des compartiments doivent être réduites au minimum;
- 2- la turbulence du jet doit être maximum.

Des essais réalisés avec 500 barils d'un mazout originant de Louisiane ont permis de vérifier que les essais en laboratoire étaient répétitifs à une plus grande échelle. Pour quantifier l'énergie requise, nous allons calculer le cas hypothétique suivant. Soit un pétrolier

de 100,000 tonnes, et essayons d'évaluer l'énergie requise pour la formation du gel.

$$100,000 \text{ tonnes} \times 6.67 \frac{\text{barils}}{\text{tonne}} \times 42 \frac{\text{U.S. gal.}}{\text{baril}} = 28 \times 10^6 \text{ U.S. gal.}$$

Il existe une corrélation qui fait intervenir l'énergie requise par unité de volume, le temps de mélange et le degré de solidification. Pour un temps de solidification d'une dizaine d'heures, la racine carrée du produit du temps de mélange par l'énergie volumétrique est égal à 0.8 (Goldstein, 1973).

$$\left[\frac{\text{H P} \times \text{Temps de mélange en minutes}}{\text{Volume en milliers de gallons}} \right]^{0.5} = 0.8$$

$$\left[\frac{\text{H P} \times 30 \text{ min.}}{28 \times 10^3} \right]^{0.5} = 0.8$$

$$\text{H P} = 750$$

Le coût d'une telle technique reste imprécis. Dans un rapport présenté au gouvernement américain, la "Western Company of America" mentionne que cette technique appliquée au transport augmente le coût de 4% (Energy, 1972). D'autre part, la même source affirme qu'il est

possible de construire un système portatif pour une augmentation dans les coûts de transport de 0.18%. Un tel système pourrait être amené rapidement sur les lieux d'un désastre et mis en opération.

Il reste certes des problèmes d'ordre technique à solutionner. Le temps de solidification, l'énergie requise et l'uniformité du mélange sont des variables très importantes et des essais additionnels sont nécessaires. Cette technique cependant représente un élément valable de solution. Recommander que les cargaisons soient solidifiées avant leur entrée dans le Golfe constituerait sans doute un élément très onéreux pour les temps présents mais on pourrait s'assurer que des systèmes portatifs disponibles puissent être amenés rapidement sur les lieux. Il serait important de pouvoir poursuivre les recherches dans ce domaine, afin d'essayer de réduire le coût des produits chimiques utilisés.

4.2 Prévention des accidents

Le moyen le plus efficace pour empêcher la pollution par l'huile est d'arrêter les fuites. Cette tâche est l'affaire de beaucoup de gens et le premier pas à franchir est la sensibilisation de ces gens. Pour le reste, il faudra tirer constamment des leçons à partir des erreurs. En effet, il existe une relation de cause à effet pour ces

fuites, telle que la recherche des causes d'un accident permettra d'éviter qu'il se renouvelle, de même que la connaissance des causes habituelles d'accident orientera la prévention.

4.2.1 Causes des fuites

Les raisons principales de la pollution dans les ports pétroliers sont les défauts de conception, les défaillances mécaniques, les fuites durant les transbordements et, surtout, les erreurs humaines. Qu'on ajoute, à l'intérieur et en dehors du port, la décharge des eaux de lest de réservoirs et des eaux de cale huileuses, et nous saurons sur quoi porter notre attention.

4.2.2 Mesures possibles

4.2.2.1 Défauts de conception

Ce point n'entre pas dans la surveillance routinière mais les constructeurs des ports et des pétroliers ne peuvent négliger l'étude de tous les accidents attribués à cette cause.

4.2.2.2 Défaillances mécaniques

La majorité des accidents causés par un bris mécaniques pourraient être évités par une inspection périodiques des réservoirs, lignes et boyaux. Tout l'équipement immergé y compris les pétroliers, peut être vérifié par un petit sous-marin téléguidé équipé d'appareils ultrasoniques ou d'un fluoroscope excité par un traceur (Rhodamine B) à l'intérieur de l'équipement à examiner (Wadsworth, 1971).

Les valves et les joints doivent être entretenus régulièrement afin d'éviter les fuites chroniques. De même, les séparateurs huile-eau des égouts pluviaux du port (il est inconcevable que ces égouts ne soient pas équipés de séparateurs) doivent être vidés et entretenus.

4.2.2.3 Fuites durant les transbordements

Ces fuites se rapportent régulièrement aux défaillances mécaniques et aux erreurs humaines. Leurs solutions sont celles de ces dites causes. Toutefois, quelques détails spécifiques méritent d'être élaborés.

Il est nécessaire de rédiger des procédures strictes pour les opérations de transfert d'huile et de veiller à l'application de ces mesures. La motivation du personnel pouvant être insuffisante pour ce faire, une contrainte, telle la présence d'inspecteurs, serait sans doute utile.

D'autre part, on constate que nombre d'accidents sont dus au débordement des réservoirs. On peut y remédier simplement en installant des alarmes pour haut niveau avertissant qu'une fuite est imminente.

Enfin, on peut équiper les lignes de transbordements de valves de sûreté pouvant minimiser les dégâts en cas de bris de ligne.

4.2.2.4 Erreurs humaines

On ne peut qu'instituer des programmes d'entraînement régulier pour le personnel d'opération. Il faut éveiller son intérêt pour en faire un personnel attentif, motivé et qualifié. De tels programmes existent (Hammer, 1971); s'ils ne sont pas applicables tels quels, on peut les adapter et en concevoir d'autres. L'idéal n'est pas d'imposer une ligne de con-

duite au personnel, mais de toucher sa compréhension.

4.2.2.5 Décharges illégales

Ces fuites sont associées à celles qui échappent aux contrôles précités. Nous allons examiner au chapitre 5 les moyens pour les découvrir.

4.3 Aménagement du port et des aides à la navigation

4.3.1 Préliminaires

Le but de ce rapport est de commenter l'amélioration des aides de navigation et l'aménagement du port proposés par ACS pour diminuer les accidents de même que la probabilité de laisser du mazout se perdre. Les commentaires s'appliquent aussi aux règles gouvernant l'accostage dans des conditions difficiles.

4.3.2 Accostage dans des conditions difficiles

Pour ce qui est du dernier item mentionné ci-haut, l'accostage dans des conditions difficiles, ce problème est discuté plus

particulièrement par ACS dans: Minutes of meeting, Held at the Offices of the Lower St. Lawrence Pilotage Authority on February 20, 1973 (P.3344.28.00; Feb. 27,1973). On mentionne à la page 3 de ce rapport qu'à plusieurs endroits sur la côte sud il n'y a pas de courants de flot durant les marées de morte eau. Ce point est particulièrement important à vérifier puisque toute la stratégie d'accostage est planifiée en fonction du courant de flot à Grande-Ile. On mentionne sur la même page que les tempêtes du nord-est perturbent sensiblement le cours normal des courants. La meilleure façon de vérifier ces deux hypothèses serait de faire des mesures du courant "in situ" durant une période d'au moins un mois lunaire à une époque de l'année où les vents du nord-est prédominent.

Dans le rapport mentionné ci-haut on rapporte en page 3 les six commentaires du capitaine Rousseau qui résument la situation. Comme ces commentaires sont faits vraisemblablement par un navigateur d'expérience, on devrait en tenir rigoureusement compte.

A la rencontre du M.O.T. en date du 22 février 1973 (Minutes de la rencontre du Bureau du Ministère des Transports, Tour

"C", Place de Ville, Ottawa). on rapporte que M.O.T. est à faire rédiger, sous la direction du capitaine Graves, des directives concernant tous les aspects des ports super-pétroliers. Tout indique qu'il faudra que ACS puisse prendre connaissance de ces directives avant de proposer des modalités d'accostage définitives.

Sauf ce qui précède, il n'y a rien à ajouter au chapitre D-5 du rapport préliminaire de ACS qui discute des manoeuvres et de l'accostage puisqu'on indique que ce chapitre est préliminaire (copie datée mars 1973) et qu'il est basé sur l'ensemble des données recueillies par ACS.

4.3.3 Mesures de controle des pertes de pétrole au cours du transbordement

Quelques configurations de port ont été élaborées par ACS pour le projet de Grande-Ile. Pour ce qui concerne le contrôle des pertes de pétrole au cours du transbordement on peut grouper les six propositions de ACS en deux catégories. Le premier schéma propose la construction de quais au "fil de l'eau" tandis que les cinq autres schémas prévoient l'aménagement d'un bassin.

Le contrôle des pertes de pétrole est beaucoup plus difficile à assurer lorsque les quais sont au fil de l'eau. La méthode de contrôle la plus sûre serait d'entourer le navire d'un barrage. C'est la solution proposée par la firme Soros Associates Inc; (1972) qui fait l'étude des possibilités de développement de port en eau profonde au large de la côte est des Etats-Unis. La force des courants est un facteur important à considérer dans le cas de quais au fil de l'eau. Des études en laboratoire conduites par Wilkinson (1972) au Conseil National de Recherches du Canada ont démontré que lorsque les courants sont trop forts (coefficient de Froude excédant 0.51) le pétrole est entraîné sous le barrage. On réalise qu'on ne résout pas le problème en augmentant la profondeur du barrage puisqu'on augmente en même temps l'intensité du courant. La possibilité d'entourer les navires d'un barrage flottant, même si c'était techniquement réalisable, demeure donc problématique. Une autre solution plus facilement réalisable serait d'insérer sous les boyaux de raccordement un auge immense qui pourrait récupérer les pertes de pétrole de quelque nature qu'elles soient.

A noter que la firme Soros Associates, mentionnée plus haut, prévoit pour le projet de port en eau profonde effectué pour

le compte de l'office of Research and Development, Maritime Administration, U.S. Department of Commerce, que le coût des systèmes de contrôle de la pollution se chiffrera à 10% du coût total du projet.

4.3.4 Aides de navigation

Il sera sans doute prévu pour le port de Grande-Ile l'ensemble des aides de navigation conventionnels que l'on retrouve à l'approche de tous les ports: bouées, balises, lumières, etc. Ces aides conventionnels n'empêchent pourtant pas les accidents de se produire fréquemment. C'est ce qui ressort d'une étude poursuivie par Porricelli, Kaith et Storch (1971) qui ont entrepris de relever à l'échelle mondiale les accidents survenus aux pétroliers durant les années 1969 et 1970. La compilation des données qu'ils ont accumulées concernant 1416 accidents fournit les détails résumés dans le tableau 4.1.

Dans la liste des causes d'accidents énumérés ci-haut, les trois premières (abordage, collision, échouage) sont directement imputables aux méthodes de navigation. Ces trois causes totalisent 65.4 pour cent des accidents. Si de plus on tient compte du fait que les superpétroliers utilisés à Gran-

Abordage (338)	23.8%	
Collision (autre qu'abordage) (222)	15.7%	
Echouage (366)	25.9%	65.4%
Explosions (32)	2.2%	
Feux (95)	6.7%	
Accidents coque (216)	15.3%	
Accidents ponts et machines (144)	10.2%	34.4%
Autres (3)	0.2%	0.2%
<p><u>TABLEAU 4.1</u> RESUME DE 1416 ACCIDENTS SUR UNE PERIODE DE DEUX ANS (1969-1970)</p>		

de-Ile seront des navires de construction récente transportant du pétrole brut, on peut assumer que les dangers de feu et d'explosion seront réduits au minimum de même que les bris de coque et les défauts mécaniques. On voit donc l'importance que prennent les aides de navigation si l'on veut virtuellement éliminer toutes les causes d'accident.

Il faudrait concevoir l'acheminement d'un navire vers un port de la même façon qu'un avion approche un aéroport. Lorsque l'avion entre dans la zone d'approche, le poste de contrôle de l'aéroport repère l'avion sur l'écran de radar et prend la situation en main. Ce poste de contrôle qui est au courant des allées et venues de tous les avions est en mesure de dicter à tel appareil en particulier les procédures pour atterrir en toute sécurité. Le même concept pourrait s'appliquer à l'approche des navires s'il existait un réseau de radar sur la terre ferme et des lois qui obligent les navires à se conformer aux directives qui leur sont fournies par le centre de contrôle situé sur la terre ferme. Il faudrait dans de telles circonstances que le capitaine soit déchargé de la responsabilité du navire qui serait alors assumée par le poste de commande sur la terre ferme. Apparemment dans certains ports de mer équipés de radar terrestre, le capitaine du navire

doit se conformer aux directives qu'il reçoit de la terre ferme tout en gardant la totale responsabilité du navire. Cette pratique n'est pas conforme aux meilleures traditions maritimes.

Plusieurs ports de mer sont équipés de radars terrestres. Un tel système a été implanté dans le port de Rotterdam en 1956. C'est donc dire que l'idée n'est pas neuve et que la technologie est à point. On voit sur la figure 4.1 que le radar terrestre permet de contrôler efficacement la navigation dans des conditions beaucoup plus difficiles que celles rencontrées à Grande-Ile. La Compagnie Philips, par exemple, précise que les radars terrestres sont plus précis parce qu'on peut utiliser des antennes plus grandes et qu'on dispose à terre de plus d'espace pour l'appareillage électronique. On peut ainsi garantir une précision de 20 mètres plus 0,25% de la portée du radar avec une précision angulaire de 0.4° .

Il faudrait donc étudier sérieusement ce type d'aide de navigation en tenant compte des conditions particulières de Grande-Ile, soit la glace en hiver qui rend difficile le balisage au moyen de bouées et la brume et la neige qui diminuent la visibilité plusieurs jours par année.

