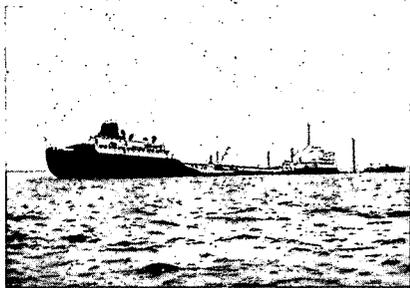


# Série de la Protection de l'environnement



Levé du mazoutage du littoral de la baie Chedabucto (Nouvelle-Écosse) en 1992

Devenir à long terme du mazout lourd déversé par l'Arrow en 1970

Rapport SPE 5/SP/2  
Mars 1994

TD  
182  
R46  
NO. 5/SP/2F

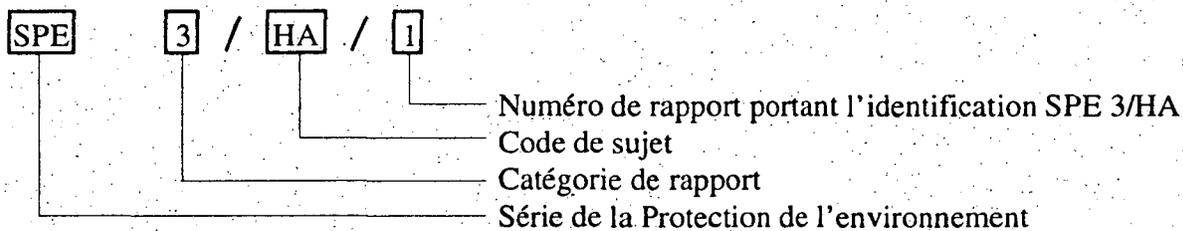
Canada



Environnement Canada Environment Canada

# SÉRIE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

## Exemple de numérotation :



### Catégories

- 1 Règlements/Lignes directrices/  
Codes de pratiques
- 2 Évaluation des problèmes et  
options de contrôle
- 3 Recherche et développement  
technologique
- 4 Revues de la documentation
- 5 Inventaires, examens et enquêtes
- 6 Évaluations des impacts sociaux,  
économiques et environnementaux
- 7 Surveillance
- 8 Propositions, analyses et  
énoncés de principes généraux
- 9 Guides

### Sujets

- AG** Agriculture  
**AN** Technologie anaérobie  
**AP** Pollution atmosphérique  
**AT** Toxicité aquatique  
**CC** Produits chimiques commerciaux  
**CE** Consommateurs et environnement  
**CI** Industries chimiques  
**FA** Activités fédérales  
**FP** Traitement des aliments  
**HA** Déchets dangereux  
**IC** Produits chimiques inorganiques  
**MA** Pollution marine  
**MM** Exploitation minière et  
traitement des minéraux  
**NR** Régions nordiques et rurales  
**PF** Papier et fibres  
**PG** Production d'électricité  
**PN** Pétrole et gaz naturel  
**RA** Réfrigération et conditionnement d'air  
**RM** Méthodes de référence  
**SF** Traitement des surfaces  
**SP** Déversements de pétrole et de  
produits chimiques  
**SRM** Méthodes de référence normalisées  
**TS** Transports  
**TX** Textiles  
**UP** Pollution urbaine  
**WP** Protection et préservation du bois

Des sujets et des codes additionnels sont ajoutés au besoin. On peut obtenir une liste des publications de la SPE en s'adressant aux Publications de la Protection de l'environnement, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.

Printed on  
recycled paper



Imprimé sur du  
papier recyclé

3022574E  
H<sub>z</sub> 98753

# Levé du mazoutage du littoral de la baie Chedabucto (Nouvelle-Écosse) en 1992

Devenir à long terme du mazout lourd déversé  
par l'*Arrow* en 1970

par

E.H. Owens  
B.E. McGuire et  
B. Humphrey

Woodward-Clyde Consultants  
Seattle (Washington)



pour la

Division des urgences (Science)  
Direction générale du développement technologique  
Service de la protection de l'environnement  
Environnement Canada

Rapport SPE 5/SP/2  
Mars 1994

TD  
182  
R46  
No. 5/SP/2

## DONNÉES DE CATALOGAGE AVANT PUBLICATION (CANADA)

Owens, E. H.

Levé du mazoutage du littoral de la baie Chedabucto  
(Nouvelle-Écosse) en 1992 : devenir à long terme du mazout  
lourd déversé par *l'Arrow* en 1970

(Rapport ; SPE 5/SP/2)

Publ. aussi en anglais sous le titre: Chedabucto Bay 1992,  
shoreline oil conditions survey.

Comprend des références bibliographiques.

ISBN 0-662-99812-X

No de cat. En49-14/5-5F

I. Déversements de pétrole -- Aspect de l'environnement --  
Nouvelle-Écosse -- Chédabuctou, Baie de. 2. Mer --  
Pollution par les hydrocarbures -- Nouvelle-Écosse --  
Chédabuctou, Baie de. I. Humphrey, B. II. McGuire, Bernard E.  
III. Canada. Environnement Canada. IV. Centre de technologie  
environnementale (Canada). Division des urgences-sciences.  
V. Titre. VI. Titre: Devenir à long terme du mazout lourd  
déversé par *l'Arrow* en 1970. VII. Coll.: Rapport (Canada.  
Environnement Canada) ; SPE 5/SP/2.

TD899.P408314 1994

363.73'82'0971621

C94-980130-5

## Commentaires

---

Les personnes qui désirent faire part de leurs commentaires sur le contenu du présent rapport sont priées de les adresser à :

Gary Sergy  
Gestionnaire, Bureau de la région de l'Ouest  
Direction générale du développement technologique  
Service de la protection de l'environnement (SPE)  
Environnement Canada  
4999, 98<sup>e</sup> Avenue  
Edmonton (Alberta)  
T6B 2X3

This publication is also available in English at :

Publications  
Environmental Protection Service  
Environment Canada  
Ottawa (Ontario)  
K1A 0H3

## Avis de révision

---

Le contenu du présent rapport été revu par la Direction générale du développement technologique d'Environnement Canada, qui en a approuvé la publication. Cette approbation ne signifie pas nécessairement que le contenu est conforme aux vues et aux politiques d'Environnement Canada. La mention de marques de commerce ou de produits commerciaux ne signifie pas qu'on en recommande ou approuve l'emploi.

Le Module des publications de la Section de la mise en valeur de la technologie a assuré la rédaction-révision de ce rapport.



## Résumé

---

*On a effectué un levé sur le terrain de juin à septembre 1992 pour localiser et décrire les hydrocarbures résiduels présents sur les rives de la baie Chedabucto (Nouvelle-Écosse). L'échouement du pétrolier Arrow en février 1970 a causé le rejet de plus de  $11 \times 10^6$  L de mazout lourd. Ce mazout s'est répandu sur plus de 305 km de littoral dans la région de la baie Chedabucto, mais moins de 50 km de littoral ont été traités au cours des interventions ultérieures. Des visites au hasard faites précédemment dans la région ont indiqué qu'il y avait encore des hydrocarbures à certains endroits, mais que la majeure partie de la côte avait été nettoyée par les processus naturels au cours des ans. Cependant, un levé systématique au sol a permis d'établir la présence d'hydrocarbures sur 13,3 km de littoral dans la baie Chedabucto. Seulement 1,3 km du littoral est encore sévèrement mazouté, principalement dans les secteurs de l'anse Black Duck et du passage Lennox. On a établi que certains des hydrocarbures résiduels proviennent de l'Arrow à partir de preuves indirectes; l'analyse chimique indique en outre qu'un échantillon prélevé dans l'anse Black Duck est probablement constitué de mazout provenant de l'Arrow.*

*L'altération naturelle est responsable de l'élimination de la majeure partie des hydrocarbures déversés dans la baie Chedabucto. Lorsqu'il reste encore des hydrocarbures, ils se trouvent sous forme soit de minces taches sur des rochers ou des sédiments grossiers (galets, cailloux et blocs), soit d'un mélange résistant d'hydrocarbures et de sédiments semblable à du bitume. Dans certaines zones de Haddock Harbour et de la baie Inhabitants, où l'énergie des vagues est faible, on avait observé un mazoutage sévère au printemps de 1970; or ces zones, qui n'ont pas fait l'objet d'opérations de nettoyage, sont maintenant pratiquement exemptes d'hydrocarbures. On y retrouve en abondance des sédiments en suspension à grain fin qui peuvent avoir contribué à l'altération par floculation argile-hydrocarbures, telle qu'observée récemment dans la région du détroit du Prince-William (Alaska). La présence ou l'absence de résidus d'hydrocarbures dans la baie Chedabucto peut s'expliquer en fonction des processus physiques, biophysiques et biologiques qui agissent sur les hydrocarbures échoués. Les hydrocarbures demeurent sur le rivage :*

- *lorsqu'ils se trouvent à l'extérieur des zones où l'action physique des vagues est suffisante pour déplacer les sédiments et abraser les hydrocarbures (notamment dans les lagunes abritées);*

- *lorsqu' ils se trouvent dans des zones côtières de mélange où il n'y a pas de sédiments à grain fin pour altérer les hydrocarbures par des processus biophysiques (floculation argile-hydrocarbures et biodégradation);*
- *lorsqu' ils sont altérés à la surface, formant une croûte qui empêche l'activité des processus de biodégradation.*

## Abstract

---

*A field survey was conducted from June to September 1992 to locate and document any residual oil on the shores of Chedabucto Bay, Nova Scotia. The grounding of the tanker Arrow in February 1970 resulted in the release of more than  $11 \times 10^6$  litres (L) of Bunker C fuel oil. This oil was stranded over an estimated 305 km of shoreline in the Chedabucto Bay area, but less than 50 km of shoreline were treated during subsequent response operations. Previous random visits to the site have indicated that oil is still present in some areas, but that much of the coastline has been cleaned through natural processes over the years. A systematic ground survey, however, has documented the presence of oil on 13.3 km of shoreline in Chedabucto Bay. Heavy oiling is restricted to 1.3 km, concentrated primarily in the Black Duck Cove and Lennox Passage areas. Some of this residual oil has been identified as coming from the Arrow based on circumstantial evidence; however, chemical analysis identifies one sample from Black Duck Cove as probably being Arrow oil.*

*Natural weathering accounts for the removal of the majority of the oil from Chedabucto Bay. Where oil remains, it occurs as a thin stain on bedrock or coarse sediments (pebbles, cobbles, and boulders) or as a resistant oil-sediment asphalt-like mixture. Areas in the low wave-energy environments of Haddock Harbour and Inhabitants Bay that were observed to be heavily oiled in the spring of 1970, and were not cleaned are now virtually free of oil. These areas have a plentiful supply of fine-grained suspended sediments that may have contributed to clay-oil flocculation weathering as described recently for Prince William Sound, Alaska. The presence or absence of oil residues in Chedabucto Bay can be explained in terms of the physical, biophysical, and biological processes that act upon stranded oil. Oil remains on the shore when it is:*

- outside the zone of physical wave action (including sheltered lagoons) required to move sediments and/or abrade the oil;*
- in areas of nearshore mixing where fine sediments are not present to weather the oil through biophysical processes (clay-oil flocculation and biodegradation); and*
- weathered on the surface, forming a crust that prevents biodegradation processes from being active.*



# Table des matières

---

<b>Résumé</b> .....	v
<b>Abstract</b> .....	vii
<b>Liste des figures</b> .....	xi
<b>Liste des tableaux</b> .....	xii
<b>Sommaire</b> .....	xiii
<b>Remerciements</b> .....	xx

## *Section 1*

<b>Introduction</b> .....	1
<b>1.1</b> Déversements d'hydrocarbures dans la région de la baie Chedabucto .....	1
<b>1.2</b> But et portée du programme .....	2

## *Section 2*

<b>Méthodes</b> .....	3
<b>2.1</b> Levé systématique au sol .....	3
<b>2.2</b> Segmentation du littoral .....	3
<b>2.3</b> Documentation du levé au sol .....	5
<b>2.4</b> Documentation des études de sites .....	5
<b>2.5</b> Prélèvement et analyse d'échantillons .....	8
<b>2.5.1</b> Prélèvement des échantillons .....	8
<b>2.5.2</b> Analyse des échantillons .....	10

## *Section 3*

<b>Résultats du levé systématique au sol</b> .....	12
<b>3.1</b> Longueur du littoral mazouté et distribution des hydrocarbures .....	13
<b>3.2</b> Quantités et caractéristiques des hydrocarbures résiduares du littoral .....	13
<b>3.3</b> Analyse .....	13