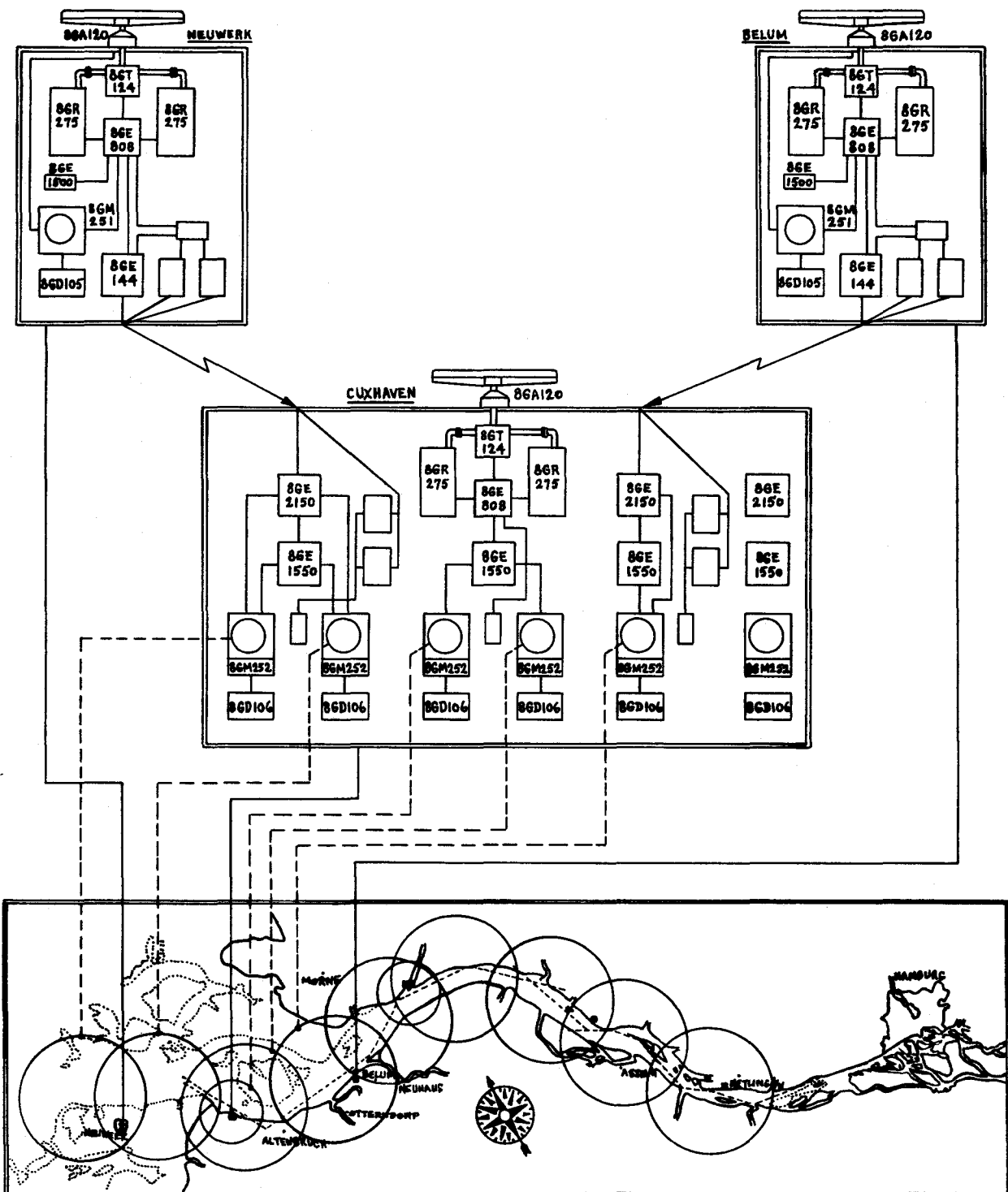


FIGURE 4.1 SCHEMA QUI MONTRE LE FONCTIONNEMENT DU RESEAU DE RADAR SUR LE FLEUVE ELBE

4.4 Références bibliographiques

EMERY, A.R. 1972.

Research Information Paper (Fisheries) #40.
Ministère des ressources naturelles, Province d'Ontario, juillet.

GOLDSTEIN, A.M., KOROS, R.M. et TARMY, B.L. 1973.

Prevention and Control of Oil Spills, API, Washington, mars.

HAMMER, P.M. 1971.

"Prevention of Marine Pollution Through Understanding"
Conférence sur la prévention et le control des fuites d'huile, Hôtel
Sheraton Park, Washington D.C. juin.

PORRICELLI, J.D., KEITH, V.F. et STORCH, R.L. 1971.

"Tankers and the Ecology" présentée à "The Society of Naval Archi-
tects and Marine Engineers"
New York, novembre.

SOROS ASSOCIATES INC. 1972.

"North Atlantic Deep Water Terminal" Ocean Industry, octobre.

WADSWORTH, OWEN ET LEAF WILLIAM 1971.

"Oil Spill Prevention and Detection Using an Instrumented Submersible",
Conférence sur la prévention et le control des fuites d'huile, Hôtel
Sharaton Park, Washington D.C., juin.

WILKINSON, D.L. 1972.

"Containing Oil Slicks in Flows of Finite Depth",
13 th International Conference on Coastal Engineering, publication
No 3-3.

5. MESURES D'URGENCES

5. MESURES D'URGENCE

5.1 Introduction

Le transport maritime du mazout représente pour l'environnement un danger énorme dont les conséquences sont loin d'être complètement connues. La difficulté première de solutionner la récupération des nappes d'huile réside dans l'envergure du problème. Le problème se pose soudainement sous des conditions non établies et la vitesse de réaction devient un facteur capital. On a remarqué que 200 gallons de mazout répandus sur une mer calme vont former une nappe de 300 pieds de diamètre et de 0.030 pouce d'épaisseur après seulement dix minutes. Six heures plus tard, le diamètre moyen de la nappe sera devenu égal à 900 pieds et l'épaisseur moyenne sera de 0.003 pouce. Les phénomènes d'évaporation vont diminuer le mouvement de la nappe et après une journée, elle aura atteint un diamètre moyen stable de 1500 pieds et une épaisseur de 0.001 pouce (Wilkinson, 1971). L'épaisseur de la nappe peut être évaluée de façon qualitative à partir du tableau 5.1.

Cette dernière description démontre assez bien la vitesse du phénomène. Le problème se complique lorsque les courants et la vitesse des vents entrent dans la partie. La turbulence et le mixage entre l'eau et l'huile forment des émulsions qui peuvent contenir jusqu'à 70% d'eau (Coupal, 1970). Des essais réalisés

Apparence du film	Epaisseur du film 10^{-3} mm	Quantité d'huile sur une surface de 1 km^2	
		litres	tonnes
très peu visible	0.05	50	0.04
visible comme une couleur argent sur la surface	0.10	100	0.08
couleur bleue observable	0.15	150	0.12
couleur violacée	0.30	300	0.24
couleur bleue foncée	1.0	1000	0.80
couleur noire	2.0	2000	1.60

TABLEAU 5.1 APPARENCE DE L'HUILE SUR L'EAU

par une équipe de l'INRS démontrent que de telles émulsions peuvent se produire deux heures après le déversement de l'huile.

Il faut donc dans la pratique insister sur trois éléments importants si l'on désire vraiment mettre sur pied une logistique efficace pour combattre ce fléau. Il faut d'abord développer le concept de prévention au maximum. En second lieu, il est nécessaire d'empêcher l'huile de se répandre et en dernière étape, il faut récupérer l'huile. Le présent rapport retiendra deux de ces trois idées principales et discutera de retenue et de récupération d'une nappe d'huile sur le fleuve.

Nous allons surtout insister sur les fuites susceptibles de se produire sur le fleuve. Le pompage du mazout hors du pétrolier peut générer certaines fuites; mais ce phénomène peut être contrôlé sans grande difficulté. En plus de pouvoir contrôler les quantités déversées, il est possible de mettre sur pied un système de récupération efficace; car l'endroit est ordinairement situé dans une base naturelle à l'abri des vents et courants.

5.2 Le comportement des nappes d'huile entre Grande Ile et le Dé- troit de Cabot

5.2.1 Préliminaires

Les commentaires sur le déplacement des nappes d'huile:

sont basés sur les données disponibles concernant les courants de surface de l'estuaire et du golfe Saint-Laurent et sur les résultats inédits d'expériences récentes faites dans la région de Rivière-du-Loup et de l'Ile Verte. Ces expériences sur le déplacement de nappes d'huile montrent la difficulté de tirer des conclusions spécifiques basées sur des généralités.

5.2.2 Le comportement des nappes d'huile près de Grande Ile

Les scientifiques de l'Université du Québec et de l'Université de Toronto en collaboration avec le Centre Canadien de télédétection (Canada Centre for Remote sensing) ont fait des expériences sur le comportement d'huile déversées intentionnellement dans la région de Rivière-du-Loup et de l'Ile Verte. L'expérience consistait à répandre de faibles quantités d'huile crue et d'observer la vitesse de dispersion, le déplacement, l'évaporation, la dissolution, la formation d'émulsion huile et eau. Au premier essai fait le 22 novembre 1972, on a répandu deux barils d'huile crue dans le chenal sud, quatre milles à l'est de l'Ile-aux-Lièvres (voir fig. 5.1). Au second essai, une plus grande quantité d'huile a été utilisée. Quatre barils d'huile ont été déversés dans le fort courant de marée près de l'Ile Verte.

(fig. 5.1). Ces expériences ont été poursuivies à bord du "Québécois" avec l'appui du Centre Canadien de Télédétection. Cet organisme a utilisé deux avions pour photographier les nappes d'huile avec différents filtres et films en couleur et en noir et blanc. On a eu recours à des caméras à l'infrarouge et à des détecteurs au laser.

Bien que l'analyse des résultats ne soit pas complétée, on peut tirer certaines conclusions. Vu que les conditions physiques à Grande Ile sont semblables à celles de la région de Rivière-du-Loup et de l'Ile Verte, les observations qui suivent s'appliquent à toute la région y compris celle du port pour super-pétrolier.

1- L'huile se divise en longues et minces bandes dans l'espace de quelques heures après qu'elle a été déversée.

2- Des émulsions huile et eau se forment sous l'action même modérée des vagues en deça de deux heures après le déversement d'huile.

3- L'huile suit le courant de marée et atteint une vitesse de 5 noeuds du moins pendant les expériences de novembre 72.

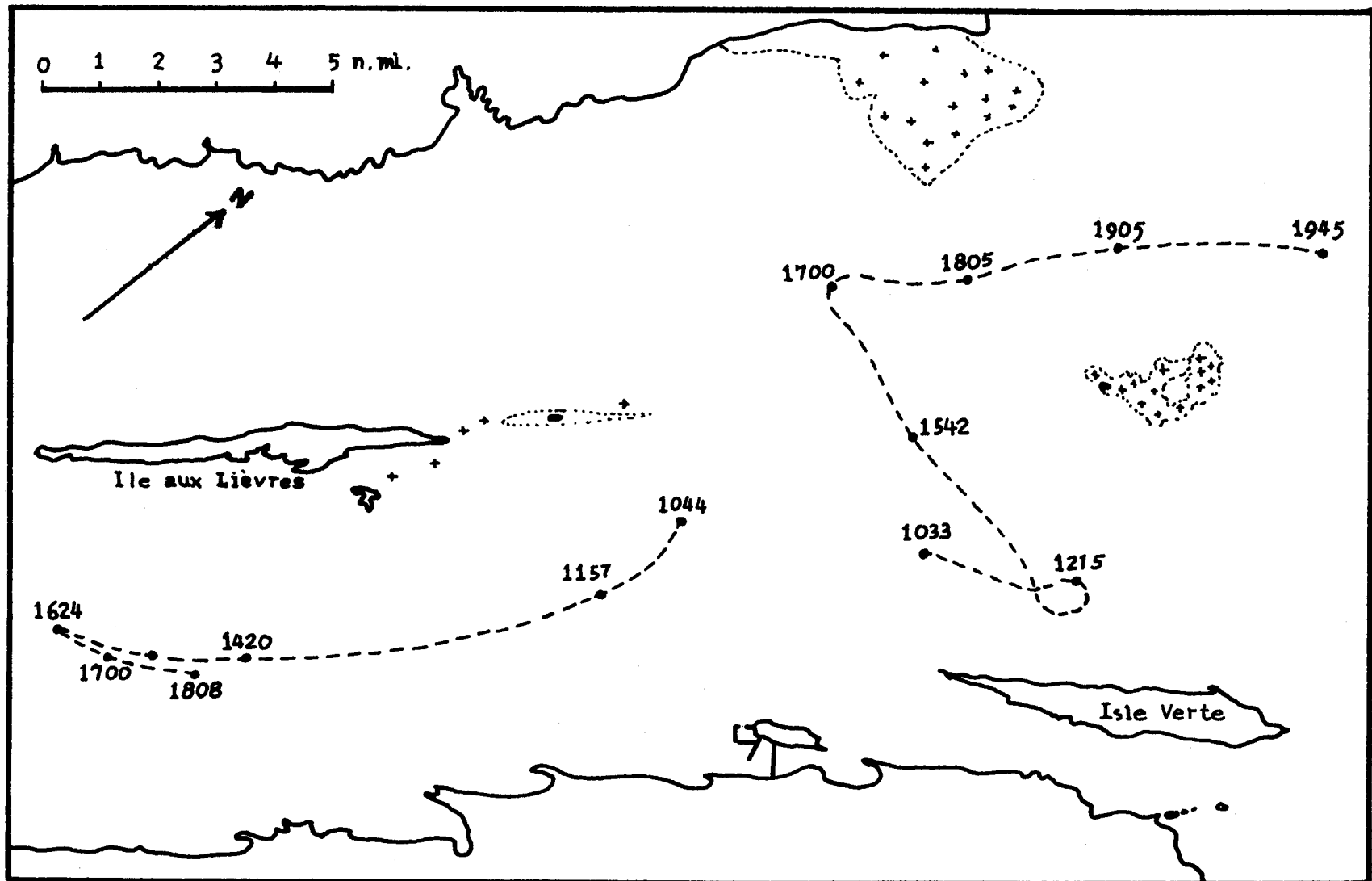


FIGURE 5.1 GRAPHIQUE INDIQUANT LE MOUVEMENT DES NAPPES D'HUILE DANS L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT
PRES DE L'ILE-AUX-LIEVRES ET DE L'ILE VERTE

4- Les observations 1-2-3 indiquent qu'il serait impossible de récupérer l'huile répandue dans la région de Kamouraska-Ile Verte de l'estuaire.

5- L'huile a tendance à demeurer au large plutôt que de s'approcher du rivage. C'est du moins, ce qu'on a pu observer durant les expériences particulièrement près de l'Ile Verte où des bandes d'huile se dirigeant au début, vers le rivage, se sont retournées vers le large entraînées par les courants prédominants.

6- D'après les analyses préliminaires, l'effet du vent sur le déplacement des couches d'huile est un facteur important dont il faut tenir compte pour pouvoir prédire ces déplacements dans l'Estuaire.

7- On ne peut prévoir le déplacement des couches d'huiles en suivant les données du modèle mathématique de la circulation des marées mis au point par le Conseil National des Recherches du Canada. On a pu prouver cette affirmation en comparant l'ensemble du parcours des couches d'huile sur le fleuve avec les résultats des expériences en bassin répétées dans les mêmes conditions en utilisant les données du modèle mathématique du Conseil National de Recherche.

5.2.3 Les courants de l'estuaire et du golfe Saint-Laurent

Les expériences pratiques décrites plus haut démontrent qu'il n'est pas possible de prévoir le comportement des couches d'huile dans l'estuaire. Il n'est pas superflu de décrire l'ensemble des courants de surface de l'estuaire et du golfe Saint-Laurent pour essayer de connaître, dans ses grandes lignes, le comportement des couches d'huile et leur dispersion possible.

La circulation générale des eaux du golfe Saint-Laurent est en sens inverse des aiguilles d'une montre. Les données sur les courants proviennent de mesures directes de courant (Farquharson 1962, 1963, 1966; Blackford 1965, Forrester 1967 et Laurence 1968); de calculs des forces dynamiques (Mac Gregor, 1956 Trites 1963, Farquharson 1963, 1966; Blackford 1965, 1967; El-Sabh et Johannessen 1972); de bouteilles dérivantes, de colorants (Bumpus et Lanzier 1965; Lauzier 1965, 1967; Boudreault et Heritier 1971, Boudreault 1972); de modèle théorique (Blackford 1965, Murty et Taylor 1970). Le gros des recherches ont été faites durant l'été en absence de glace. Très peu d'informations proviennent des mois d'hiver.

Dawson (1913) et Sandstrom (1919) ont été parmi les premiers à faire des études sur les courants du détroit

de Cabot. D'après les calculs géostrophiques Mac Gregor (1956) a constaté un courant très fort de sortie du côté du Cap Breton et un courant plus faible d'entrée du côté de Terre-Neuve. Il se produit beaucoup de variations d'un test à l'autre. Les courants sont plus forts en août et plus faibles en avril et mai. Tout récemment, des mesures directes de courant ont été faites, pendant un mois, tout au long du détroit de Cabot. Les résultats (fig. 5.2) indiquent un courant d'entrée sur toute la profondeur du détroit du côté de Terre-Neuve (El-Sabh, 1973).

Dawson (1907), Huntsman (1954), Bailey (1958) et Farquharson et Bailey (1966) ont fait des recherches au détroit de Belle-Isle. Leurs études indiquent qu'en général il n'y a pas de grand déplacement d'eau dans le détroit: un léger courant entrant longeant la côte du Labrador et un courant sortant le long de la côte de Terre-Neuve. A certaines occasions, on constate un fort courant sortant qui dure pendant plusieurs jours, même des semaines. A d'autres occasions, c'est le contraire, un courant entrant qui se prolonge également. Les causes possibles de ces phénomènes temporaires seraient l'effet du vent et la baisse de pression barométrique du nord vers le sud (Dawson 1970; Bailey 1958 et Laurence 1968).

Avant la construction de la jetée de Canso, il exis-

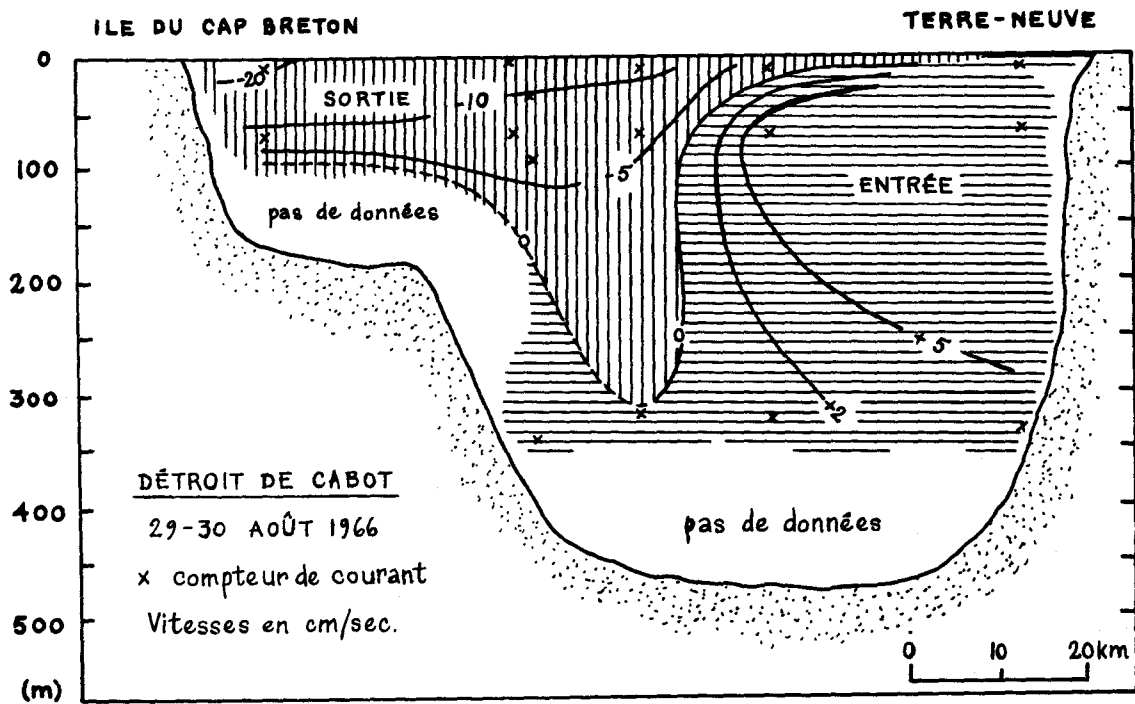


FIGURE 5.2 VITESSE DU COURANT DANS LE DÉTROIT DE CABOT

tait un fort courant de George Bay vers l'océan Atlantique. Depuis la fermeture de ce détroit, il est remplacé par un fort courant du nord-est qui longe la côte du Cap Breton en se dirigeant vers le détroit de Cabot.

La masse d'eau du fleuve Saint-Laurent constituée de plus de la moitié d'eau douce, a une influence majeure sur les courants du golfe comme le rapportent Farsuharson (1966) et Forrester (1967,1970) d'après des mesures directes de courants dans l'estuaire.

Il faut mentionner comme une caractéristique importante de l'estuaire, la formation du courant de Gaspé qui commence à se faire sentir dans la région de Rimouski, Pointe des Monts (fig. 5.3) et qui se continue tout le long de la côte nord de la Gaspésie. Ce courant rejoint celui de l'Ile d'Anticosti du côté du passage de Gaspé. Cet ensemble est sujet cependant à des variations considérables et même le courant de Gaspé peut disparaître à certaines occasions (Farquharson 1966).

En compilant toutes les données disponibles sur les courants dans le Golfe, Trites (1970), a réussi à tracer un tableau des courants de surface pendant l'été. Les principales caractéristiques sont la présence de courants en sens contraire dans les détroits communiquants avec l'océan,

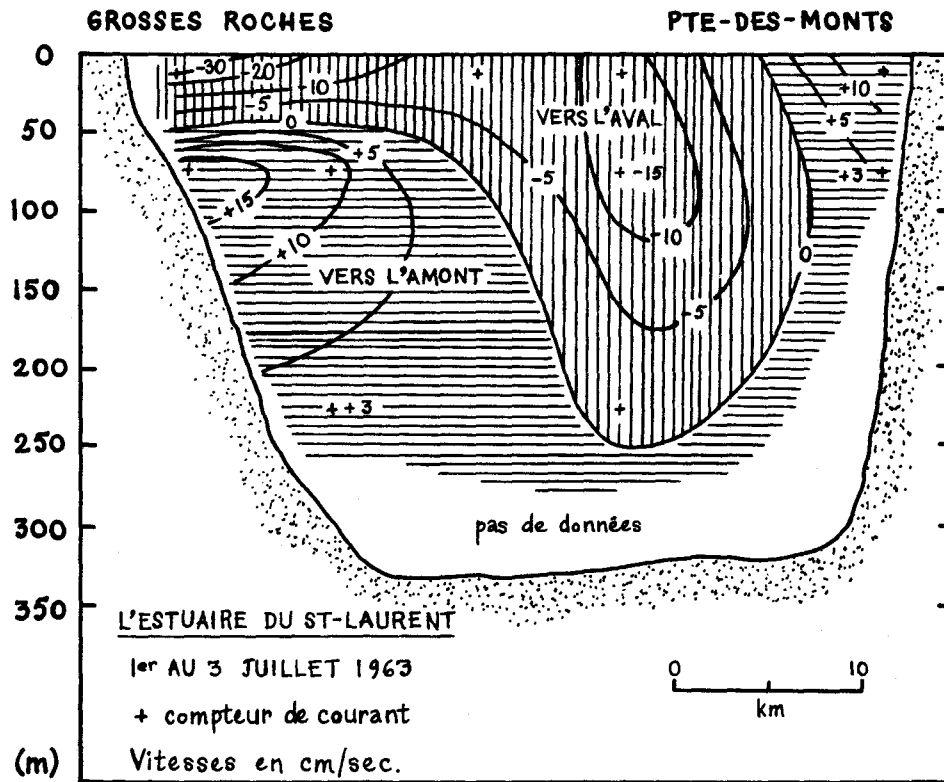


FIGURE 5.3 VITESSE DU COURANT DANS L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT

la circulation des eaux en sens inverse des aiguilles d'une montre à l'intérieur du golfe et le courant de Gaspé. Les vitesses les plus élevées 10-20 m. par jour, se rencontrent dans le courant de Gaspé et celui de sortie du détroit de Cabot. D'après le mouvement de colorants utilisés dans la partie sud du golfe en été et par le calcul du flot géostrophique relatif, Blackford (1965, 1967) a distingué deux tourbillons, l'un dans le sens des aiguilles d'une montre, l'autre de sens contraire, de 20-30 Km de diamètre dans la couche au dessus de la thermocline. Ces tourbillons sont entraînés par le courant dominant du sud-est qui longe la côte nord de l'Ile du Prince-Edouard. (Figure 5.4)

Depuis 20 ans un réseau de stations dans le golfe Saint-Laurent compilent, pendant novembre de chaque année, des données sur la température et la salinité. Ces chiffres servent de base aux Centre d'Information D.O.E. pour la prédiction des conditions des glaces. L'ensemble de ces données permet d'étudier la circulation de surface durant novembre (El-Sabh 1973). Les principales caractéristiques des courants d'automne peuvent se ramener (fig. 5.5) à l'existence de deux tourbillons en sens contraire des aiguilles d'une montre à l'ouest et au sud-est de l'Ile d'Anticosti, du courant de Gaspé avec une vitesse de 30-40 cm/sec. d'une entrée de courant au détroit de Cabot, le long de la côte de Terre-Neuve et d'une sortie du côté du Cap Breton.