## *Section 4*

<b>Résultats des levés détaillés</b> .....	16
<b>4.1</b> Partie est de l'île Rabbit (LN-12) .....	16
<b>4.2</b> Flèche Black Duck (rive sud de la lagune) (BD-1) .....	20
<b>4.2.1</b> Zone de cailloux .....	24
<b>4.2.2</b> Zone de galets .....	25
<b>4.2.3</b> Zone de revêtement .....	25
<b>4.2.4</b> Zones de bitume .....	25
<b>4.3</b> Lagune Black Duck (rive nord, bordant le continent) (BD-2) .....	26

<b>4.4</b>	Autres visites de sites . . . . .	29
<b>4.4.1</b>	Milieux abrités et à faible énergie de la baie Inhabitants et de la partie ouest du passage Lennox . . . . .	29
<b>4.4.2</b>	Plages et caps exposés du nord et de l'ouest de la baie Chedabucto . . . . .	29
<b>4.4.3</b>	Arichat Harbour (AR-13) . . . . .	30
<b>4.5</b>	Résultats des analyses des échantillons . . . . .	30

### *Section 5*

<b>Analyse</b>	. . . . .	37
<b>5.1</b>	Distribution des hydrocarbures résiduaux sur le littoral . . . .	37
<b>5.1.1</b>	Longueurs du littoral mazoutées . . . . .	37
<b>5.1.2</b>	Distribution des hydrocarbures et zone tidale . . . . .	39
<b>5.1.3</b>	Distribution des hydrocarbures et sédiments . . . . .	39
<b>5.2</b>	Quantités et caractéristiques des hydrocarbures résiduaux du littoral . . . . .	39
<b>5.3</b>	Nettoyage naturel des littoraux mazoutés . . . . .	43
<b>5.3.1</b>	Hydrocarbures résiduaux et nettoyage naturel dans la baie Chedabucto . . . . .	44
<b>5.3.2</b>	Comparaison entre l'anse Black Duck et le détroit du Prince-William . . . . .	45
<b>5.3.3</b>	Effets à long terme . . . . .	46
<b>5.3.4</b>	Les sites d'études à long terme dans la baie Chedabucto . . .	47

### *Section 6*

<b>Conclusions</b>	. . . . .	48
<b>6.1</b>	Levé au sol . . . . .	48
<b>6.2</b>	Levés de sites . . . . .	48
<b>6.3</b>	Sommaire . . . . .	48

<b>Références</b>	. . . . .	50
-------------------	-----------	----

### *Annexe A*

<b>Terminologie utilisée pour décrire le mazoutage du littoral et données du levé au sol</b>	. . . . .	55
--	-----------	----

### *Annexe B*

<b>Paramètres de l'analyse des échantillons de sédiments</b>	. . . . .	77
--	-----------	----

### *Annexe C*

<b>Photographies</b>	. . . . .	87
----------------------	-----------	----

## Liste des figures

---

1	Région à l'étude dans la baie Chedabucto . . . . .	4
2	Formulaire «Bilan du mazoutage du littoral» établi pour le segment BD-6.1 . . . . .	6
3	Croquis du littoral illustrant le mazoutage sur les segments BD-1 à BD-6 . . . . .	7
4	Protocole analytique . . . . .	11
5	Site d'étude de la partie est de l'île Rabbit . . . . .	17
6	Mazoutage sur le site d'étude de la partie est de l'île Rabbit (11 septembre 1992) . . . . .	18
7	Sites d'étude de la lagune et de la flèche Black Duck . . . . .	21
8	Mazoutage et caractéristiques du substrat sur le site d'étude de la flèche Black Duck (12 septembre 1992) . . . . .	22
9	Mazoutage et caractéristiques du substrat sur le site d'étude de la lagune Black Duck (12 septembre 1992) . . . . .	27
10	Tracé d'hydrocarbures dégradés (échantillon A, figure 7) . . . . .	32
11	Tracé du mazout original de l' <i>Arrow</i> - Analyse de 1993 . . . . .	33
12	Tracé du mazout de l' <i>Arrow</i> - Analyse de 1978 . . . . .	33
13	Tracé du mazout de l' <i>Arrow</i> - Analyse de 1985 . . . . .	34
14	Tracé de l'échantillon 6 - 1992 . . . . .	34
15	Concentrations relatives des alcanes . . . . .	35
16	Distribution des HAP . . . . .	36
17	Distribution des HAP - Mazout original de l' <i>Arrow</i> et échantillon 6 (1992) . . . . .	36

## Liste des tableaux

---

<b>1</b>	Sommaire des données du levé de 1992 . . . . .	14
<b>2</b>	Sommaire de la distribution des hydrocarbures sur les sites des levés détaillés . . . . .	19
<b>3</b>	Résultats de l'analyse quantitative . . . . .	31
<b>4</b>	Hydrocarbures aromatiques polycycliques . . . . .	35
<b>5</b>	Sommaire de la couverture des hydrocarbures et du degré de mazoutage . . . . .	38
<b>6</b>	Source des échantillons . . . . .	43

## Sommaire

---

*Le présent rapport décrit les activités liées à un levé sur le terrain réalisé dans la baie Chedabucto (Nouvelle-Écosse) pour le compte d'Environnement Canada de juin à septembre 1992, et il résume les données obtenues. Le levé avait pour objectif de localiser et de décrire tous les hydrocarbures résiduels sur les rives de la baie Chedabucto. L'échouement du pétrolier Arrow en février 1970 a causé le rejet de plus de  $11 \times 10^6$  L de mazout lourd, qui se sont répandus sur plus de 305 km de littoral dans la région de la baie Chedabucto. Le déversement ultérieur du pétrolier Kurdistan, en mars 1979, a touché certaines sections orientales de la région à l'étude, mais, à moins d'indication contraire, on considère que les hydrocarbures résiduels décrits dans le présent rapport proviennent de l'Arrow.*

### **Levé régional**

*Au cours de la première étape du programme d'étude sur le terrain, 249 km de littoral de la baie Chedabucto ont fait l'objet d'un levé à pied sur une période de 25 jours, de juin à août 1992. Les données recueillies sur le terrain peuvent être résumées comme suit :*

- La longueur totale du littoral sur lequel on a trouvé des hydrocarbures ou des sédiments mazoutés était de 13 302 m, soit 5,37 % du littoral reconnu.*
- Sur 868 m (6,5 % de tout le littoral mazouté), la couverture des hydrocarbures (évaluée d'après leur épaisseur et leur distribution) était «forte»; 77 % du littoral mazouté avait une couverture d'hydrocarbures «légère» ou «très légère».*
- Sur 1 336,5 m (10 % de tout le littoral mazouté), le degré de mazoutage (évalué d'après la largeur, la distribution et l'épaisseur des hydrocarbures) était «élevé»; 83 % du littoral mazouté avait un degré de mazoutage «faible» ou «très faible».*
- Sur 275 m (2 % de tout le littoral mazouté), les hydrocarbures étaient «concentrés» pour ce qui est de leur épaisseur; sur 83 % du littoral mazouté, les hydrocarbures se présentaient comme une «couche» ou des «taches».*
- Sur 2 547 m (19 % de tout le littoral mazouté), les hydrocarbures avaient l'aspect d'un «revêtement bitumineux».*

- *Seulement un des 129 segments sur lesquels on a trouvé des hydrocarbures se trouvait dans une zone où l'énergie des vagues était élevée; 114 segments (88 % du nombre total de segments où l'on a observé des hydrocarbures) se trouvaient dans des zones à faible énergie.*

*Les hydrocarbures s'étaient répandus sur plus de 300 km de littoral dans la baie Chedabucto en 1970, mais, 22 ans plus tard, ces rivages en étaient presque totalement exempts. Les hydrocarbures résiduels peuvent être décrits comme formant de légères taches éparpillées, seuls quelques endroits bien circonscrits ayant des quantités plus importantes d'hydrocarbures. Ces derniers segments se trouvent principalement dans les secteurs abrités de l'anse Black Duck et du passage Lennox.*

### **Levés détaillés**

*La deuxième étape du programme sur le terrain, réalisée en septembre 1992, a consisté à se rendre à des endroits où l'on avait observé des hydrocarbures pendant le levé systématique au sol, pour décrire en détail les caractéristiques et la distribution des hydrocarbures résiduels et pour prélever des échantillons aux fins d'analyses chimiques. Les principales activités ou observations faites à chacun des sites sont résumées ci-après.*

**Partie est de l'île Rabbit.** *Il y a un revêtement bitumineux relativement continu dans la zone intertidale supérieure, sur une superficie d'environ 600 m<sup>2</sup>, sur cette plage ouverte mais abritée (fetch généralement inférieur à 5 km) dans le passage Lennox. On a fait le levé de transects pour étudier la distribution des hydrocarbures et les caractéristiques du substrat sur une longueur de 64,5 m de littoral. On a prélevé des échantillons d'hydrocarbures dont un semblait relativement brillant et mobile, mais il s'est avéré très altéré.*

**Lagune Black Duck (sud).** *Cette zone très abritée du littoral de la lagune (à l'arrière de la flèche), sur la rive extérieure très mazoutée de la baie Chedabucto, est caractérisée par des hydrocarbures altérés, concentrés dans une matrice de galets et de cailloux. On a fait le levé de transects pour étudier la distribution des hydrocarbures et les caractéristiques du substrat sur une longueur de 66,4 m de littoral. Le revêtement bitumineux dans la zone à l'étude couvrait environ 230 m<sup>2</sup>, mais une superficie beaucoup plus importante (990 m<sup>2</sup>) était caractérisée par des sédiments grossiers (galets et cailloux) aux espaces interstitiels de surface remplis d'hydrocarbures. L'analyse d'un échantillon prélevé dans une zone d'hydrocarbures concentrés dans les espaces interstitiels de la zone intertidale supérieure a indiqué que ces*

hydrocarbures étaient relativement peu altérés et provenaient probablement de l'Arrow. D'autres échantillons prélevés dans cette zone étaient très altérés, mais certains avaient un aspect brillant ou frais.

**Lagune Black Duck (nord).** Cet endroit du littoral de la lagune bordant le continent contient des hydrocarbures concentrés et un revêtement bitumineux (sur une superficie d'environ 864 m<sup>2</sup>); il est partiellement recouvert de sédiments et de végétation palustre. On a fait le levé de transects pour étudier la distribution des hydrocarbures et les caractéristiques du substrat sur 113 m de littoral. On a observé des hydrocarbures des deux côtés de la zone à l'étude, mais le levé n'a pas permis de décrire toute la superficie mazoutée en raison de l'épaisseur de la végétation et du manque de temps.

**Baie Inhabitants - Partie ouest du passage Lennox.** Il s'agit d'un milieu abrité à faible énergie qui avait été très mazouté à l'origine; bien qu'il n'ait pas fait l'objet d'un nettoyage ni d'un traitement, il est maintenant presque entièrement exempt d'hydrocarbures de surface ou de subsurface. Il y a des quantités considérables de sédiments en suspension dans les eaux côtières de ce secteur, et on suppose que la présence de cette fraction argileuse a empêché la formation d'une couche d'hydrocarbures de surface altérée, permettant ainsi aux processus physiques et biophysiques d'éliminer les hydrocarbures du littoral.

**Caps et plages du nord et de l'ouest de la baie Chedabucto.** Il s'agit de littoraux exposés sur lesquels on n'a observé que quelques petites plaques éparpillées de résidus d'hydrocarbures.

**Arichat Harbour.** Sur ce littoral abrité, on a soumis en 1970 des sédiments de plage fortement mazoutés à un traitement mécanique, sans toutefois les éliminer. Les hydrocarbures résiduels présents aujourd'hui sur ce segment de plage ont l'aspect d'une bande continue de 2 m de largeur de boulettes de bitume dans la moitié supérieure de la zone intertidale. Ces boulettes ont un diamètre de 3 à 10 cm et on en retrouve quatre ou cinq au mètre carré.

### **Source des résidus d'hydrocarbures**

Il est établi que les littoraux ayant un revêtement bitumineux ou un degré de mazoutage «élevé» qu'on a observés au cours de ce levé ont été mazoutés à la suite du déversement de l'Arrow. De plus, ces endroits ont été visités à plus d'une occasion (1973 et 1982), et les observations faites lors de ces visites confirment cette affirmation.

*Tous les échantillons prélevés, à l'exception d'un seul, étaient altérés au point qu'ils n'étaient plus qu'un mélange complexe de résines et d'asphaltènes, impossible à séparer. Un échantillon d'hydrocarbures concentrés prélevé sur la rive intérieure de la flèche Black Duck est probablement constitué de mazout de l'Arrow, d'après les analyses chimiques effectuées. L'existence après plus de 22 ans, dans les flaques d'une plage, de ce qui semble bien être du mazout original de l'Arrow, avec les mêmes caractéristiques que le mazout entreposé dans un contenant scellé, est proprement stupéfiante. Ces hydrocarbures sont demeurés presque inaltérés après s'être échoués sur une plage de galets fortement mazoutée à l'origine; une croûte altérée s'est formée au-dessus et au-dessous de la couche d'hydrocarbures pour la protéger de l'altération biophysique. Des preuves indirectes donnent à croire que les autres échantillons d'hydrocarbures proviennent aussi de l'Arrow, mais les analyses effectuées n'ont pas réussi à en déterminer la source hors de tout doute. Les tracés de ces échantillons fournissent très peu d'informations et montrent que les techniques actuelles (chromatographie gazeuse) parviennent rarement à caractériser les hydrocarbures très vieillis ou à fournir des données significatives sur leur altération.*

### **Résidus d'hydrocarbures en 1992**

*Le mazout lourd déversé par l'Arrow en 1970 s'est répandu sur environ 305 km de littoral dans la baie Chedabucto. Environ 50 km de littoral ont été nettoyés ou traités dans des endroits relativement accessibles. Les hydrocarbures qui sont demeurés après les opérations de nettoyage ont été altérés et abrasés au point que, lors du levé de 1992, il ne restait plus que quelques poches dispersées de résidus d'hydrocarbures. La majorité des hydrocarbures résiduels sont concentrés dans dix segments de littoral dans les secteurs de l'anse Black Duck et du passage Lennox. À ces endroits, on a observé un revêtement bitumineux et des flaques d'hydrocarbures concentrés. Ailleurs, les hydrocarbures résiduels ont l'aspect de taches légères ou d'une couche mince sur des rochers ou des sédiments grossiers.*

### **Nettoyage naturel des littoraux exposés**

*Les littoraux mazoutés soumis à l'action des vagues sur les côtes exposées ou modérément exposées ont été nettoyés principalement par abrasion physique. À ces endroits, on ne retrouve que de petites quantités d'hydrocarbures résiduels, éparpillées en taches très minces dans les parties supérieures de la plage, au-dessus de la limite d'action de la plupart des vagues.*

### **Nettoyage naturel des littoraux abrités**

*La majorité des segments sur lesquels on a observé des résidus d'hydrocarbures se trouvent dans des milieux où l'énergie des vagues est faible, et les quelques sites fortement mazoutés représentent probablement plus de 90 % du volume des hydrocarbures résiduels. Cependant, une des principales constatations de notre étude est probablement qu'il n'y a maintenant plus d'hydrocarbures sur un grand nombre des littoraux qui étaient à l'origine fortement mazoutés et qui se trouvent dans des milieux à faible énergie. Il convient de signaler qu'à proximité du lieu du déversement, on a trouvé des hydrocarbures sur 18 seulement des 111 segments des secteurs abrités de la baie Inhabitants et de Haddock Harbour. Ces côtes fortement mazoutées à l'origine ont fait l'objet de très peu d'opérations de nettoyage en 1970. On ne peut raisonnablement attribuer à l'abrasion physique le nettoyage naturel de ces littoraux à faible énergie. Ces eaux contiennent des quantités considérables de sédiments en suspension à grain fin, et nous croyons que le processus de floculation argile-hydrocarbures a empêché la formation d'une surface altérée dure sur les hydrocarbures échoués. Ce processus a permis l'altération et l'élimination continues de la surface des hydrocarbures grâce à la combinaison biophysique de la floculation et de la biodégradation (oxydation).*

*La présence ou l'absence de résidus d'hydrocarbures sur la côte de la baie Chedabucto, 22 ans après le déversement de l'Arrow, peut s'expliquer par les processus d'altération physique et de dégradation biologique qui agissent pour éliminer les hydrocarbures échoués sur les littoraux. Les effets directs de l'abrasion physique et des pressions hydrauliques causées par l'action des vagues sur les littoraux exposés fournissent un mécanisme efficace et rapide d'élimination des hydrocarbures dans les milieux exposés où l'énergie des vagues est modérée ou élevée. L'importance relative des processus physiques et biologiques varie géographiquement dans les endroits où l'action des vagues n'est pas le processus d'élimination dominant. Les hydrocarbures ont donc été éliminés de certains milieux abrités à faible énergie, mais ils demeurent en quantités appréciables dans d'autres endroits abrités.*

### **Autres commentaires**

*Nos travaux ont fait ressortir qu'à elle seule, la longueur totale du littoral mazouté est une piètre mesure du mazoutage réel. Une évaluation du mazoutage d'après la couverture (distribution) ou*

*l'épaisseur des hydrocarbures est essentielle pour avoir une idée exacte du degré de mazoutage.*

*Notre étude a également validé le concept selon lequel des transects uniques sont inadéquats pour décrire la situation des hydrocarbures de surface et de subsurface. Les caractéristiques du substrat et la distribution et l'aspect des hydrocarbures variaient considérablement à l'intérieur des trois sites ayant fait l'objet d'une cartographie détaillée. Les levés qui ne comportent qu'un transect par unité ou par segment sont adéquats seulement dans les cas de mazoutage uniforme sur des substrats uniformes, qui sont rares sur des littoraux mixtes comme ceux qui ont été mazoutés à la suite des déversements de l'Arrow et de l'Exxon Valdez.*

*La valeur d'une documentation audiovisuelle détaillée sur les endroits où le mazoutage est complexe est devenue évidente au cours de l'étape d'interprétation de nos travaux. Les photographies et les notes prises ou les cartes établies sur le terrain sont très importantes dans ce type d'étude, mais on peut enregistrer et archiver beaucoup plus d'informations grâce à une utilisation attentive et systématique des techniques vidéo.*

*Dans le secteur de l'anse Black Duck, la croissance d'une végétation épaisse, composée aussi bien de graminées que de fucus, apparaît évidente lorsqu'on compare les photographies prises et les observations faites sur le terrain depuis 22 ans. Ces plantes ont poussé sur des plages à sédiments grossiers dans une zone abritée où il reste encore des hydrocarbures en 1992, sur ce qui aurait été autrement un substrat infertile.*

## **Conclusions**

- 1) *Il y a des hydrocarbures sur 13,3 km de littoral dans la baie Chedabucto. Le mazoutage sévère se limite à 1,3 km et est concentré principalement dans les secteurs de l'anse Black Duck et du passage Lennox. D'après des preuves indirectes, on a déterminé que certains des hydrocarbures résiduels proviennent de l'Arrow; l'analyse chimique indique en outre qu'un échantillon prélevé dans l'anse Black Duck est probablement constitué de mazout provenant de l'Arrow.*
- 2) *On a relativement peu nettoyé le littoral en 1970; environ 50 seulement des quelque 300 km mazoutés ont été traités. La majeure partie des hydrocarbures a été éliminée de la baie Chedabucto par altération naturelle. Là où il en reste, les*

*hydrocarbures se présentent sous forme soit de taches minces sur des rochers ou des sédiments grossiers (galets, cailloux et blocs), soit d'un mélange résistant d'hydrocarbures et de sédiments semblable à du bitume.*

- 3) *Dans certaines zones de Haddock Harbour et de la baie Inhabitants, où l'énergie des vagues est faible, on avait observé un mazoutage sévère au printemps de 1970; or ces zones, qui n'ont pas fait l'objet d'opérations de nettoyage, sont maintenant pratiquement exemptes d'hydrocarbures. On y retrouve en abondance des sédiments en suspension à grain fin qui peuvent avoir contribué au processus d'altération par floculation argile-hydrocarbures décrit récemment dans le cas du détroit du Prince-William (Alaska).*
- 4) *La zone la plus mazoutée se trouve dans la lagune Black Duck, où il y a encore un revêtement bitumineux et des hydrocarbures concentrés dans les espaces interstitiels de trois zones distinctes constituées principalement de sédiments grossiers (cailloux et galets).*
- 5) *Il reste des «boulettes de bitume» résistantes sur les plages d'Arichat Harbour, où les sédiments mazoutés ont été déplacés par un bulldozer.*
- 6) *La présence ou l'absence de résidus d'hydrocarbures dans la baie Chedabucto à la suite du déversement de l'Arrow peut s'expliquer par les processus physiques, biophysiques et biologiques qui agissent sur les hydrocarbures échoués. Les hydrocarbures demeurent sur le rivage :*
  - *lorsqu'ils se trouvent à l'extérieur des zones où l'action physique des vagues est suffisante pour déplacer les sédiments et abraser les hydrocarbures (notamment dans les lagunes abritées);*
  - *lorsqu'ils se trouvent dans des zones côtières de mélange où il n'y a pas de sédiments à grain fin pour altérer les hydrocarbures par des processus biophysiques (floculation argile-hydrocarbures et biodégradation);*
  - *lorsqu'ils sont altérés à la surface, formant une croûte qui retarde les changements et protège les hydrocarbures contre les processus d'altération et les processus océanographiques.*

## Remerciements

---

*Le projet a été financé par la Division des urgences (Science) de la Direction générale du développement technologique d'Environnement Canada; Gary Sergy en était le gestionnaire. Le programme sur le terrain a été organisé et appuyé par le bureau d'Environnement Canada à Dartmouth (Nouvelle-Écosse). La Garde côtière du Canada a fourni un soutien logistique sur le terrain à partir de ses installations de Mulgrave (Nouvelle-Écosse). Le soutien analytique a été assuré par Zendi Wang, de la Division des urgences (Science) du Centre de technologie environnementale.*

## Introduction

### **1.1 Déversements d'hydrocarbures dans la région de la baie Chedabucto**

Il y a deux sources connues d'hydrocarbures résiduels dans la région de la baie Chedabucto : l'*Arrow*, un pétrolier qui s'est échoué dans la baie en 1970, et le *Kurdistan*, qui s'est brisé en deux au large en 1979. Ces deux incidents ont entraîné le déversement de mazout lourd.

Le déversement de l'*Arrow* a commencé le 4 février 1970 après que le pétrolier se fut échoué sur le rocher Cerberus, à 6,5 km de la rive septentrionale de la baie Chedabucto. Près de  $11,4 \times 10^6$  L (72 000 bbl) de mazout lourd ont été déversés par le navire lorsqu'il s'est rompu au cours des jours suivants et qu'il a coulé le 8 février. La majeure partie des hydrocarbures a été déversée au cours des 24 premières heures, mais des quantités moins importantes ont continué à fuir des sections submergées du navire jusqu'à la fin des opérations de récupération de la cargaison à la fin mars.

Le pétrole s'est échoué sur les rivages voisins en l'espace de quelques heures; des nappes d'hydrocarbures ont été transportées jusqu'à des endroits aussi éloignés que l'île de Sable et sont demeurées à la surface des eaux de la région pendant

plusieurs semaines. Des hydrocarbures se sont échoués jusqu'à la mi-avril sur des littoraux encore intacts. Ils ont été rabattus sur le rivage, à divers degrés, sur environ 305 des 604 km de littoral de la baie Chedabucto (Groupe spécial de l'opération «hydrocarbures», 1970b); seulement 50 km environ ont été nettoyés au cours de l'opération «hydrocarbures» (de mars à août 1970) (Groupe spécial de l'opération «hydrocarbures», 1970a). En plus des opérations de nettoyage de 78 plages menées par le ministère des Travaux publics (MacKay, 1970), des travaux de nettoyage avaient été réalisés antérieurement par les Forces armées canadiennes, et l'on a effectué quelques essais à échelle limitée (p. ex., sur l'utilisation d'agents chimiques et de poudre de calcaire).

Le *Kurdistan* s'est brisé en deux dans la banquise le 15 mars 1979 dans la région du détroit de Cabot, au nord de l'île du Cap-Breton. Environ  $8,6 \times 10^6$  L (54 000 bbl) de mazout lourd ont été déversés, se répandant sur la moitié septentrionale de la côte est de la Nouvelle-Écosse, principalement à l'extérieur de la baie Chedabucto. Un levé effectué les 19 et 20 avril 1979 a révélé la présence d'hydrocarbures visqueux et épais dispersés à 16 endroits le long du littoral dans les parties nord-est et est de la baie Chedabucto (Fowler et Noll, 1979).