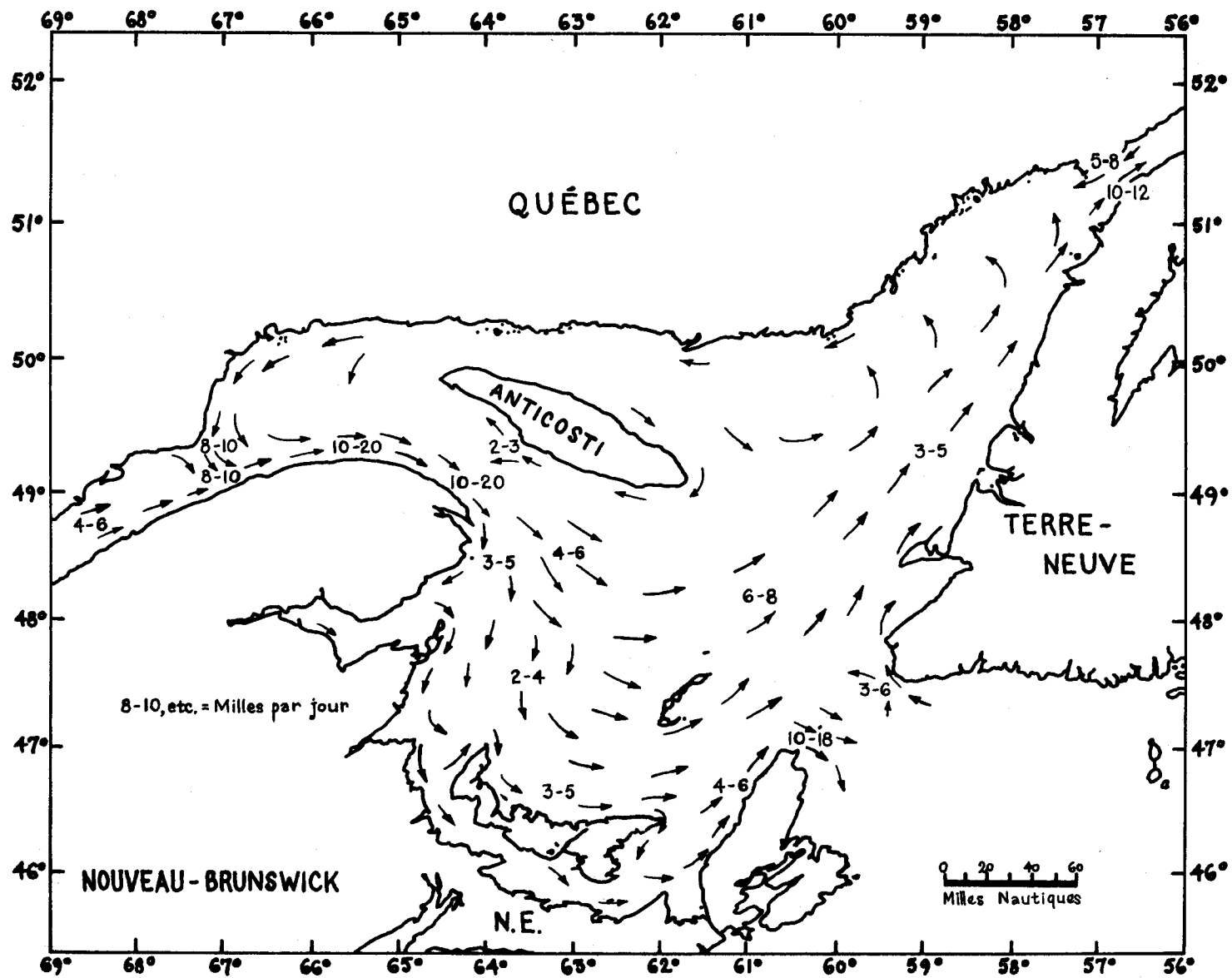


FIGURE 5.4 L'ENSEMBLE DES COURANTS DE SURFACE DANS LE GOLFE SAINT-LAURENT PENDANT L'ÉTÉ

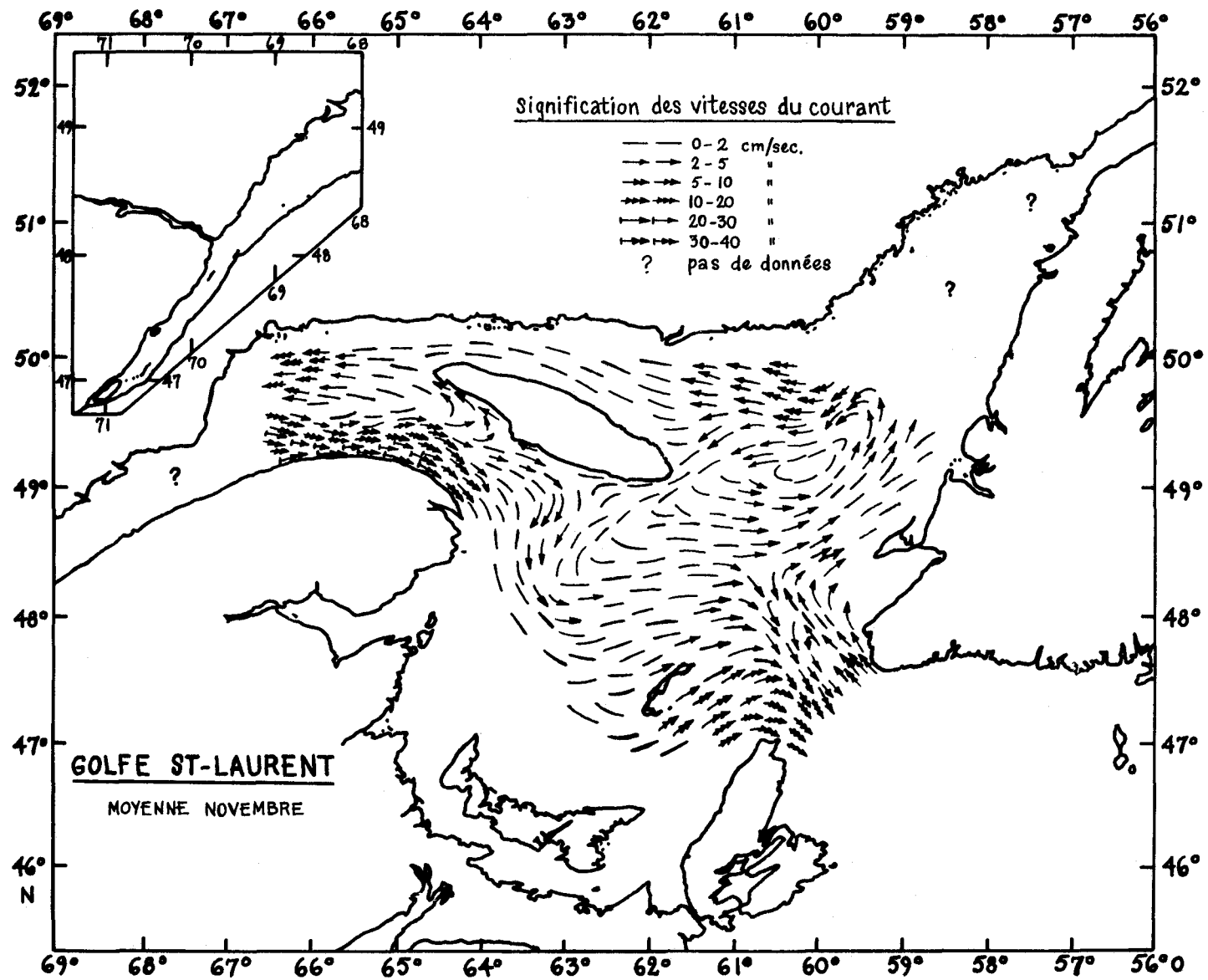


FIGURE 5.5 L'ENSEMBLE DES COURANTS DE SURFACE DANS LE GOLFE SAINT-LAURENT PENDANT L'AUTOMNE

Le premier et de fait, le seul effort fait pour étudier le comportement des courants pendant l'hiver, a été le travail de El-Sabh et Johannessen (1972) basé sur les observations obtenues à bord du HMCS "Labrador" en mars 1956 et 1957 et du CSS "Baffin" en février 1962. Les résultats indiquent que le grand tourbillon en sens contraire des aiguilles d'une montre au sud-est de l'Ile d'Anticosti, qui est constant pendant l'été et l'automne, disparaît pendant les mois d'hiver (fig. 5.6). Au contraire un faible tourbillon en sens des aiguilles d'une montre apparaît au sud est de l'île. La circulation de surface dans le détroit de Cabot pendant l'hiver se fait vers la sortie des deux côtés du détroit. Le courant est plus fort cependant du côté du Cap-Breton. Cette constatation est en accord avec les résultats d'expérience faites avec des bouteilles dérivantes, au même endroit et au même temps de l'année (Bumpus et Lauzier, 1965). Un fait intéressant à noter, est un courant d'entrée en surface au centre du détroit qui se divise par la suite au nord et au sud pour rejoindre le courant de sortie sur les deux côtés. Ce blocage du courant d'entrée de surface des eaux de l'Atlantique peut-être dû au vent de nord-ouest alors prédominant dans le golfe. Ce tableau général des courants de surface dans le détroit de Cabot est en accord assez étroit avec les constatations récentes d'Ingram (1973) qui, en suivant les champs de glace, a déterminé les courants de surface aux environs du Cap-Breton.

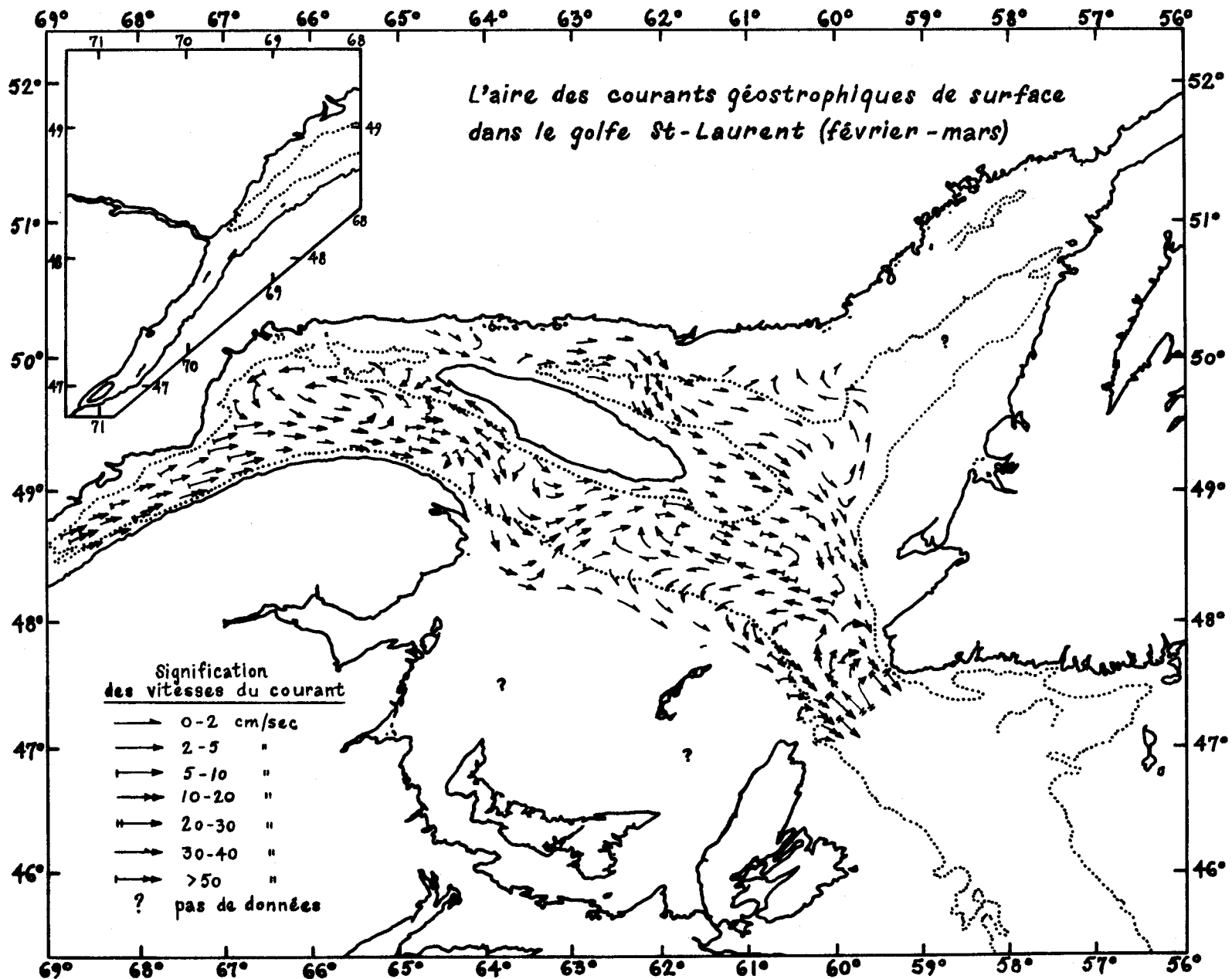


FIGURE 5.6 L'AIRES DES COURANTS GEOSTROPHIQUES DE SURFACE DANS LE GOLFE SAINT-LAURENT (février-mars)

Les données sur les courants en profondeur du golfe sont peu abondantes. Il n'est pas possible présentement de tracer un graphique de ces courants à la grandeur du golfe et pour toutes les saisons. Les dériveurs de fond lancés par Lauzier (1967) dans la partie sud et centrale du golfe indiquent en général un mouvement vers le large à la profondeur de 50-100 brasses sur le côté nord-est du chenal Laurentien. Les courants dans la partie sud-ouest du golfe sont très complexes. Cependant dans la région de 7000 m. carrés entourant les îles de la Madeleine, ils convergent tous vers ces îles. Les expériences avec les dériveurs de fond indiquent que le courant de fond a une vitesse de l'ordre de 0.3 - 0.7 m/jour.

On a fabriqué pour l'étude de l'ensemble des courants du golfe Saint-Laurent des modèles théoriques basés sur une forme simplifiée d'équations de mouvement. Blackford (1965, 1967) a pu faire une série d'expériences avec l'addition d'une soufflerie qui reproduisait les conditions du vent dans le golfe. Il a ainsi créé avec ce modèle, le courant de Gaspé et un tourbillon en sens contraire des aiguilles d'une montre dans la partie représentant le centre du golfe. Murty et Taylor (1970) ont perfectionné le modèle théorique en tenant compte d'une topographie plus réelle et de certaines particularités océanographiques en plus de l'action

du vent. Ils ont obtenu de cette façon une représentation plus fidèle des courants dont les principales caractéristiques concordent avec les observations déjà faites sur les lieux même. Il est évident d'après ces résultats que le vent joue un rôle important dans la formation des courants dans le golfe.

En conclusion, si les déversements d'huile dans l'estuaire et le golfe sont nombreux et dispersés, la répartition de l'huile se fera suivant la circulation des courants tel que décrit plus haut. Cependant, comme il est question d'évènements particuliers on ne peut utiliser des considérations générales comme base de prédiction les faits particuliers. Des courants et les tourbillons décrits plus haut existent réellement mais ils peuvent se déplacer et même disparaître de temps à autre. On doit perfectionner et compléter nos connaissances sur les variations saisonnières et météorologiques qui ont une influence sur l'ensemble des courants, avant d'être en mesure d'utiliser une forme quelconque de prédiction du comportement des couches d'huile.

5.3 Procédure de surveillance et de contrôle des fuites

5.3.1 Préliminaires

Une fuite échappant au contrôle du personnel du

port et des bateaux peut être rapportée par un détecteur électronique ou par d'autres observateurs. Des vaisseaux de patrouille peuvent naviguer dans les environs immédiats du port et jusqu'aux limites où il est possible de découvrir une nappe de pétrole due à une fuite ou à une décharge illégale. Cette tâche peut également être remplie par un petit avion, ce dernier pouvant couvrir plus rapidement un territoire plus grand.

Outre ces observateurs officiels, il est nécessaire de sensibiliser tout individu susceptible de repérer une fuite d'huile et de lui indiquer les autorités à contacter. De cette façon les bateaux de pêche et de plaisance ainsi que les autres navires du gouvernement deviendront observateurs occasionnels. Il en est de même pour les avions privés ou commerciaux, et pour tous les gens pouvant entrer en contact avec l'eau.

Ces observations seront d'ailleurs nécessaires dans le cas d'un désastre pour suivre l'évolution du polluant. On pourra alors les appuyer grâce aux techniques de télédétection.

5.3.2 Télédétection

Ces techniques s'appliquent à un domaine plus vaste

que le port, mais on ne peut négliger le fait que les pétroliers ne sont pas toujours au port, et qu'en plus de décharges illégales, ils peuvent s'échouer, entrer en collision, couler. Ces méthodes permettent de détecter, évaluer et même identifier à distance une fuite d'hydrocarbure. 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 obtiene 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.

Ces techniques de détection présentent sur l'observation directe l'avantage d'opérer dans toute la gamme des ondes électromagnétiques et de fournir un document reproductible et interprétable.

En effet, dans le visible, le contraste entre l'huile et l'eau est peu prononcé. La coloration gris vert de l'eau polluée par l'huile peut facilement être acceptée par l'oeil comme une teinte normale pour l'eau.

Le principe de base de la télédétection est que l'absorption, l'émission, la diffraction et la réflexion de l'énergie électromagnétique par une matière donnée sont sélectives en fonction de la longueur d'onde et spécifiques à cette matière. Selon qu'on "éclaire" artificiellement l'objet ou qu'on observe la lumière qu'il émet naturellement, on distingue les modes actif et passif.

Les récepteurs, placés à bord d'un avion, peuvent être: 1- la pellicule photographique, 2- le spectrographe, reproduisant les résultats de son balayage sur pellicule photo ou sur ruban magnétoscopique; et 3- l'antenne radar ou radiométrique. Ce dernier ne fournit pas d'image comme telle mais présente l'avantage de ne pas être affecté par la météo.

5.3.3 Description de techniques de télédétection

5.3.3.1 Spectro-radiométrie

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.

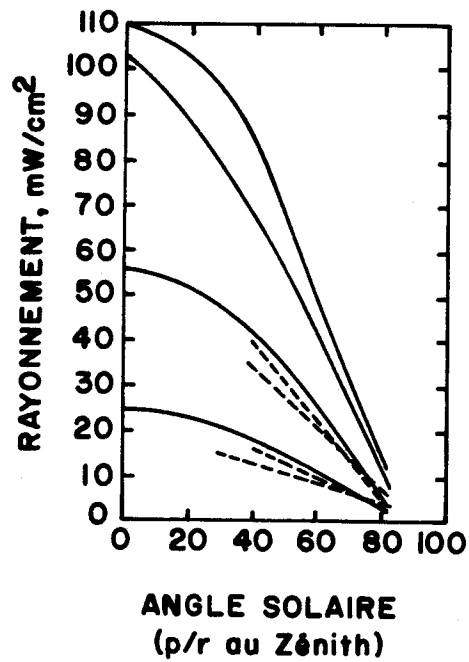
La garde côtière américaine a mené des expériences afin d'évaluer plusieurs techniques radiométriques

ques 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 spectroradiomètre. Les figures suivantes illustrent les caractéristiques de la lumière solaire. La figure 5.7 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 5.8 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 5.9 montre que la lumière solaire dépend de l'angle d'incidence et des conditions du ciel.

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



Rayonnement total
 (composantes directe et diffuse)
 composante diffuse
 ... ciel clair
 ... cirrus
 ... altocumulus
 ... stratus

FIGURE 5.7. RAYONNEMENT SOLAIRE AU NIVEAU DU SOL.

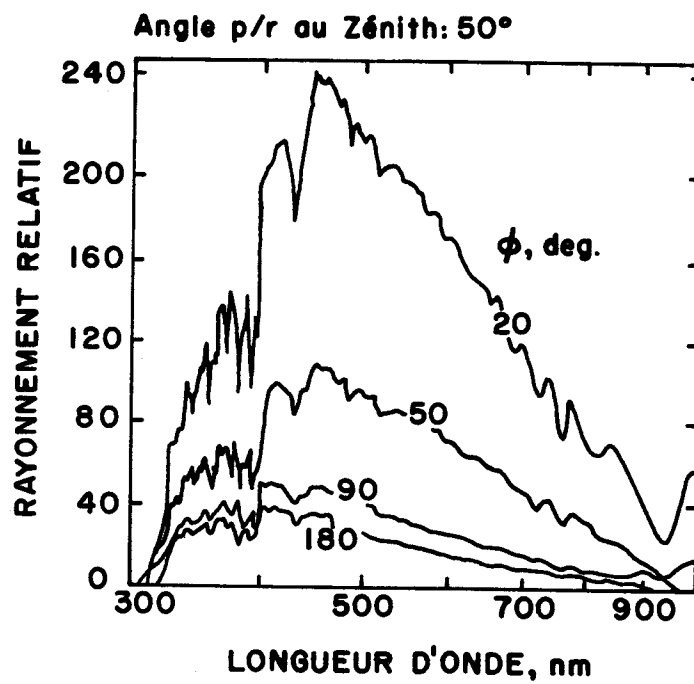


FIGURE 5.8. DISTRIBUTION SPECTRALE DU RAYONNEMENT SOUS DIFFERENTS ANGLES.

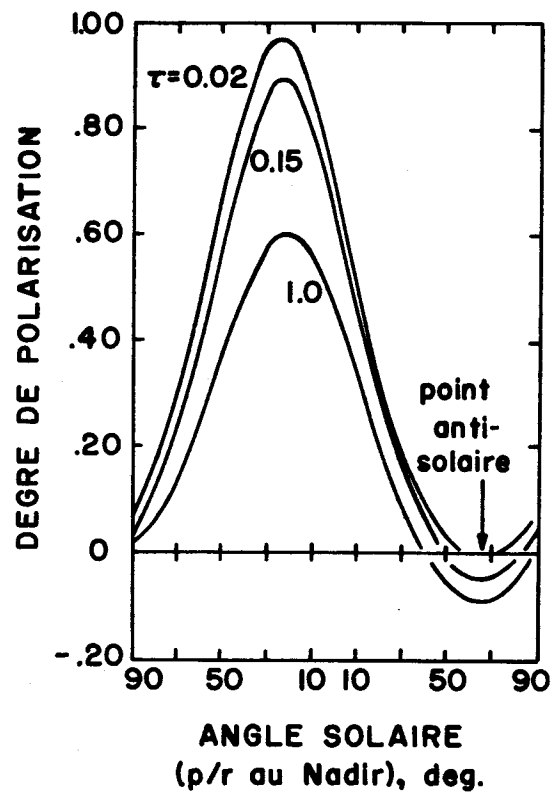


FIGURE 5.9. DEGRE DE POLARISATION EN FONCTION DE LA POSITION DU SOLEIL.

(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.

5.3.3.2 Analyse multispectrale

L'huile flottant sur la mer impressionne mal les émulsions panchromatiques. 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'oeil 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 décou-

verte 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 infrarouges 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 5.10.

Sur une épreuve 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 ap-

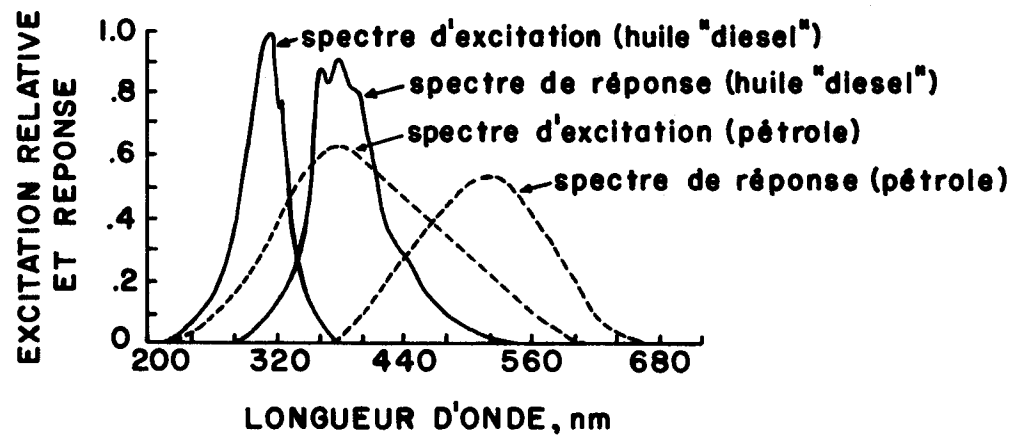


FIGURE 5.10. DETECTION ET IDENTIFICATION DES HUILES PAR FLUORESCENCE.

paraît 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 5.11.

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 5.11 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 réfléchi à la surface de la couche d'huile et une

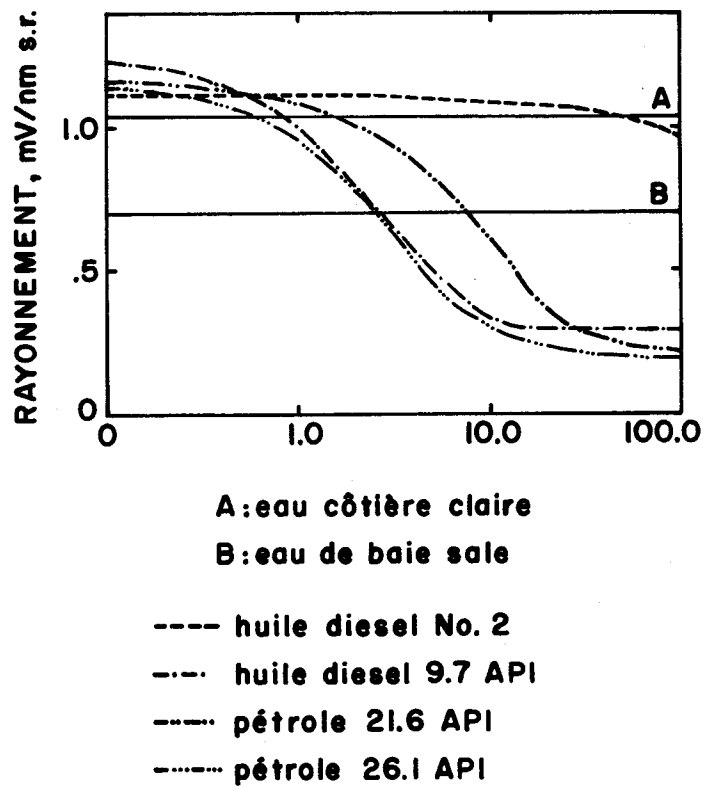


FIGURE 5.11. RAYONNEMENT vs EPAISSEUR D'UNE NAPPE D'HUILE.

partie diffuse provenant de la réflexion à l'interface huile/eau en dessous. La lumière réfléchie 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.

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 Spa-

tial 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 con-

trôles 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 le 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 iso-densimétrique, 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 multispectrales;
- la mise en valeur de ces images par coloration densitométrique et
- une lecture au planimètre digital de toutes les 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 thermal 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.

5.3.3.3 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 (VU), 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 rugues 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 défavorable.

5.3.4 Traitement des images

Une image infrarouge peut être mise en valeur par coloration densitométrique. Cette méthode permet d'accentuer le contraste en éliminant certaines nuances et en accentuant d'autres. Un planimètre digital peut donner immédiatement le % de la surface représentée par la nuance choisie. On obtient ainsi l'étendue de la nappe d'huile.

Par ailleurs, l'étude comparative des images thermiques et infrarouges d'un même domaine permet de déterminer l'épaisseur de la nappe.

Enfin, on peut interpréter le spectre de fluorescence d'une nappe d'huile et en déterminer l'origine car la fluorescence est sélective. En ce domaine, on peut utiliser, en mode actif, le laser, pour provoquer la fluorescence.

5.3.5 Instruments

De multiples contrats ont été accordés pour développer des appareils spécifiquement construits pour la télédétection des nappes d'huile. (ex. Spectracan reçoit \$58,780. pour concevoir en 5 mois un appareil de détection et de surveillance à senseurs multiples pour les fuites d'huile, U. R. S. Research reçoit \$37,630. pour un détecteur de nappes d'huile, Perkin Elmers, \$26,450. pour un spectrographe monochromatique, etc...)

La description des instruments utilisés pour les recherches dans ce domaine permet de concevoir constamment des nouveaux types.

5.3.6. Identification des nappes

Il peut être nécessaire d'identifier une nappe d'huile dont la provenance est inconnue pour quelque raison. Outre la fluorescence, deux approches s'offrent aux autorités:

- 1- marquer, au départ d'un pétrolier, les hydrocarbures au moyen d'un additif non dégradable;
- 2- identifier le polluant par comparaison avec un échantillon de la source soupçonnée.

On dispose pour l'analyse, des méthodes de chromatographie en phase gazeuse, spectrographie de masse, analyse par activation neutronique infrarouge et d'autres encore.

5.4 Retenue des nappes d'huile

5.4.1 Préliminaires

La quantité d'huile déversée en mer est un facteur important dans le choix des mesures à prendre. Règle générale, les quantités déversées se situent en importance à trois niveaux (Beynon, 1973).

- 1- un déversement petit est au maximum égal à 10 tonnes;
- 2- un déversement moyen se situe entre 10 et 500 tonnes;
- 3- un déversement majeur se situe au dessus de 500 tonnes.

5.4.2 Considérations théoriques

Lorsqu'une fuite d'huile se produit en mer, la vitesse de réaction est le facteur le plus important. Il faut alors contrôler l'étendue des nappes produites en les circonscrivant avec des digues (booms). Lorsque les conditions sont telles que l'huile se répand lentement sur une eau stagnante, le problème est mineur. Il s'agit alors de placer autour des nappes des digues qui vont les retenir. Il est rare cependant que les conditions atmosphériques soient idéales. Dans le cas qui nous concerne, les études des marées et des courants révèlent des conditions difficiles.

Malgré certaines améliorations apportées à la conception des digues flottantes, il existe une restriction plus fondamentale qui en limite l'efficacité. Il est impossible, et cela peut se prouver théoriquement, qu'une digue flottante arrête une nappe sous certaines conditions de courant et de

profondeur. Dans une étude effectuée dans les laboratoires du Conseil National de Recherches, on a démontré (Wilkinson, 1971) que la possibilité de retenue peut être évaluée par le calcul d'un paramètre adimensionnel, le nombre de Froude, défini de la façon suivante:

$$F = \frac{V}{\left[(1 - d) gD \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (5)$$

où

V: vitesse du courant, pi/sec.

d: densité de l'huile

D: profondeur du canal, pi

g: accélération due à la gravité, pi/sec.²

Le calcul théorique révèle que la retenue est impossible si le nombre de Froude excède 0.527. Des essais réalisés ont démontré que cette limite théorique diminuait à 0.4 dans la pratique.