La distribution de ces hydrocarbures était éparse, et ils ont été récupérés aux endroits où l'on en a décelé la présence. Bien qu'il soit improbable que d'importantes quantités de pétrole du *Kurdistan* soient demeurées dans la région à l'étude, il se peut que certains des hydrocarbures observés pendant le levé de 1992 sur le littoral de la baie Chedabucto proviennent du *Kurdistan*. Toutefois, à moins d'indication contraire, on considère que les hydrocarbures résiduaux décrits dans le présent rapport proviennent de l'*Arrow*.

## **1.2 But et portée du programme**

Le déversement de l'*Arrow* en 1970 a fait l'objet d'études détaillées au moment de l'incident (Drapeau, 1970; MacKay, 1970; Owens, 1970, 1971a, 1971b; McLean et Betancourt, 1973; Buckley *et al.*, 1974). Cependant, depuis une série de premières études de suivi (p. ex., Owens et Drapeau, 1973; Thomas, 1973, 1977, 1978; Rashid, 1974; Owens et Rashid, 1976; Vandermeulen et Gordon, 1976; Keizer *et al.*, 1978), aucun levé systématique n'avait été effectué afin de déterminer la présence, les caractéristiques et la distribution des hydrocarbures résiduaux sur le littoral. De même, on n'avait pas effectué de levé détaillé ni de levé au sol

depuis le nettoyage réalisé tout de suite après le déversement du *Kurdistan* en 1979, qui s'est limité à localiser et à éliminer les hydrocarbures échoués faciles à déceler. L'importance des hydrocarbures résiduaux était donc jusqu'ici du domaine de la conjecture.

La sagesse populaire voudrait que des processus naturels (biologiques, chimiques et physiques) aient éliminé tous les hydrocarbures qui n'ont pas été récupérés au cours du nettoyage initial. Des levés de reconnaissance (p. ex., un vidéo aérien fait par Petro-Canada et Woodward-Clyde en 1992) ont indiqué qu'à l'exception de quelques endroits bien circonscrits, la côte de cette région est exempte d'hydrocarbures. Dans le cas du déversement de l'*Arrow*, cela signifie que quelque 255 km de littoral souillé par du mazout lourd auraient été nettoyés par des processus naturels. Afin de confirmer cette hypothèse, un levé systématique au sol a été effectué de juin à août 1992, suivi de levés plus détaillés à deux endroits (anse et lagune Black Duck et île Rabbit) en septembre 1992. Les données provenant de ces levés fournissent une analyse systématique, détaillée et à jour du mazoutage dans la région.

## Section 2

---

### Méthodes

#### 2.1 Levé systématique au sol

La première étape du programme sur le terrain a consisté à effectuer un levé systématique de la côte de la baie Chedabucto, y compris le littoral de l'île Madame et des autres îles de la baie entre l'île St. Peters, sur la rive nord, et l'anse Black Duck, sur la rive sud-est (cf. figure 1). Le levé a été effectué entre le 15 juin et le 19 août 1992. Il s'est fait principalement à pied; toutefois, lorsqu'il était impossible d'avoir accès au littoral par l'arrière-plage, le long de sections de la baie Inhabitants et aux alentours, on s'y est rendu par bateau. D'après l'interprétation des cartes, celle des photos aériennes et les observations sur le terrain, on estime que la région à l'étude comprenait 305 km de littoral, dont 248 km ont fait l'objet d'un levé au sol.

Les secteurs exclus du levé l'ont été pour l'une ou l'autre des raisons suivantes :

- il n'existait pas de données indiquant un mazoutage à la suite des deux déversements;
- il existait des données indiquant qu'il n'y avait eu aucun mazoutage à la suite des deux déversements;
- l'accès n'était pas pratique au cours de la durée du levé en raison des

intempéries ou de l'impossibilité d'obtenir un bateau de soutien de la Garde côtière canadienne.

Tous les levés au sol ont été effectués au cours de la moitié inférieure du cycle de la marée, commençant de trois à quatre heures avant la basse mer et finissant trois à quatre heures après celle-ci. La durée cumulative des levés au sol a été de 24,5 jours; cependant, environ 5 jours ont été passés à revenir en arrière une fois le levé terminé sur un segment de littoral. Les équipes ont travaillé en moyenne 7,5 heures par jour. D'après ces chiffres, on a reconnu en moyenne 17 segments par jour, soit une moyenne de 10,1 km de littoral.

#### 2.2 Segmentation du littoral

Les segments du littoral ont été définis à l'avance en fonction des connaissances existantes sur les variables du littoral; ils ont été indiqués sur des cartes topographiques. Chaque segment a reçu un indicatif alphanumérique (cf. annexe A) avant le début du levé sur le terrain; on s'est basé, en partie, sur une caractéristique locale marquante. Au total, la région à l'étude a été découpée en 505 segments, dont 419 ont fait l'objet d'un levé. On a trouvé des hydrocarbures résiduels sur 129 de ces segments.

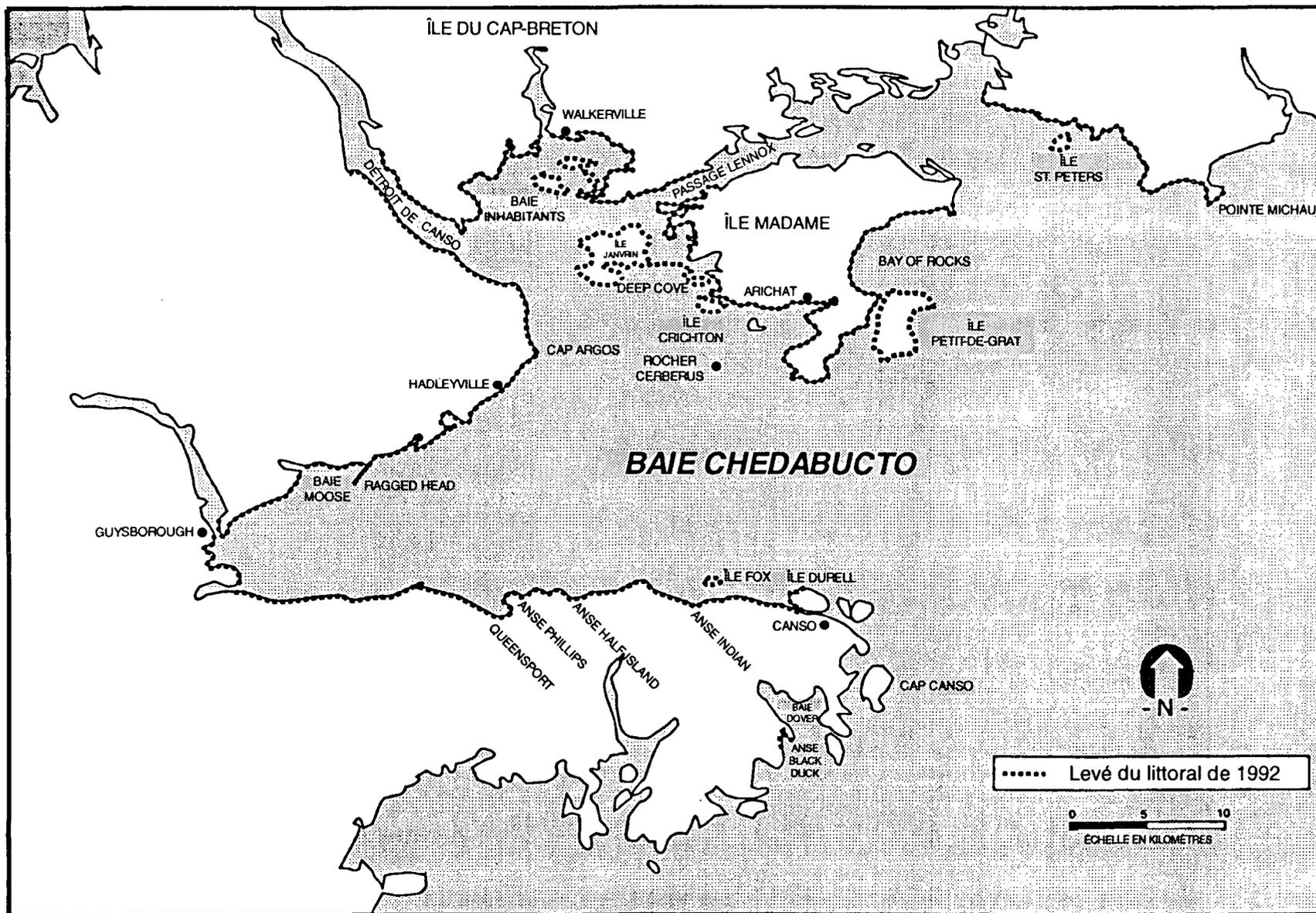


Figure 1 Région à l'étude dans la baie Chedabucto

La longueur des segments variait de 75 m à 4,4 km, et celle de 350 (69 %) d'entre eux variait de 300 à 1 000 m. Les limites des segments et des emplacements ont été déterminées sur le terrain à l'aide de cartes topographiques et, au besoin, d'un appareil portatif de SPG (Système de positionnement global).

### **2.3 Documentation du levé au sol**

Les méthodes de documentation ont été calquées sur celles présentées dans la première version du manuel de la technique d'évaluation pour la restauration des rives (TERR) de la côte de l'Atlantique (voir aussi Environnement Canada, 1992). Lorsqu'on ne trouvait aucun hydrocarbure sur un segment, seules les données géologiques et géomorphologiques étaient consignées sur le formulaire «Bilan du mazoutage du littoral» (BML). Lorsqu'on observait la présence d'hydrocarbures résiduels, on recueillait des données conformément aux méthodes de la TERR :

- remplir un formulaire BML;
- faire un croquis du segment et de la distribution des hydrocarbures de surface;
- prendre une photo couleur;
- enregistrer un vidéo couleur de 8 mm.

L'information utilisée pour remplir le formulaire BML est fondée sur un ensemble établi de termes qui décrivent les caractéristiques des hydrocarbures sur le littoral (Environnement Canada, 1992). Cette terminologie vise à donner une description précise des hydrocarbures échoués ou résiduels en ce qui concerne :

- la largeur de la zone mazoutée;
- l'étendue de la présence (distribution) des hydrocarbures de surface;
- l'épaisseur de la couche d'hydrocarbures de surface ou de subsurface;
- l'aspect des hydrocarbures.

Cet ensemble de données décrit en détail à quels endroits et en quelles quantités exactement il reste des hydrocarbures sur le littoral de chaque segment.

Un exemple d'un formulaire BML (pour le segment BD-6.1) est présenté à la figure 2, et la figure 3 reproduit le croquis établi pour ce segment et les segments adjacents. On trouvera à l'annexe A les définitions des termes utilisés pour décrire le littoral et son mazoutage ainsi qu'un bilan des données provenant de tous les formulaires et croquis.

### **2.4 Documentation des études de sites**

La deuxième étape du programme sur le terrain a compris plusieurs visites à des emplacements mazoutés représentatifs ainsi que des études plus détaillées à des endroits où l'on avait observé des hydrocarbures résiduels au cours du levé systématique au sol. Cette étape a duré cinq jours (du 9 au 13 septembre 1992) et a été constituée des activités suivantes :

1992-09-09	Inspection du site et prélèvement d'échantillons dans la lagune Black Duck (BD-1 et BD-2).
------------	--

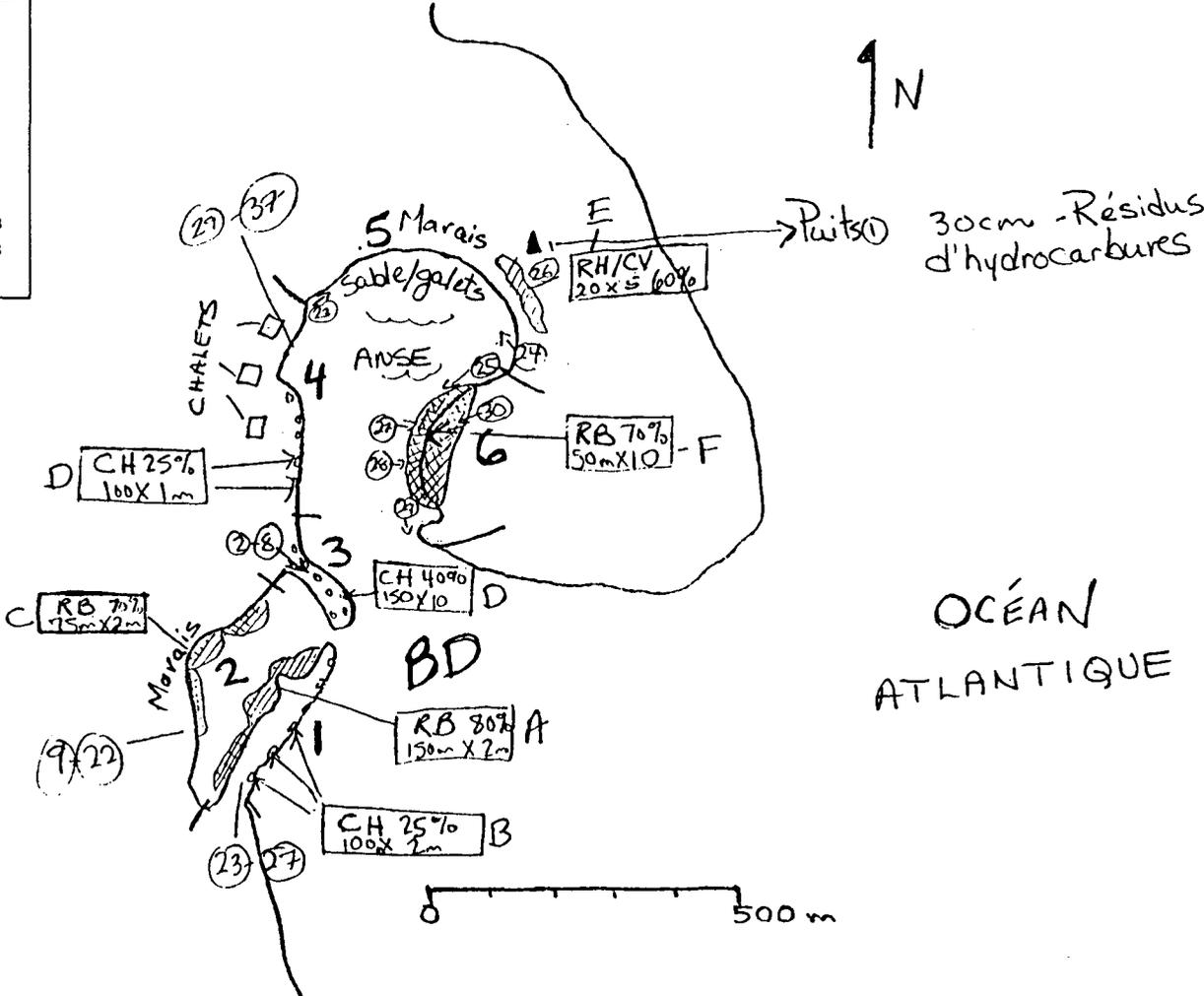


GÉOMORPHOLOGUE B. McGwire  
 SEGMENT BD-1-6  
 DATE 15.18 / 07 / 94  
 PAGE 1 DE 16 (total)  
 LISTE DE CONTRÔLE :

✓ Nord	✓ Échelle (approx.)
✓ Distribution	✓ Limites du segment
✓ Largeur	✓ Type de substrat
✓ Longueur	✓ Emplacement des puits
✓ Couverture	✓ Endroits photographiés
✓ Épaisseur	== LPM/LBM (est.)

Anse Black duck

Segments 1-4  
 Film n° 1  
 Segments 5-6  
 Film n° 3



LÉGENDE

E  
 2 x 20 m  
 FR/CH/75

E = Emplacement; 2 x 20 m = dimensions  
 FR/ = Aspect des hydrocarbures (frais)  
 CH/ = Épaisseur des hydrocarbures (couche)  
 75 = Couverture des hydrocarbures (%)

1 △  
 Puits - Pas d'hydrocarbures  
 de subsurface

2 ▲  
 Puits - Hydrocarbures  
 de subsurface

lllll  
 Végétation  
 mazoutée

1 ●→  
 Endroit photographié,  
 direction et  
 nombre de photos

Figure 3 Croquis du littoral illustrant le mazoutage sur les segments BD-1 à BD-6

- 1992-09-10 Visite au sol à l'ouest de la pointe Michaud (PM-15). Inspection aérienne et visites au sol à la pointe Oyster (DC-2, DC-3 et DC-4), à Ragged Head (GY-21A), à Queensport (CA-28) et à l'île Rabbit (LN-12).
- 1992-09-11 Cartographie détaillée à l'île Rabbit (LN-12). Visites au sol (par bateau) au nord de l'île Rabbit (LN-6), à l'île MacNamaras (IN-69), à la pointe Tongue (LN-13) et dans la baie Inhabitants (IN-31, IN-33 et IN-34).
- 1992-09-12 Cartographie détaillée dans la lagune Black Duck (BD-1 et BD-2).
- 1992-09-13 Visites au sol à l'île Janvrin (JN-22, JN-23), à Deep Cove (HH-32 et HH-33) et à Arichat Harbour (AR-13).

Les trois études détaillées de sites (LN-12, BD-1 et BD-2) ont compris les activités suivantes:

- cartographie de la distribution des hydrocarbures de surface;
- creusage de tranchées ou de puits pour établir la présence ou l'absence d'hydrocarbures de subsurface;
- prélèvement d'échantillons pour les analyses par chromatographie gazeuse avec détecteur à ionisation de flamme (CG/DIF) et avec spectromètre de masse (CG/SM);

- documentation photographique et vidéo complète.

## 2.5 *Prélèvement et analyse d'échantillons*

Quatorze échantillons ont été recueillis en vue d'analyses chimiques. Chacun d'eux a été prélevé à l'aide d'une pelle propre et a immédiatement été placé dans un bocal propre à couvercle vissé.

### 2.5.1 *Prélèvement des échantillons*

Voici une description des endroits où l'on a prélevé les échantillons dont il est question dans le présent rapport. Ces endroits sont indiqués sur les figures citées, qu'on retrouve à la section 4.

#### *Échantillon 1 - Flèche Black Duck*

- Rive de la flèche donnant sur la mer, très exposée (*cf.* figure 7).
- À 2 m au-dessous du sommet de la crête de tempête.
- Au-dessus de la pleine mer moyenne, mais au-dessous de la pleine mer supérieure.
- Couche superficielle de sédiments mobiles et propres (cailloux et galets) de 20 à 30 cm d'épaisseur.
- L'échantillon a été prélevé dans une couche de cailloux et galets d'une épaisseur de 15 cm.
- Les sédiments avaient un diamètre de 2 à 15 cm, et ils étaient couverts de taches et d'une pellicule noires.

- En dessous, on retrouvait du sable grossier propre dans les sédiments (cailloux et galets).

#### *Échantillon 2 - Flèche Black Duck*

- Rive intérieure de la flèche, très abritée (cf. figures 7 et 8).
- Au-dessus de la pleine mer moyenne, mais au-dessous de la pleine mer supérieure.
- Revêtement bitumineux de 2 à 3 cm d'épaisseur, sur un substrat de sable propre.
- On n'a trouvé aucune trace évidente d'hydrocarbures frais, mais on a observé, au centre du revêtement, quelques résidus noirs, brillants et collants.

#### *Échantillon 3 - Flèche Black Duck*

- Rive intérieure de la flèche, très abritée (cf. figures 7 et 8).
- Zone intertidale supérieure, plus bas que l'échantillon 2.
- Plaque de revêtement bitumineux d'une épaisseur maximale de 5 cm, sur du sable grossier sec.

#### *Échantillon 4 - Flèche Black Duck*

- Rive intérieure de la flèche, très abritée (cf. figures 7 et 8).
- Zone intertidale moyenne, plus bas que l'échantillon 3.

- Revêtement bitumineux de 2 à 3 cm d'épaisseur, collant à l'intérieur, sur du sable grossier sec.

#### *Échantillon 5 - Flèche Black Duck*

- Zone intertidale inférieure, sur le platin de la lagune (cf. figures 7 et 8).
- Plus bas que l'échantillon 4, sur une légère élévation.
- Plaque de bitume mou sur du sable limoneux très fin et humide où pousse de la vallisnérie spirale.
- Après le prélèvement de l'échantillon, des reflets irisés et bruns sont demeurés à la surface de l'eau dans le puits d'échantillonnage.

#### *Échantillon 6 - Flèche Black Duck*

- Rive intérieure de la flèche, très abritée (cf. figures 7 et 8).
- Au-dessus la pleine mer moyenne, mais au-dessous de la pleine mer supérieure.
- Sédiments surtout constitués de cailloux arrondis, blancs, d'une diamètre de 20 à 30 cm.
- La surface des cailloux était propre, mais les hydrocarbures étaient accumulés dans les larges espaces qui les séparaient.
- Il y avait en surface une croûte noire et terne d'hydrocarbures altérés.
- Sous cette croûte, des hydrocarbures «purs», de la consistance du miel, s'écoulaient lorsqu'on remuait les cailloux.

### *Échantillon 7 - Lagune Black Duck*

- Rive de la lagune bordant le continent, dans la zone infratidale supérieure (cf. figure 7).
- Secteur couvert d'une épaisse végétation (foin des marais).
- Revêtement d'hydrocarbures mou sur des sédiments organiques fins, à travers lequel pousse du foin des marais.

### *Échantillon 8 - Île Rabbit*

- Zone intertidale moyenne et supérieure (cf. figure 6).
- Site modérément exposé à l'énergie des vagues.
- Échantillon de subsurface prélevé à une profondeur de 2 à 5 cm dans des sédiments formés de sable et de cailloux.
- Les hydrocarbures s'écoulaient librement lorsqu'on remuait les sédiments.
- Des reflets irisés et bruns sont immédiatement apparus à la surface de l'eau dans le puits d'échantillonnage.

### *Échantillon 9 - Île Rabbit*

- Zone intertidale supérieure, 3 m plus haut que l'échantillon 8 (cf. figure 6).
- Revêtement bitumineux sur des sédiments propres formés de sable et de cailloux.

- Surface très altérée, d'un brun pâle, en raison de la présence de sédiments dans les hydrocarbures.

### *Échantillon A - Lagune Black Duck*

- Rive de la lagune bordant le continent (cf. figure 7).
- Zone infratidale supérieure, au sud de l'échantillon 7.
- Secteur couvert d'une épaisse végétation (foin des marais).
- Revêtement d'hydrocarbures mou sur des sédiments organiques fins, à travers lequel pousse du foin des marais.

#### **2.5.2 Analyse des échantillons**

On a analysé les échantillons afin de savoir si les hydrocarbures apparents prélevés au cours du levé provenaient de l'Arrow. On a établi la composition des hydrocarbures et on l'a comparée avec celle d'un échantillon du mazout original de l'Arrow et avec les résultats analytiques provenant d'études antérieures (Keizer *et al.*, 1978; Humphrey et Vandermeulen, 1986).

Les analyses ont été effectuées par la Division des urgences (Science) d'Environnement Canada, au Centre de technologie environnementale à Ottawa. Le protocole analytique utilisé a été mis au point par la Division des urgences (Science) et faisait appel à la chromatographie gazeuse avec détecteur à ionisation de flamme (CG/DIF) et avec spectromètre de masse (CG/SM). Le protocole est résumé à la figure 4 et décrit dans Wang (1993) et Wang et Fingas (1993).

Les analyses effectuées pour la présente étude ont aussi porté sur un échantillon de mazout original de l'Arrow entreposé dans un récipient au laboratoire d'Environnement Canada à Halifax.

Les études antérieures des hydrocarbures provenant du déversement de l'Arrow faisaient état de résultats d'analyses par CG/DIF (Keizer *et al.*, 1978; Humphrey et Vandermeulen, 1986). Dans les deux cas,

on donnait les résultats d'une analyse d'un mazout original, fondée sur des méthodes semblables à celles utilisées dans la présente étude. L'échantillon de mazout original utilisé par Keizer *et al.* (1978) provenait probablement du même récipient que l'échantillon utilisé dans la présente étude, mais l'échantillon utilisé en 1985 par Humphrey et Vandermeulen (1986) était différent.