L'auteur mentionne que si le nombre de Froude est inférieur à 0.3, on peut évaluer l'épaisseur de la nappe en utilisant

l'équation suivante:

$$\delta = \frac{v^2}{2 (1 - d) g} \quad (6)$$

où

δ : épaisseur de la nappe, en fraction de pied

Cette dernière équation donne une valeur limite et dans la pratique, on doit s'assurer que les digues flottantes sont immergées d'au moins la moitié de cette valeur (Wilkinson, 1971).

5.4.3 Considérations pratiques

Il existe sur le marché des digues (booms) de construction diverse qui peuvent être efficaces pour des situations précises. Mais, toutefois il est difficile par exemple de trouver des digues flottantes qui puissent retenir l'huile lorsque le courant excède 3 pi/sec. De plus, l'intensité des vagues vient diminuer considérablement leur efficacité.

Des vagues de hauteur supérieure à deux pieds rendent ce moyen de retenue assez inefficace. Il est possible cependant d'espérer des améliorations au plan de la conception et de la fabrication qui permettront d'améliorer le comportement en haute mer.

Dans l'éventualité d'une fuite sérieuse de mazout, il est urgent d'avertir les personnes responsables. Pour ce faire, il est nécessaire qu'il existe une équipe à disponibilité constante. Cette équipe doit être pourvue des moyens nécessaires (hélicoptères, bateaux) pour se rendre sur les lieux et évaluer la nature du mazout, la quantité approximative déversée, les dangers possibles d'écoulement additionnel et les conditions atmosphériques.

La première étape de tout système destiné à combattre les déversements en mer est d'assurer la retenue. Tout système prévu à cette fin doit satisfaire plusieurs critères dont les principaux sont:

- i) efficacité sur une mer agitée;
- ii) facilité de transport;
- iii) facilité d'installation.

Les digues flottantes (booms) utilisées pour contenir l'huile sont nombreuses. Elles peuvent cependant être divisées en quatre catégories différentes, à savoir:

- 1- les digues flottantes ancrées;
- 2- les digues flottantes remorquées;
- 3- les digues flottantes à air comprimé;
- 4- les digues flottantes laissées à la dérive.

A l'exception du troisième, les autres types sont construits de matériaux imperméables. Une flotte tubulaire supporte un rideau qui est submergé et un contre poids assure la rigidité de l'ensemble. Plusieurs compagnies assurent la construction de ces digues flottantes et il est important de connaître leur comportement. La digue flottante pneumatique présente un intérêt, mais son application est limitée par l'énergie considérable requise. Une valeur approximative est de 1 hp/pi de barrière flottante (Hoult, 1969). Il n'existe pas de différences essentielles entre les types 1, 2 et 4. Seule la rigidité de construction est différente, permettant à l'un plutôt qu'à l'autre d'être utilisé dans les circonstances particulières. En haute mer, les barrières ancrées et touées ont peu de chance d'être effi-

caces, à cause des courants, des vents et des vagues. Des circonstances particulières, comme une mer très calme, peuvent favoriser l'utilisation de telles barrières; mais ces cas sont restreints. Quant aux barrières flottantes à la dérive ont démontré un potentiel réel et peuvent se comporter de façon satisfaisante. Ces barrières sont efficaces lorsqu'elles sont utilisées au tout début, car elles permettent de conserver l'huile en des nappes d'épaisseur suffisante sur une mer plus calme, soit dans les estuaires ou les baies naturelles.

Dans les ports, on peut utiliser les barrières pneumatiques, car elles ont l'avantage de laisser circuler les bateaux. L'énergie requise est cependant un inconvénient sérieux. Les données disponibles sur la région indiquent des vitesses de courant d'environ 5 pi/sec. et des marées d'environ 12 pieds. Si on ajoute à ces deux données le facteur vitesse des vents, on retrouve des conditions difficiles.

5.4.4 Agents regroupants (Herding Agents)

Puisqu'il est désirable d'empêcher au maximum l'huile de se répandre, certaines compagnies ont développé des produits

qui visent à faire agglomérer le mazout. Ces substances travaillent en sens inverse des dispersants. Elles ont tendance à regrouper les particules d'huile (herbing materials). Des essais réalisés (Barger, 1973) ont permis de constater l'efficacité de certaines de ces substances. Il est à noter cependant que ces produits réduisent jusqu'à 50% la superficie de la nappe, lorsqu'elle est complètement circonscrite. Devant la possibilité d'une étendue d'huile non restreinte, il est difficile d'évaluer les quantités nécessaires. Il y a lieu cependant de suivre les essais réalisés par le "Naval Research Laboratory" dans ce domaine (Barger, 1973).

5.4.5 Mouvement des nappes d'huile

Afin de présenter un plan adéquat pour circonscire les nappes de pétrole répandues sur la mer, il est important de pouvoir prévoir leur mouvement. A la suite de mesures effectuées lors de certains accidents, il est maintenant admis que la vitesse d'une nappe d'huile se situe aux environs de 4% de la vitesse des vents dominants.

Si on excepte l'influence des courants et des marées, la

nappe se déplacera dans la direction du vent dominant. Lorsque l'on désire tenir compte des courants, on constate cependant que la direction ou la vitesse d'une nappe peut être différente des données présentées précédemment. Loucks et Laurence (Loucks, 1970) ont étudié les déplacements d'une nappe dans le Golfe Saint-Laurent et leurs résultats montrent que la trajectoire observée est en accord avec la direction des courants et en désaccord avec la direction des vents dominants. Une étude effectuée lors du désastre provoqué par le Torrey Canyon mène aux mêmes résultats (Smith, 1968). L'étude des courants de marée (Acras, 1973) montre que ces courants changent de direction.

Durant un cycle de marée, la vitesse des courants de marée passe de 4 pieds/sec. dans la direction inverse. De tels changements vont sans aucun doute modifier le mouvement des nappes d'huile. L'analyse théorique peut se faire à l'aide de la méthode des vecteurs (Premack, 1973). Le premier vecteur à établir est celui qui représente la direction et l'intensité du vent; mesure effectuée à une trentaine de pieds au dessus de la surface. Le second vecteur est la dérive de surface (surface wind drift current vector) qui est tracé de façon relative au premier.

Des études effectuées pour l'hémisphère nord (James, 1966) mentionnent que l'angle entre les deux vecteurs (drift angle) est fonction de la latitude. Une valeur de 20° mesurée dans le sens horaire est suggérée (James, 1966). Quant à l'intensité de la dérive (magnitude of the surface wind drift current vector), elle est évaluée en tenant compte du facteur vent (wind factor), défini comme:

$$W F = \frac{V_0}{V_{10}} \quad (7)$$

où V_{10} est l'intensité du vent à 30 pieds au dessus de la surface. Ce facteur vent est inconnu, mais il pourrait être évalué. A partir de ces données, on juxtapose le vecteur représentant les courants de marée et l'addition vectorielle nous permet de prédire la direction des nappes. Les figure 5.12 présente un exemple de ce calcul.

Cette méthode des vecteurs permet d'évaluer le mouvement des nappes d'huile. Il reste cependant que les brusques changements de courant et les conditions atmosphériques rendent ces déplacements assez imprévisibles. Il se produit également des divisions de la nappe, générant ainsi plusieurs

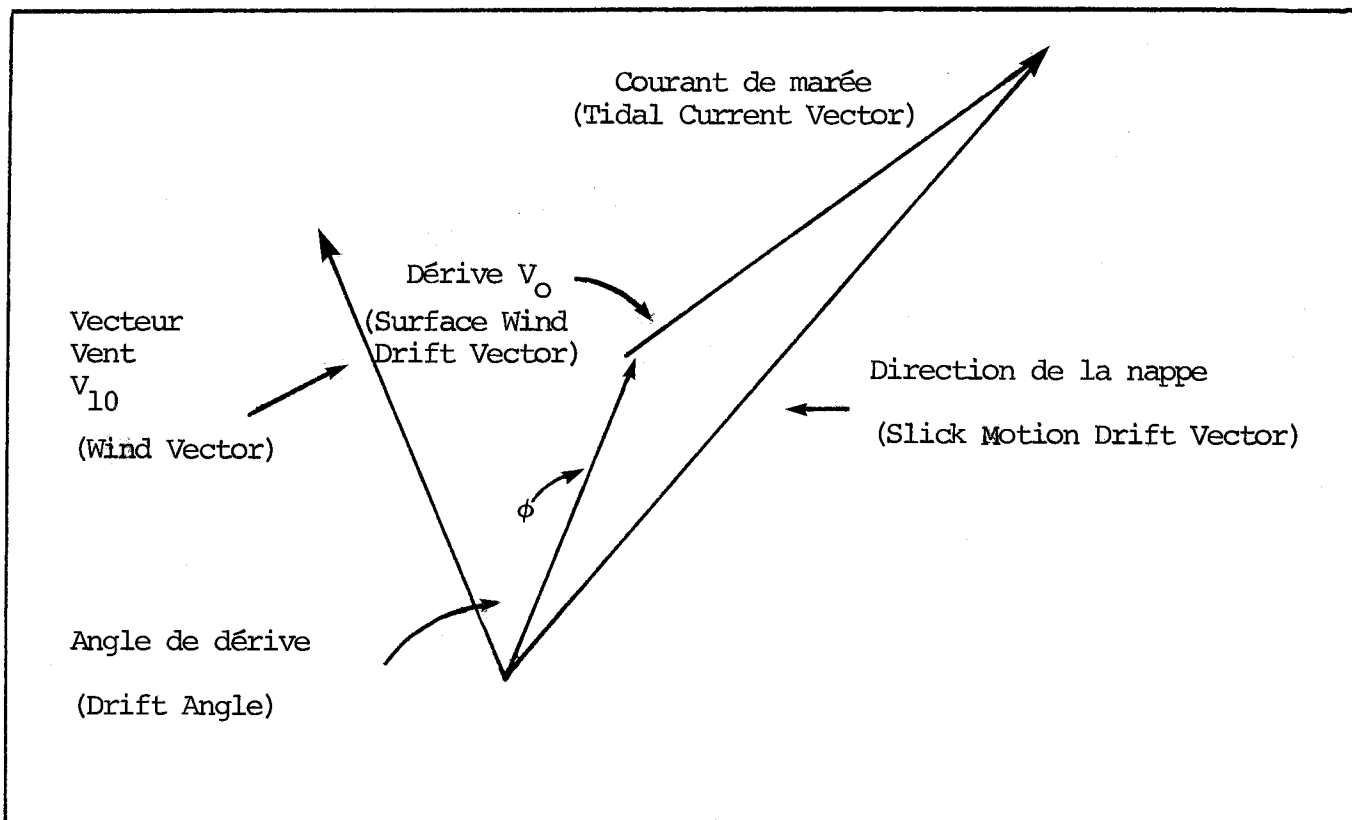


FIGURE 5.12 EXEMPLE D'APPLICATION POUR LE CALCUL DES MOUVEMENTS DES
NAPPES D'HUILE

étendues plus petites. Dans le cas présent, il sera assez difficile de simuler les déplacements et seule une surveillance contrôlée permettrait de les situer.

5.5 Récupération

5.5.1 Préliminaires

La dernière étape dans l'élimination du mazout répandu est sa récupération. Cette récupération se fait ordinairement soit par des moyens mécaniques soit par des absorbants.

Les moyens mécaniques, comme les pompes et les séparateurs eau-huile ont, règle générale, des rendements faibles lorsque les courants et marées sont importants. Les absorbants présentent alors une technique supérieure, même si la récupération du mélange absorbant-huile rencontre certaines difficultés.

L'utilisation d'absorbants pour la récupération du mazout comporte les étapes suivantes:

- i) choix de l'absorbant;
- ii) épandage de l'absorbant;

- iii) récupération du mélange;
- iv) séparation de l'huile de l'absorbant;
- v) destruction ou ré-utilisation de l'absorbant.

5.5.2 Choix de l'absorbant

Plusieurs substances peuvent être utilisées comme absorbant. Ces substances sont classifiées soit comme produits naturels (paille, tourbe, bran de scie) soit comme produits artificiels (polyuréthane). Le choix de l'absorbant doit satisfaire trois critères principaux. Il doit d'abord flotter, ce qui revient à dire que sa densité doit être inférieure à celle de l'eau.

Il doit de plus être facile de transport et d'épandage. En dernier lieu son prix ne doit pas être trop élevé, car de grandes quantités sont utilisées. Le pouvoir absorbant constitue un paramètre important et les tableaux 5.2 à 5.4 illustrent le pouvoir absorbant de divers matériaux (Gleaser 1971, Irish Peat Board 1970, Schatzboard 1971).