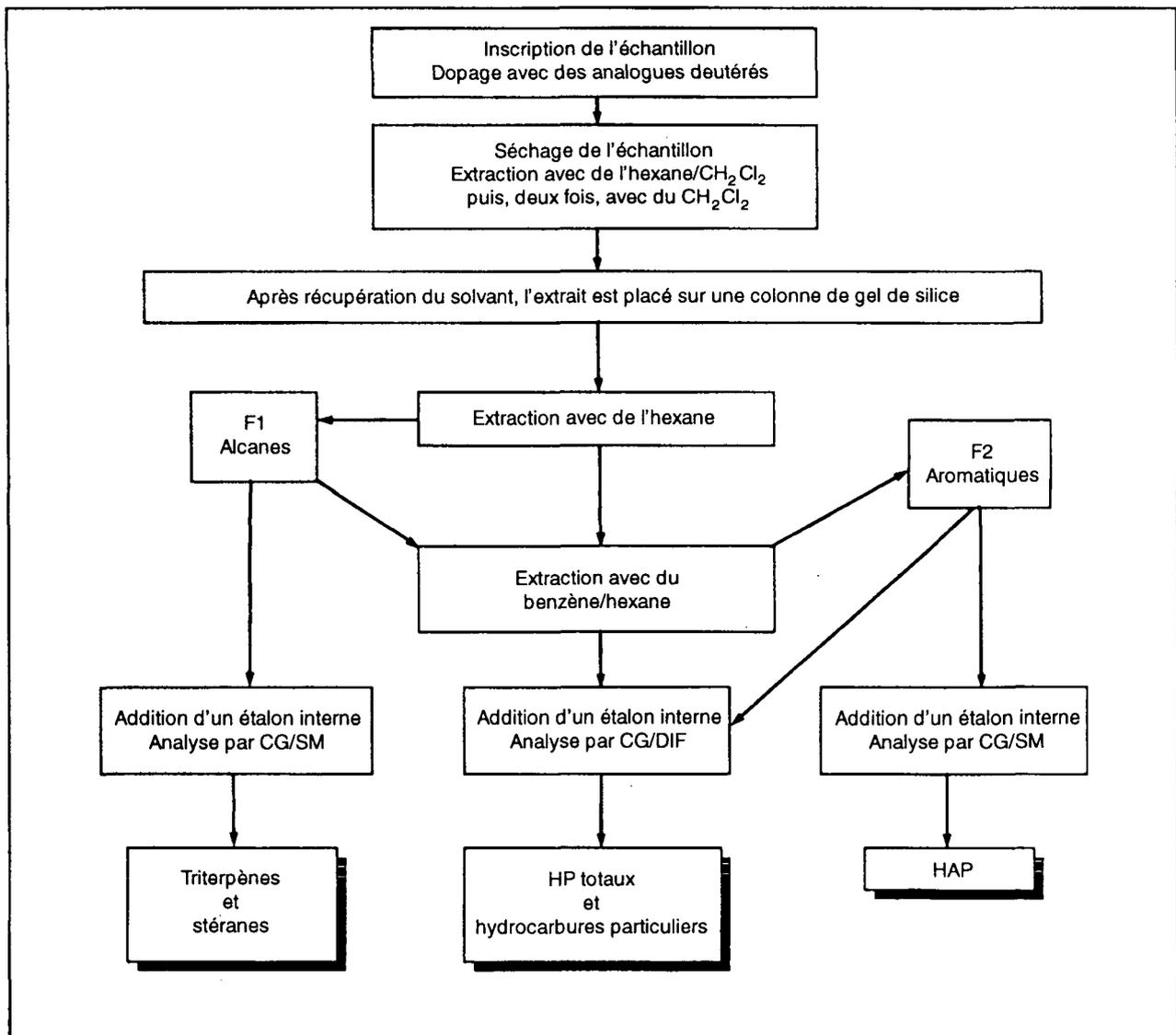


Figure 4 Protocole analytique

### Section 3

---

## Résultats du levé systématique au sol

La présente section décrit les données recueillies sur le terrain dans le cadre du levé systématique au sol fait entre le 15 juillet et le 19 août 1992 par B. McGuire. L'annexe A présente un bref aperçu des termes utilisés dans le formulaire «Bilan du mazoutage du littoral» (BML) et de leurs définitions; on trouvera un ensemble plus complet de définitions et une description de la technique d'évaluation pour la restauration des rives dans les manuels établis par Environnement Canada pour la région de l'Atlantique (sous presse) et pour la Colombie-Britannique (Environnement Canada, 1992). La figure 2 présente un exemple d'une feuille de données remplie sur le terrain (formulaire BML), et la figure 3 reproduit un croquis d'un ensemble de segments.

Le levé au sol visait à consigner la présence de résidus d'hydrocarbures en surface. Des puits ont été creusés aux endroits où l'on supposait qu'il y avait des hydrocarbures. Les données consignées sur les formulaires BML et les croquis n'ont pas toutes été analysées pour la préparation du présent rapport, en raison de la grande quantité d'information obtenue par cette technique de levé relativement simple. L'information présentant le plus d'intérêt pour chaque zone mazoutée d'un segment a été introduite dans un tableur

(cf. annexe A); elle comprenait les éléments suivants :

- emplacement des hydrocarbures, selon la zone tidale;
- longueur de la zone mazoutée;
- largeur de la zone mazoutée;
- distribution des hydrocarbures (pourcentage de couverture);
- épaisseur des hydrocarbures ou de la couche d'hydrocarbures;
- aspect des hydrocarbures.

Cette information a ensuite été utilisée pour définir :

- la couverture des hydrocarbures (un descripteur bidimensionnel);
- le degré de mazoutage (un descripteur tridimensionnel).

Les données sur les caractéristiques physiques de chaque segment comprenaient :

- l'exposition aux vagues;
- la pente de la plage ou de la zone de rivage;

- le ou les types de sédiments;
- la longueur du segment;
- la longueur du segment qui a été reconnue.

### **3.1 Longueur du littoral mazouté et distribution des hydrocarbures**

La longueur totale du littoral sur lequel on a observé des résidus d'hydrocarbures, de quelque forme que ce soit, est de 13,3 km. Ces résidus étaient distribués sur 129 des 419 segments reconnus (cf. tableau 1), ce qui représente une distribution très éparpillée dans toute la baie Chedabucto. Cependant, la majorité des segments fortement mazoutés étaient concentrés dans les secteurs de l'anse Black Duck et du passage Lennox. Tous les hydrocarbures observés se trouvaient dans la zone intertidale supérieure ou dans la zone supratidale.

### **3.2 Quantités et caractéristiques des hydrocarbures résiduels du littoral**

Bien que le pourcentage du littoral mazouté ait été relativement élevé (5,37 % du littoral reconnu), plus de 80 % des zones mazoutées observées avaient un degré de mazoutage «faible» ou «très faible» (cf. tableau 1). Seulement 235 m de littoral contenaient des zones mazoutées «larges» (de plus de 6 m de largeur), et celles-ci étaient concentrées sur quatre segments.

Sur le plan de l'épaisseur, les hydrocarbures entraient surtout (73 %) dans la catégorie des «taches» (<0,01 cm).

C'est seulement sur 2,2 km (16,5 %) du littoral mazouté que les hydrocarbures formaient une «couverture» (0,1 - 1,0 cm) ou étaient «concentrés» (>1,0 cm).

La majorité des hydrocarbures avaient une épaisseur qui les faisait entrer dans la catégorie des «taches». Ce genre d'hydrocarbures est très altéré et contient très peu de fractions à faible masse moléculaire. Aux rares endroits où l'on a trouvé des hydrocarbures «concentrés» ou un «revêtement bitumineux», la surface des hydrocarbures était très altérée et, souvent, d'un gris très pâle. À certains de ces endroits, cependant, l'observation des hydrocarbures de la subsurface révélait qu'ils étaient relativement «frais» en apparence et encore mobiles.

### **3.3 Analyse**

Le levé systématique au sol a permis de dresser un tableau précis de la distribution et des caractéristiques des résidus d'hydrocarbures dans la baie Chedabucto. Ces hydrocarbures peuvent être attribués au déversement de l'*Arrow*, étant donné que les endroits les plus mazoutés correspondent aux endroits où l'on avait observé le mazoutage le plus sévère à la suite du déversement et au cours des levés subséquents de 1973 et 1982. Les levés faits à la suite du déversement du *Kurdistan* n'ont pas signalé d'hydrocarbures à ces endroits.

Les conclusions basées sur le levé systématique au sol peuvent se résumer comme suit :

- 1) On a observé des hydrocarbures sur 30 % des segments de littoral reconnus, mais ces segments ne

Tableau 1 Sommaire des données du levé de 1992

TOTAUX			
Longueur du littoral	304 725 m	Épaisseur	Longueur (m)
Longueur reconnue	247 575 m	Hydrocarbures concentrés	275
Longueur mazoutée	13 302 m	Couverture	1 956
Nombre de segments	505	Couche	1 296
Nombre de segments mazoutés	129	Taches	9 776
Pourcentage mazouté de la longueur reconnue	5,37	Aspect	Longueur (m)
Exposition aux vagues des segments mazoutés		Revêtement bitumineux	2 547
Élevée	1 segment	Résidus de surface	10 754
Modérée	42 segments	Boulettes de goudron	2
Faible	86 segments	Couverture des hydrocarbures	
Distribution (N <sup>bre</sup> de segments)	Longueur (m)	(N <sup>bre</sup> de segments)	Longueur (m)
Continue (1)	2,5	Forte (10)	868,0
Discontinue (24)	1 683,0	Modérée (24)	2 227,5
Éparse (39)	4 011,5	Légère (29)	2 378,5
Sporadique (65)	7 605,0	Très légère (66)	7 828,0
Traces (0)	0,0	Degré de mazoutage	
Largeur (N <sup>bre</sup> de segments)	Longueur (m)	(N <sup>bre</sup> de segments)	Longueur (m)
Large (4)	235	Élevé (24)	1 336,5
Moyenne (16)	2 143	Modéré (15)	977,0
Étroite (101)	10 389	Faible (20)	2 091,0
Très étroite (8)	535	Très faible (70)	8 897,5

représentent que 5,37 % de la longueur totale du littoral reconnu.

plages de sédiments grossiers (galets et cailloux).

- 2) Les hydrocarbures résiduaux peuvent être décrits comme prenant la forme de légères taches dispersées, quelques «poches» en contenant de plus grandes quantités. Les hydrocarbures étaient éparpillés sur une grande partie du littoral de la baie Chedabucto mais se trouvaient surtout dans des endroits abrités, dans la zone intertidale supérieure ou la zone supratidale de
- 3) En ce qui a trait aux zones mazoutées, 78 % étaient «étroites», 87 % présentaient une distribution «sporadique» ou «éparse» et 73 % entraient dans la catégorie des «taches» (épaisseur).
- 4) Quant aux zones mazoutées où l'on a observé d'importantes quantités d'hydrocarbures résiduaux, moins de

2 % étaient «larges», moins de 1 % présentaient une distribution «continue» et 2 % entraient dans la catégorie des hydrocarbures «concentrés» (épaisseur).

- 5) La couverture des hydrocarbures (largeur + distribution) était «légère» dans une proportion de près de 60 %,

et le degré de mazoutage (largeur + distribution + épaisseur) était «très faible» dans une proportion de 67 %. Par contre, la couverture des hydrocarbures était «forte» sur 6,5 % des zones mazoutées et le degré de mazoutage était «élevé» sur 10 % d'entre elles.