Tous ces différents tableaux permettent d'identifier le pouvoir absorbant de plusieurs matériaux. Ce paramètre est

(GMS D'HUILE / GMS ABSORBANT)

Matériaux	Huile Diesel	Huile légère	Mazout de Prudhoe Bay	Bunker "C"	Mazout lourd	Mazout léger	Huile #2
Fibres de bois moulues				1470	1180	650	640
Coques d'arachides moulées				580	430	220	220
Fibres de cellulose				1860	1730	1140	900
Farine de blé d'inde				570	560	470	380
Cendres volcaniques				2120	1810	720	500
Paille				580	640	240	180
Paille sur l'eau			345				
Paille sur glace			698				
Vermiculite				430	380	330	360
Bran de scie (poudre)	270	280					
Perlite	310	310		460	400	330	300
Bran de scie				300	370	360	280
Tourbe	330	320					
Tourbe sur l'eau			1568				
Tourbe sur glace			698				
Mousse d'urée formaldéhyde				7270	5240	5030	4780
Fibres polyéthylène							
A) Laine				3700	2780	1970	1610
B) Plaque				1860	1760	1190	1060
C) Élément non tissé				4600	3670	4540	3620
Fibres polypropylène non tissées				2170	1810	690	480
Mousse de polyuréthane							
A) Déchiquetée				7270	7480	6000	4870
B) Réticulée				3030	2450	3060	2750
C) Cubes ½ po.				7270	7170	6610	6490
Poudre de polystyrène				2340	2170	2040	580
Polyester				880	740	660	470
Teflon				500	600	140	100
Plastique	1960	1830					

TABLEAU 5.2 CAPACITE D'ABSORPTION POUR L'HUILE

Matériaux	Humidité %	Capacité d'absorption gms
Tourbe moulée *	0	19.0
Tourbe moulée *	38	28.4
Tourbe moulée *	46	27.4
Tourbe	33	23.0
Tourbe en briquette	11	41.0
* Sources différentes		
<p><u>TABLEAU 5.3</u> TOURBE NECESSAIRE POUR ENLEVER 100 GMS D'HUILLE D'UNE NAPPE DE 1/16" D'EPAISSEUR</p>		

Matériaux	Humidité % (Base sèche)	Masse litre specif.	Absorption litre d'huile litre de tourbe	Quantités d'huile et d'eau absorbées à partir d'une nappe d'huile sur l'eau	
				Litre d'huile Litre de tourbe	Litre d'eau Litre de tourbe
Tourbe pulvérisée séchée artificiellement*	7.0	82	0.68	0.62	0.18
" " " "	6.4	85	0.65	0.54	0.12
" " " "	6.4	95	0.62	0.54	0.12
" " " "	2.8	74	0.63	0.48	0.12
Tourbe déchiquetée séchée artificiellement	2.8	81	0.46	0.40	0.06
Tourbe séchée à l'air	24.0	77	0.57	0.44	0.30
Tourbe séchée à l'air et pulvérisée	60.8	178	0.50	0.26	0.30
Perlite	(0.8)	(70)	(0.46)	(0.46)	(0.06)
* Tourbe Mellial Heparahka					

TABLEAU 5.4 CAPACITE D'ABSORPTION DE LA TOURBE ET DE LA PERLITE: LITRES D'HUILE
ABSORBEE / LITRE D'ABSORBANT

certes important, mais le coût et la disponibilité sont également des critères importants dans le choix. La mousse de polyuréthane reste sans contredit le meilleur absorbant; mais la tourbe séchée à 30-35% d'humidité présente également des possibilités intéressantes. La proximité des tourbières dans la région qui nous concerne, ajoute un atout très important. Le tableau 5.5 présente un indice de mérite pour un grand nombre de matériaux. Cet indice tient en considération plusieurs facteurs et permet d'avoir une évaluation plus globale d'un absorbant.

La teneur en eau de la tourbe est un facteur important dans sa capacité à flotter. Des expériences (Coupal, 1972) ont démontré que la tourbe ne doit pas dépasser 30-35% en eau pour flotter durant une période suffisante. La vitesse d'absorption de tout absorbant est proportionnelle à la viscosité de l'huile et les conditions atmosphériques comme l'intensité des vagues joue également un rôle important. La figure 5.13 illustre l'influence de la viscosité de l'huile sur le pouvoir absorbant de la tourbe.

5.5.3 Épandage

L'épandage représente une difficulté et il est nécessaire

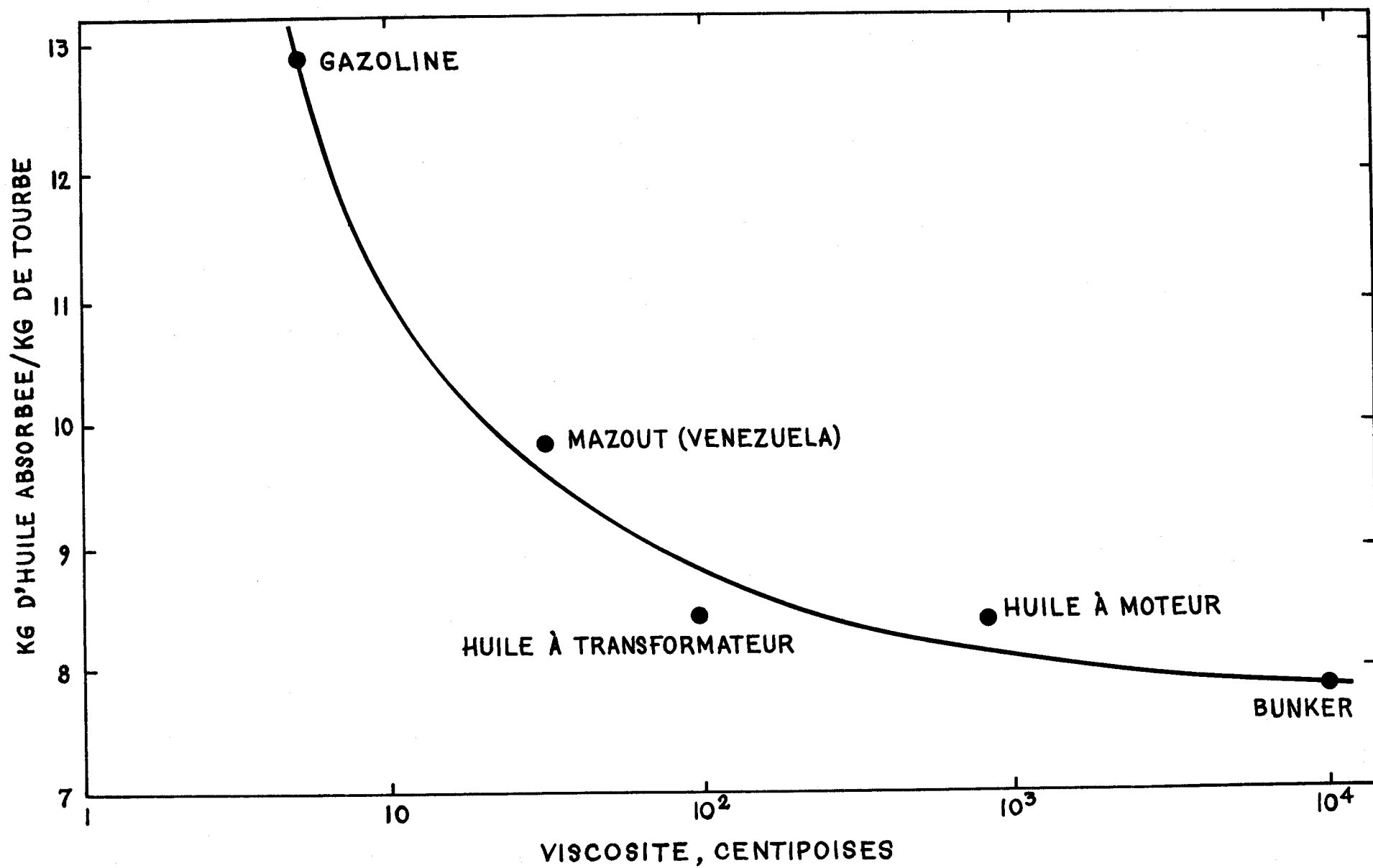


FIGURE 5.13 POUVOIR ABSORBANT DE LA TOURBE A 70°F EN FONCTION DE LA VISCOSITE DE L'HUILE

Matériaux	Disponibilité au Canada	Préparation pour utilisation	Entreposage	Application	Absorption	Efficacité lorsque humide	Désorption d'eau	Récupération sur l'eau	Désorption d'huile	Récupération d'huile	Facilité de s'en débarrasser	Biodégradabilité	Volume pi ³ (1)	Coût \$ (1)
Paille	****	***	***	**	****	*	*	**	***	NIL	***	OUI	très grand	200
Bran de Scie	****	****	*	****	**	*	*	*	***	NIL	**	OUI	300	15
Bran de Scie traité au Silicone	*	*	**	****	**	***	***	*	***	NIL	**	?	300	62 +
Ecorce de Pin	***	*	*	****	***	***	***	*	***	NIL	*	OUI	400	250 +
Tourbe "Chrome Leather"	****	***	**	***	***	***	***	*	***	NIL	***	OUI	240	30
Ekoperl	*	****	*	***	****	*	**	**	**	**	**	NON	250	15
Vermiculite	**	****	**	****	****	****	****	*	****	NIL	*	?	1500	2500
Déchets de Caoutchouc	*	****	**	****	*	faible	-	-	-	-	-	?	-	-
Mousse de Caoutchouc Naturel	*	***	**	**	***	****	****	*	****	NIL	***	NON	300	625
Pilules de Caoutchouc Butyl	*	***	*	**	****	**	*	**	*	****	***	NON	3500	190
Pilules en Polystyrène	*	***	**	**	**	faible	-	-	-	-	-	NON	-	-
Mousse Polyuréthane	*	***	*	**	*	faible	-	-	-	-	-	NON	-	-
Fibre de (2) Polypropylène	*	*	****	**	****	****	***	**	***	****	***	NON	5(liq.)	125
	*	***	**	***	****	****	*	****	*	****	***	NON	100	310

clé: Plus il y a d'étoiles, meilleure est la performance
(1): Pour traiter des capacités de 10 tonnes
(2): Comme une courroie sans fin

TABLEAU 5.5 CRITERES DE SELECTION DES ABSORBANTS

d'améliorer cet aspect. Dans le cas de la tourbe, il existe en Finlande (Ekman, 1971) des appareils conçus spécialement pour ce travail. Les caractéristiques de ces appareils sont présentées au tableau 5.6.

Dans le cas des autres absorbants, les techniques d'épandages sont semblables à celles utilisées pour la tourbe.

5.5.4 Récupération mécanique du mélange

Cette phase représente le plus grand problème. En général, la technique utilisée consiste à remorquer les nappes en des endroits calmes et de récupérer le mélange à l'aide de filets. Une autre façon de récupérer le mélange est d'utiliser des convoyeurs mobiles qui relient la surface de l'eau à un bateau. La vitesse de ces convoyeurs est le facteur critique et est déterminée par l'importance des vagues (Dorrler, 1973).

5.5.5 Séparation de l'huile et de l'absorbant

Cette opération est reliée à l'absorbant utilisé. Dans le cas du polyuréthane (Miller, 1973) et de la tourbe (Cou-

Capacité d'étendage	:	4000 - 5000 litres / heure
Rayon d'action	:	15 - 20 mètres
Poids	:	150 lbs
Volume de tourbe	:	75 litres
Puissance	:	4½ H P
Capacité du réservoir à essence	:	3 litres
Temps d'opération avec un plein réservoir	:	1½ heure

TABLEAU 5.6 CARACTERISTIQUES DES ETENDEURS DE TOURBE

pal, 1973b), une compression mécanique à l'aide d'un simple appareil permet de récupérer une fraction de l'huile. Dans le cas du polyuréthane (Miller, 1973), la récupération de l'huile permet la ré-utilisation de l'absorbant. Dans le cas de la tourbe, on ignore pour le moment si une telle possibilité existe. Il faut faire remarquer toutefois que le pressage mécanique représente dans l'optique d'une ré-utilisation de l'absorbant, un problème complexe. Il faut en effet s'assurer que l'huile a été suffisamment extraite. De plus, le coût beaucoup plus élevé du polyuréthane comparé à la tourbe (tableau 5.5) oblige l'utilisateur à considérer la ré-utilisation.

5.5.6 Destruction de l'absorbant

La combustion lorsque possible reste le meilleur moyen de se débarrasser de l'absorbant.

5.5.7 Combustion

La combustion du mazout sur place représente une possibilité. Cette technique est possible seulement si la nappe est d'une épaisseur suffisante. Lorsque l'huile forme un film,

il devient impossible de soutenir la combustion devant les grandes pertes thermiques. Pour favoriser la combustion, on ajoute un matériau qui augmente le phénomène de capillarité et qui apporte en même temps de l'air additionnel pour faciliter la combustion. Cette technique a été utilisée en Finlande (Ekman, 1971) dans des situations précises avec de bons résultats. Au Canada (Coupal, 1973a), des essais contrôlés, réalisés dans un réservoir ouvert, ont montré que la tourbe combinée avec une certaine quantité d'huile diesel peut permettre de brûler une nappe d'huile de 1/16" d'épaisseur. Pour des nappes plus minces, les pertes thermiques à l'eau deviennent de plus en plus importantes. Dans une autre étude (Coupal, 1973a), des essais réalisés sur le fleuve Saint-Laurent, ont révélé des efficacités de combustion de l'ordre de 80 à 90%. Cette technique est intéressante lorsque la récupération physique est impossible et que les dangers de propagation de l'incendie sont inexistant.

5.5.8 Dispersants

Les dispersants sont des produits chimiques qui agissent comme agents émulsifiants. Dans le passé, il y a eu une

utilisation considérable de ces produits chimiques; mais la constatation du potentiel toxique de ces produits a remis en question leur utilisation. Les avantages de ces produits sont:

- 1- la biodégradation de l'huile est augmentée, parce que le rapport surface/volume de l'huile est beaucoup plus grand;
- 2- l'huile, étant enlevée en surface, ne présente plus les mêmes dangers;
- 3- l'huile n'adhère plus aux surfaces solides.

Les principaux inconvénients sont les suivants:

- 1- certains de ces produits ont des effets toxiques sur la faune et la flore aquatique;
- 2- la toxicité est augmentée par la subdivision de l'huile créée par ces agents;
- 3- il est très difficile d'enlever l'huile traitée avec des dispersants.

L'utilisation des dispersants devrait être bannie aux endroits où il y a de grandes populations d'animaux marins, car la vie

aquatique peut en souffrir énormément. De plus, il devrait être défendu d'utiliser un dispersant donné sans connaître ses effets à court et moyen terme. Environnement Canada étudie présentement la question des dispersants et leur utilisation sera contrôlée.