## Section 4

---

### Résultats des levés détaillés

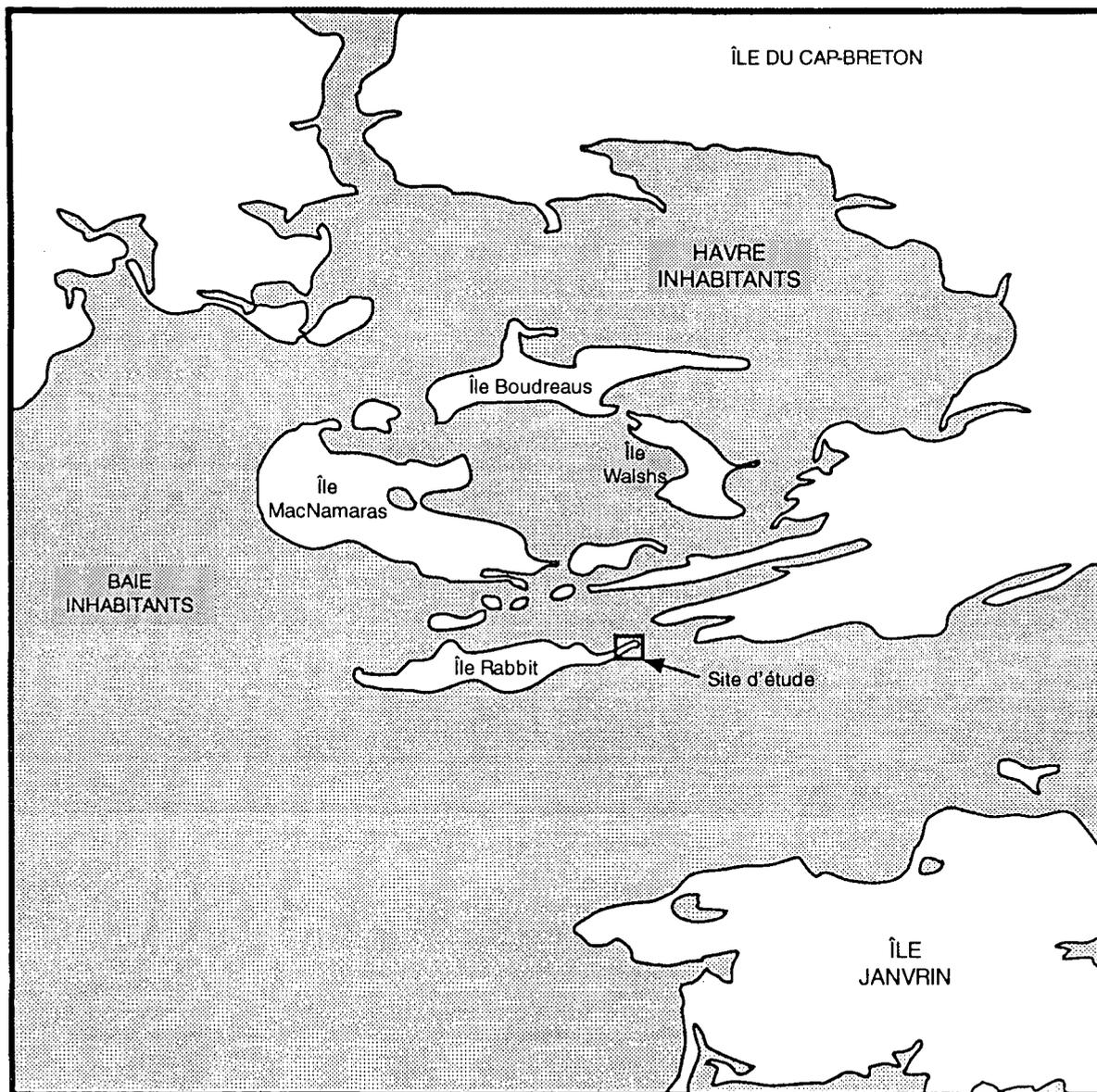
Les levés détaillés avaient pour but d'examiner le devenir à long terme et la persistance des hydrocarbures résiduaux dans la région à l'étude et de comparer les observations et les données recueillies avec celles provenant de milieux côtiers semblables contenant des résidus d'hydrocarbures. Il est établi que les segments de littoral décrits dans la présente section ont été mazoutés à la suite du déversement de l'*Arrow*, à l'exception d'une zone située à proximité de la pointe Michaud (PM-15), qui aurait pu être mazoutée à la suite du déversement du *Kurdistan*.

#### 4.1 *Partie est de l'île Rabbit (LN-12)*

Cette zone abritée du passage Lennox (*cf.* figure 5) a fait l'objet d'un levé détaillé le 11 septembre 1992. Les rives de l'île Rabbit ont été fortement mazoutées à la suite du déversement de l'*Arrow*, probablement à plusieurs occasions, mais ce site n'a pas été nettoyé dans le cadre du programme du ministère des Travaux publics. On ne sait pas si ce site avait déjà fait l'objet d'autres traitements, mais les observations de reconnaissance effectuées en mai 1970 ont révélé une bande presque continue de sédiments fortement mazoutés dans les zones intertidales inférieure, moyenne et supérieure (Owens, 1971a). Des quantités considérables

d'hydrocarbures de surface altérés ont été photographiées dans toute cette zone au cours d'une reconnaissance aérienne effectuée en 1973 (Owens et Rashid, 1976). En 1982, on a photographié des hydrocarbures ayant l'apparence d'un revêtement résiduaire altéré à plusieurs endroits de cette partie de l'île Rabbit, au cours d'un levé sommaire au sol qui faisait partie d'une reconnaissance vidéo-aérienne de la région (Woodward-Clyde Consultants, 1982). En septembre 1992, il restait un revêtement bitumineux relativement continu, de plusieurs mètres de largeur à certains endroits, dans la zone intertidale supérieure de la partie du littoral de l'île choisie pour une étude détaillée.

Le site à l'étude est caractérisé par des sédiments principalement grossiers, angulaires et subangulaires, avec des affleurements rocheux par endroits. La plage a une pente douce et est adossée à une bande étroite de végétation sans crête de tempête. Ces caractéristiques sont typiques d'une plage qui n'est soumise qu'à une action limitée des vagues sur une côte ouverte, mais dans un endroit de fetch abrité. Le fetch maximum est généralement inférieur à 5 km, et il y a une fenêtre du fetch très étroite d'environ 10 km vers le sud-ouest. Il est peu probable que ce site reçoive des ondes réfractées provenant de la baie ou de l'océan, étant donné qu'il est abrité par l'île Janvrin (*cf.* figures 1 et 5).



**Figure 5 Site d'étude de la partie est de l'île Rabbit**

Au total, on a examiné 50 transects tracés à travers la plage pour déterminer la distribution des hydrocarbures et les caractéristiques du substrat sur une longueur de 64,5 m de littoral (cf. figure 6 et tableau 2), et on a prélevé deux échantillons dans le revêtement bitumineux de la zone intertidale supérieure (cf. figure 6, emplacements des échantillons 8 et 9).

L'échantillon 9 a été prélevé à 3 m au-dessus de l'échantillon 8, dans la moitié supérieure du revêtement bitumineux. À cet endroit, la surface du revêtement est altérée et d'un brun pâle (cf. annexe C, photographie 1), en partie à cause de la couleur pâle des sédiments qui y sont emprisonnés. Le revêtement est continu et son épaisseur varie entre 3 et 5 cm. Les hydrocarbures de surface visibles couvrent



**Tableau 2 Sommaire de la distribution des hydrocarbures sur les sites des levés détaillés**

<b>Île Rabbit (LP-12)</b>	
Revêtement bitumineux continu	600 m <sup>2</sup>
Distribution discontinue (51 - 90 %)	580 m <sup>2</sup>
Distribution éparse (10 - 50 %)	152 m <sup>2</sup>
Distribution sporadique (<10 %)	460 m <sup>2</sup>
Total - Hydrocarbures de surface	1 792 m <sup>2</sup>
Hydrocarbures concentrés enfouis	380 m <sup>2</sup>
<b>Anse Black Duck (BD-1)</b>	
Revêtement bitumineux continu	228 m <sup>2</sup>
Hydrocarbures couverts de fucus	40 m <sup>2</sup>
Distribution éparse (40 - 50 %) + hydrocarbures concentrés	200 m <sup>2</sup>
Distribution éparse (10 - 20 %) + hydrocarbures concentrés	520 m <sup>2</sup>
Total - Hydrocarbures de surface	988 m <sup>2</sup>
Hydrocarbures concentrés enfouis	168 m <sup>2</sup>
<b>Anse Black Duck (BD-2)</b>	
Revêtement bitumineux continu	864 m <sup>2</sup>
Distribution discontinue (51 - 90 %)	64 m <sup>2</sup>
Distribution éparse (10 - 50 %)	164 m <sup>2</sup>
Total - Hydrocarbures de surface	1 092 m <sup>2</sup>
Hydrocarbures concentrés enfouis	72 m <sup>2</sup>

seulement 5 % de la plupart des sections; le reste est composé de sédiments propres exposés à la surface du revêtement.

L'échantillon 8 a été prélevé dans la moitié inférieure du revêtement. Cet emplacement se trouve également dans la zone intertidale supérieure; sa surface est altérée, mais, sous cette croûte, les hydrocarbures sont relativement frais en

apparence, de couleur noire (*cf.* annexe C, photographie 2), et ils s'écoulent quelques secondes après avoir été exposés et remués. Des hydrocarbures de couleur brune se sont accumulés à la surface de l'eau dans les puits creusés pour y prélever des échantillons. Ailleurs, un reflet irisé était visible dans les zones remuées ou aux endroits où de l'eau s'écoulait à partir de la zone couverte d'un revêtement

bitumineux. Le jour, les températures de l'air avaient été supérieures à 20 °C pendant plusieurs jours immédiatement avant ce levé.

Les sédiments de la plage à cet endroit sont manifestement mobiles. Au moment du levé, une petite crête migrait vers le haut de la plage dans la zone intertidale supérieure. On a trouvé des dépôts d'hydrocarbures résiduels enfouis dans cette crête de sédiments propres.

#### **4.2 Flèche Black Duck (rive sud de la lagune) (BD-1)**

Les plages de galets et de cailloux du rivage très abrité de la lagune à l'arrière de la flèche de l'anse Black Duck (cf. figure 7) ont été fortement mazoutées à la suite du déversement de l'*Arrow* (Owens, 1970, 1971a). Cet endroit a fait l'objet de mesures et d'observations détaillées sur le terrain en 1973 (Buckley *et al.*, 1974; Owens et Rashid, 1976; Owens, 1978). On y a fait un arrêt en juillet 1982 (Woodward-Clyde Consultants, 1982) pour photographier les littoraux mazoutés. On a également pris des photographies et enregistré un vidéo à partir des airs à ce moment-là.

En septembre 1992, de grandes parties de la zone intertidale supérieure demeuraient mazoutées le long d'une section de 100 m de ce segment, sous forme soit d'hydrocarbures altérés et concentrés remplissant les interstices entre les cailloux ou les galets bien triés, soit d'un revêtement bitumineux d'hydrocarbures altérés et de sédiments aux endroits où les matériaux de plage sont mixtes (sable, galets et cailloux) (cf. figure 8).

Le 12 septembre 1992, on a examiné 22 transects radiaux pour déterminer la distribution des hydrocarbures et les caractéristiques du substrat sur une longueur de 66,4 m du littoral de la flèche (arrière-plage de la lagune). Des repères ont été placés aux extrémités et aux points intermédiaires de la section reconnue pour faciliter la localisation future des transects. Cinq échantillons ont été prélevés (9 septembre 1992) sur une ligne allant du revêtement bitumineux de la zone intertidale supérieure à la zone intertidale inférieure composée de sédiments fins (cf. figure 7); un sixième échantillon a été prélevé dans un endroit de la zone intertidale supérieure adjacent à un des piquets d'origine du transect (cf. figures 7 et 8). L'analyse ci-après tient aussi compte d'observations faites à plusieurs endroits sur la flèche, à l'extérieur de la zone cartographiée.

La partie supérieure de la zone intertidale, sur la rive de la flèche qui borde l'océan, a une couche superficielle mobile faite de cailloux blancs et propres de 30 à 40 cm de diamètre, sous laquelle se trouve une couche de 20 à 30 cm d'épaisseur de galets relativement immobiles contenant aussi des cailloux et des granules, qui sont couverts ou tachés d'hydrocarbures altérés (cf. annexe C, photographie 3). Cette couche n'est pas cimentée par des hydrocarbures et semble être complètement balayée par l'eau au cours des marées et des tempêtes de printemps. L'échantillon 1 (cf. figure 7) a été prélevé dans un grand puits creusé à cet endroit. Sous la couche mazoutée se trouve du sable grossier propre mêlé de galets. Il n'y a pas d'hydrocarbures visibles sur le sable, mais la moitié supérieure de la couche de galets la plus proche de la surface est couverte