5.6 Plan d'action pour combattre la pollution générée par un déversement d'huile

Avant de présenter un plan d'action dans l'éventualité d'une fuite d'huile d'un pétrolier, il est nécessaire d'établir les catégories suivantes:

5.6.1 Localisation des nappes

L'endroit des nappes est un facteur important dans le choix des méthodes. On distingue quatre situations:

- i) fuite en haute mer;
- ii) fuite en eau calme;
- iii) fuite sur le rivage;
- iv) fuite sur les glaces.

5.6.2 Types d'huile

La nature de l'huile déversée est également un facteur important. On distingue pour la situation présente la mazout fraîchement déversé (quelques heures), le mazout modifié par la température, les émulsions et le Bunker C. La formation d'émulsions résulte de l'action des vagues et se produit plus facilement avec les huiles de haute densité.

5.6.3 Digues flottantes (Booms)

L'emplacement de la nappe permet de choisir entre des conceptions différentes de digues qui sont divisées en:

- i) digues ancrées;
- ii) digues touées
- iii) digues flottantes à la dérive;
- iv) digues pneumatiques.

5.6.4 Récupération

La récupération peut se faire en utilisant deux méthodes:

- i) absorbants;
- ii) pompage (diverses formes).

5.6.5 Autres méthodes

Des techniques additionnelles comme la combustion et les dispersants peuvent être utilisées dans certains cas.

5.6.6 Dimensions des nappes

Les nappes se divisent en trois catégories:

petite nappe (p) (quantité inférieure à 10 tonnes)

moyenne nappe (m) (quantité supérieure à 10 tonnes et inférieure à 500 tonnes)

grande nappe (g) (quantité supérieure à 500 tonnes)

Les tableaux 5.7 à 5.10 inclusivement, présentent un plan d'action pour les situations les plus plausibles. Il n'existe pas de démarcations précises entre les actions suggérées. Les chiffres indiquent la chronologie à respecter dans la

Type d'huile	Mazout frais			Mazout modifié			Emulsions			Bunker C		
Dimension des nappes	p	m	g	p	m	g	p	m	g	p	m	g
Barrières (Booms)												
- ancrées	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr
- touées	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr
- flottantes à la dérive	1	1	1	nr	nr	nr	nr	nr	nr	1	1	1
- pneumatiques	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr
Récupération (Enlever l'huile de la surface)												
- absorbant	2	2	2	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr
- pompage	nr	2	2	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	2	2
Combustion	3	3	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	3	3	nr
Dispersant	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr

* nr: signifie non recommandé

TABLEAU 5.7 PLAN D'ACTION EN HAUTE MER

Type d'huile	Mazout frais			Mazout modifié			Emulsions			Bunker C		
	p	m	g	p	m	g	p	m	g	p	m	g
Dimension des nappes												
Barrières (Booms)												
- ancrées	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
- touées	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
- flottantes												
- à la dérive	*nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr
- pneumatiques	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Récupération												
- absorbants	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
- pompage	4	4	4	nr	nr	nr	nr	nr	nr	4	4	4
Combustion	4	4	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	4	4	nr
Dispersant	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr

*nr: signifie non recommandé

TABLEAU 5.8 PLAN D'ACTION EN EAU CALME

Type d'huile	Mazout frais			Mazout modifié			Emulsions			Bunker C		
Dimension des nappes	p	m	g	p	m	g	p	m	g	p	m	g
Récupération												
- mécanique	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
- absorbants	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Combustion	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr
Dispersant	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr

* nr: signifie non recommandé

TABLEAU 5.9 PLAN D'ACTION SUR LES RIVAGES

Type d'huile	Huiles ne formant pas des agglomérés au contact de l'eau			Huiles formant des agglomérés au contact de l'eau (Bunker C par exemple)		
	p	m	g	p	m	g
Dimension des nappes						
Barrières						
- ancrées	1	1	1	1	1	1
- touées ¹	2	2	2	2	2	2
- flottantes à la dérive	* nr	nr	nr	nr	nr	nr
- pneumatiques	nr	nr	nr	nr	nr	nr
Récupération						
- absorbants	4	4	4	4	4	4
- pompage	3	3	3	3	3	3
Combustion	3	3	3	3	3	3
Dispersants	nr	nr	nr	nr	nr	nr

¹ utilisées s'il y a possibilité de récupérer l'huile avant qu'elle se rende aux glaces

* nr: signifie non recommandé

TABLEAU 5.10 PLAN D'ACTION SUR LA GLACE (près des rivages)

suite des évènements. Il peut arriver qu'il y ait deux techniques suggérées au même endroit (Beynon, 1973). Les lettres "p", "m" et "g" indiquent respectivement des petites, moyennes et grandes nappes, tandis que les chiffres montrent la chronologie des opérations.

Au plan de la récupération présentée au tableau 5.7, la combustion apparaît comme une méthode proposée. Il est nécessaire que les nappes soient fraîches, d'épaisseur suffisante et situées à des endroits propices. La proximité du pétrolier peut représenter un problème sérieux. Les barrières (booms) doivent également être à l'épreuve du feu, car elles peuvent brûler avant l'huile. Le pompage est également proposé comme substitut à l'absorbant dans l'éventualité où l'épaisseur des nappes est telle que l'opérateur peut réussir sans pomper une trop grande quantité d'eau. Il existe plusieurs appareils de conception diverse pour le pompage (Der et Graham, 1973). L'efficacité de tous ces appareils est cependant très reliée à l'intensité des vagues et courants.

Le tableau 5.8 illustre quelquefois deux alternatives au niveau de la récupération. Pour le mazout modifié et les

émulsions, le pompage ne présente pas d'intérêt, car la quantité d'eau pompée serait trop grande. La combustion a également peu de chance de réussir avec les émulsions.

L'absorbant devient nécessaire afin de faciliter l'utilisation d'équipement. La combustion n'est pas recommandée; car elle peut être dangereuse pour l'environnement, à moins que le rivage soit très rocheux et exempt de toutes végétations.

La situation présentée au tableau 5.10 est confuse car les conditions sont difficiles. Le mélange eau-glace rend toute forme de récupération difficile. Dans l'éventualité de glace ferme, la combustion représente probablement la meilleure technique. Il reste, cependant, que cette technique génère une pollution de l'air assez intense (Coupal, 1973a).

5.7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ACRES, 1973.

Rapports préliminaires sur le port à Grande-Ile.

BAILEY, W.B. 1958.

On the dominant flow in the Strait of Belle Isle.
J. Fish. Res. Bd. Canada, 15 (6) pp: 1163-1174.

BARGER, W.R. 1973.

Prevention and Control of Oil Spills, API, Washington.

BEYNON, L.R. 1973.

Prevention and Control of Oil Spills, API, Washington.

BLACKFORD, B.L. 1965.

Some oceanographic observations in the south-eastern Gulf of St. Lawrence - Summer 1964.
Fish. Res. Bd. Canada. Unpubl. MS. Report (Oceanog. & Limn.) Series No 185, 48 pp.

BLACKFORD, B.L. 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.

BOUDREAUULT, F.R. 1972.

Dériveurs du fond dans le Sud-Ouest du Golfe du Saint-Laurent: 1969-1970.

Minist. l'Ind. Com. Direction des Pêches Marit., Service de la Rich. Québec, Canada. Cah. Inform. No. 58, 54 pp.

BOUDREAUULT, F.R., et HERITIER, F. 1971.

Dériveurs de surface dans le Golfe du Saint-Laurent.

Ibid., No 57, 152 pp.

BUMPUS, D.F. et LAUZIER, L.M. 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.

COUPAL, B. 1970.

Tests effectués lors de l'échouement du Arrow.

COUPAL, B. 1972.

Use of Peat Moss in Controlled Combustion Technique, Environmental Emergency Branch, Environmental Protecting Service, Environment Canada.

Report EPS-4-EE072-1.

COUPAL, B. 1973a.

Report of controlled combustion tests carried out near Rimouski, presented to Environmental Protecting Service, Environment Canada.

COUPAL, B. 1973b.

Essais réalisés au Département de génie chimique de l'Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Canada.
Rapport publié.

DAWSON, W.B. 1907.

The currents in Belle Isle Strait from investigation of tidal and current survey in the seasons of 1894 ans 1906.
Ibid., 43 pp.

DAWSON, W.B. 1913.

The currents in the entrance to the Gulf of St. Lawrence.
Canada Dept. Naval Service, 50 pp.

DER, J.J. and GRAHAM, D.B. 1973.

Proceedings of Joint Conf. on Prevention and Control of Oil Spills,
Washington.

DORRLER, J.S. 1973.

Sorbent System Development for Oil Spill Clean-up,
Proceedings of Conf. on Prevention and Control of Oil Spills, Washington.

EKMAN, E. and SANDELIN, R. 1971.

Bulletin of the International Peat Society, Vol. 2.

EL-SABH, M.I. 1973.

Transport and currents in the Gulf and Estuary of St. Lawrence
(in preparation).

EL-SABH, M.I. et JOHANNESSEN, O.M. 1972.

Winter Geostrophic circulation in the Gulf of St. Lawrence.
J. Fish. Res. Bd. Canada. 29 (5) pp. 595-598.

EMERY, A.R. 1972.

Research Information Paper (Fisheries) #40, Ministry of Natural Resources, Province of Ontario.

ESTES, J.E. et GOLOMB, B. 1970.

Oil Spills: Method for Measuring their Extent on the Sea Surface.
Science, vol. 169, 676.

FARQUHARSON, W.I. 1962.

Tides, tidal streams and currents in the Gulf of St. Lawrence.
Canada Dept. Mines and Technical Surveys, Marine Sciences Branch,
76 pp.

FARQUHARSON, W.I. 1963.

Gaspé Passage current and oceanographic survey, 1962.
Bed. Inst. Oceanogr., Dartmouth, N.S., Canada.
Unpubl. MS for international circulation No. 63-9.

FARQUHARSON, W.I. 1966.

St. Lawrence Estuary current surveys.
Ibid., MS Report 66-6, 84 pp.

FARQUHARSON, W.I. and BAILEY, W.B. 1966.

Oceanographic study of Belle Isle Strait,
Ibid, MS Report 66-9, 78 pp.

FORRESTER, W.D. 1967.

Currents and geostrophic currents in the St. Lawrence Estuary.
Ibid., MS Report 67-5, 175 pp.

FORRESTER, W.D. 1970.

Geostrophic approximation in the St. Lawrence esturay.
Tellus, 22: pp. 53-65.

FORRESTER, W.D. and EL-SABH, M.I. 1972.

Principle 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.

GLEASER, J.L. and VANCE, G.P. 1971.

A Study of the Behavior of Oil Spills in the Artic, U.S. Coast Guard Office of Research and Development Project, #714108/A/001,002, février.

GOLDSTEIN, A.M., KOROS, R.M. and TARMY, B.L. 1973.

Prevention and Control of Oil Spills, API, Washington, mars.

HAMMER, Paul M. 1971.

"Prevention of Marine Pollution Through Understanding",
Conference on Prevention & Control of Oil Spills, Sheraton Park Hotel,
Washington D.C., June 15-17.

HOULT, D.P. 1969.

Oil on the Sea, Plenum Press, New York.

HUNTSMAN, A.G., BAILEY, W.B. and HACHEY, H.B. 1954.

The general oceanography of the Strait of Belle Isle.
J. Fish. Res. Bd. Canada, 11 (3): 198-260.

INGRAM, R.G. 1973.

Winter currents around Cape Breton Island.
J. Fish. Res. Bd. Canada. 30 (1).

IRISH PEAT BOARD. 1970

Unpublished report.

JAMES, R. 1966.

Ocean Thermal Structure Forecasting.
U.S. Naval Oceanographic Office, Washington, D.C.

LAUZIER, L.M. 1965.

Drift bottle observations in Northumberland Strait, Gulf St. Lawrence.
J. Fish. Res. Bd. Canada. 22 (2): pp. 353-368.

LAUZIER, L.M. 1967.

Bottom residual drift on the Continental shelf area of the Canadian Atlantic Coast.
Ibid., 24 (9): pp. 1845-1859.

LAWRENCE, D.J. 1968.

Current meter data from Cabot Strait, 1966.
Atlantic Oceanog. Lab., Bed. Inst., Darmouth, N.S. Canada.
B.I. data Series 68-10-D.

LOUCKS, R.H. and LAURENCE, D.J. 1970.

Marine Pollution Bulletin 2 (6).

MACGREGOR, D.B. 1956.

Currents and transport in Cabot Strait.
J. Fish. Resh. Bd. Canada, 13 (3): pp. 435-448.

MILLER, E.R. 1973.

Development and Preliminary Design of a Sorbent Oil Recovery System,
Proc. of Conf. on Prevention and Control of Oil Spills, Washington,
mars.

MURTY, T.S. and TAYLOR, J.D. 1970.

A numerical Calculation of the wind-driven circulation in the Gulf of
St. Lawrence.
J. Oceanog. Soc. Japan. 26 (4) pp. 203-214.

PREMACK, J. 1973.

Prevention and Control of Oil Spills, API, Washington, mars.

SANDSTROM, J.W. 1919.

The hydrodynamics of the Canadian Atlantic waters.
Report Canadian Fish. Expedition. Dept. Naval Service, pp. 221-346.
Ottawa.

SCHATZBORG, P., and NAGY, K.V. 1971.

Sorbents for Oil Spills Removal,
Proc. of Joint Conf. on Prevention and Control of Oil Spills, juin.

"SHELL SPOTS OIL SPOTS" 1970.

Chemical Week 107 (9): 15, Aug. 26.

SMITH, J.E. 1968.

Torrey Canyon, Cambridge University Press.

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.

TRITES, R.W. 1970.

The Gulf of St. Lawrence from a pollution view point.
FAO Technical Conference on Marine Pollution and its effects on Living
resources & fishing. Rome, Italy, Dec. 1970, 23 pp.

WADSWORTH OWEN & LEAF WILLIAM 1971.

"Oil Spill Prevention and Detection Using an Instrumented Submersible",
Conference on Prevention & Control of Oil Spills, Sheraton Park Hotel,
Washington D.C., June 15-17.

WILKINSON, D. 1971.

Containment of Oil Slicks in the St. Lawrence River,
rapport LTR-HY-16, Conseil National de Recherches, Ottawa, Canada, août.