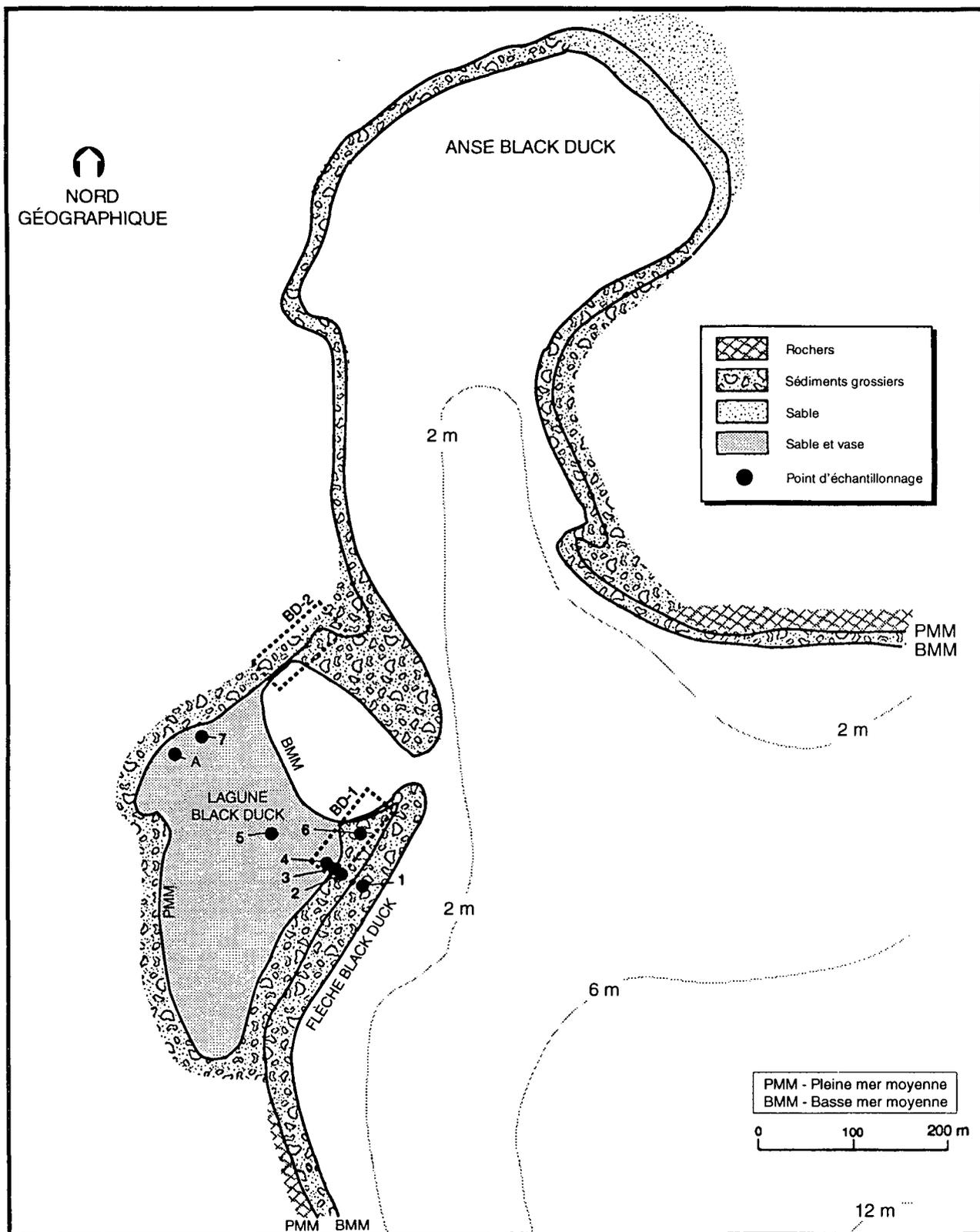
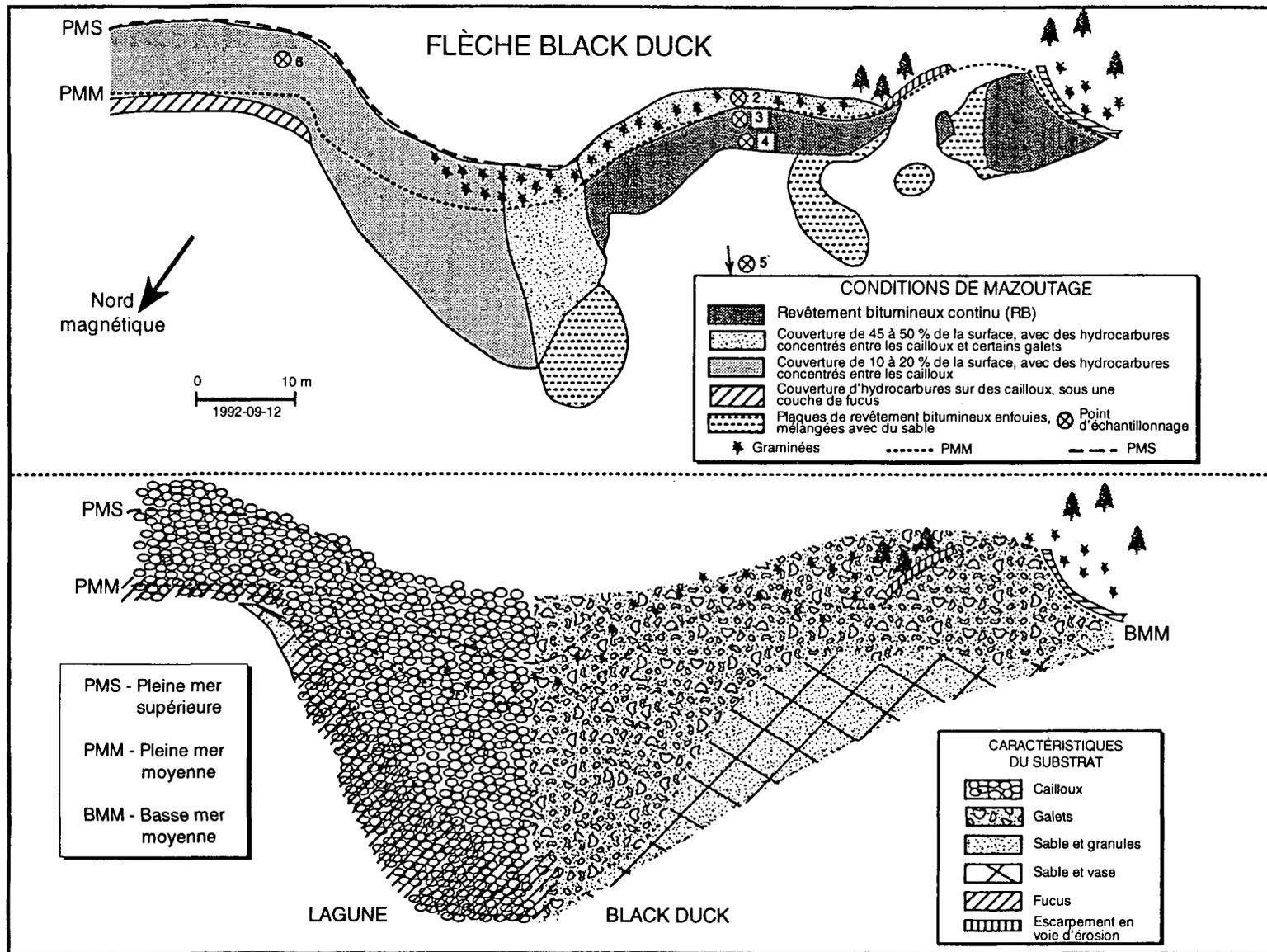


Figure 7 Sites d'étude de la lagune et de la flèche Black Duck



**Figure 8** Mazoutage et caractéristiques du substrat sur le site d'étude de la flèche Black Duck (12 septembre 1992)

d'une couche ou de taches d'hydrocarbures, alors que sa moitié inférieure est propre. Ces observations indiquent que le remaniement des matériaux est peu profond dans la section de la plage comprise entre le niveau normal de la pleine mer et la crête de la plage, et qu'il se limite probablement à seulement une ou deux couches de sédiments mobiles.

Des galets et des cailloux ont été rejetés au-dessus de la crête de la plage par l'action des vagues de tempête qui caractérise cette plage très exposée. Environ un fragment clastique sur 30 ou 40 dans cette zone est recouvert d'une couche ou d'une tache d'hydrocarbures, la couverture sur chaque fragment variant de 5 à 30 %. Les matériaux clastiques mazoutés se voient nettement étant donné que les sédiments sont de couleur blanche. Les observations du mazoutage en septembre 1992 ont révélé une réduction considérable de la quantité d'hydrocarbures de surface par rapport à ce qui avait été observé en 1973 au même endroit [pour des photos prises en mai 1973, cf. Buckley *et al.*, 1974 (figure 17); Owens, 1978 (figure 5)]. En 1973, la couverture d'hydrocarbures (de 0,1 à 1,0 cm d'épaisseur) avait une distribution variant d'éparse (11 - 50 %) à discontinue (51 - 90 %), et les hydrocarbures étaient en train d'être enfouis à la limite de la plage, du côté de la mer, par des sédiments propres poussés sur la plage par l'action des vagues. Le remaniement physique et l'abrasion par les vagues de tempête, peu fréquentes mais énergiques, a réussi à réduire la couverture des hydrocarbures sur les sédiments de la crête de la plage.

On a procédé à la cartographie détaillée d'une zone contenant beaucoup d'hydrocarbures résiduels qui couvre environ 100 m de la zone intertidale supérieure et de la zone supratidale, sur la rive intérieure de la flèche (bordant la lagune). Cet endroit est un milieu où l'énergie des vagues est très faible, entièrement à l'abri des vagues venant du large. Le seuil peu profond à l'entrée de la lagune (cf. figure 7) absorbe les ondes réfractées; l'énergie physique dans ce système se limite donc au mouvement ascendant et descendant de la marée et aux petites vagues générées dans la lagune (fetch maximal de moins de 250 m).

À cet endroit, les hydrocarbures sont associés à des sédiments constitués de galets et de cailloux. Il y a relativement peu d'hydrocarbures dans le sable et les sédiments fins adjacents qui marquent le passage de l'arrière-plage de la flèche littorale, faite de sédiments grossiers, au platin de la lagune (cf. figure 8). Il existe quatre conditions de mazoutage distinctes à cet endroit en raison de la granulométrie différente des sédiments :

- Une couche épaisse d'hydrocarbures dans les interstices entre les sédiments les plus grossiers (cailloux), dans la zone intertidale supérieure et la zone supratidale de la moitié nord-est de la zone à l'étude; ces hydrocarbures ont une croûte superficielle altérée mais semblent brillants et frais en dessous.
- Une couche épaisse d'hydrocarbures dans les interstices des galets, dans la zone intertidale supérieure et dans la zone supratidale de la moitié centrale/sud-ouest de l'arrière-plage de la zone à l'étude; ces hydrocarbures ont

une croûte superficielle altérée mais semblent brillants et frais en dessous.

- Des hydrocarbures plus altérés qui ont cimenté les sédiments dans la zone mixte de galets et de cailloux [zone de revêtement bitumineux (RB) à la figure 8] (*cf.* annexe C, photographie 4).
- Une couche superficielle de bitume dispersée sur des sédiments fins (sable et granules) et parfois partiellement enfouie, dans les sections moyenne et supérieure de la zone intertidale.

#### 4.2.1 Zone de cailloux

Dans la partie du site à l'étude qui se trouve le plus au nord-est, dans la zone intertidale supérieure, les cailloux blancs bien arrondis ont un diamètre moyen de 20 à 40 cm et il n'y a pas de fractions fines. Environ 80 à 90 % de la superficie de cette zone n'est pas mazoutée, ce qui lui donne l'apparence d'une plage propre lorsqu'on la regarde à distance ou sous un angle faible (*cf.* annexe C, photographie 5). Cependant, les interstices sont complètement remplis d'hydrocarbures mobiles brillants, noirs ou brun foncé, exempts de tout sédiment (sable ou granules) (*cf.* annexe C, photographie 6). Il a été impossible d'établir l'épaisseur de cette couche de cailloux mazoutés, mais, à deux endroits, on a trouvé qu'elle atteignait au moins 20 cm. L'échantillon 6 (*cf.* figure 7) a été prélevé dans cette zone. Cette partie du site à l'étude contient beaucoup d'hydrocarbures par rapport à sa superficie, en raison des larges interstices entre les sédiments constitués de cailloux bien arrondis et bien triés. Ces espaces interstitiels se sont remplis d'hydrocarbures

en 1970, jusqu'à une profondeur minimale de 20 cm, et les hydrocarbures et les sédiments n'ont pas été dérangés depuis ce temps. Les cailloux mazoutés étaient recouverts d'une couche (0,01 - 0,1 cm d'épaisseur) ou d'une couverture (0,1 - 1,0 cm d'épaisseur) d'hydrocarbures en 1970; leur dessus a été nettoyé de sorte que la surface blanche est exposée. Cependant, une croûte superficielle s'est formée par suite de l'altération aux endroits où les hydrocarbures étaient exposés dans les interstices, et cette croûte, semblable à du bitume, a protégé les hydrocarbures sous-jacents de la dégradation. Les sédiments de plage dans cette zone n'ont pas été déplacés depuis que les hydrocarbures s'y sont échoués en 1970. Des graminées ont poussé sur certaines sections supérieures de la zone mazoutée, près de la pleine mer supérieure (*cf.* figure 8).

En 1970 et en 1982, on a observé des hydrocarbures dans la section abrupte de l'arrière-plage se trouvant à l'extrémité est du site à l'étude (*cf.* «Couverture d'hydrocarbures sur des cailloux, sous une couche de fucus», à la figure 8). Cette section, près de la pleine mer moyenne, a une surface de 3 m de largeur sur 1 m de hauteur qui était fortement mazoutée en 1970 et 1973, sans aucune végétation. En 1992, cette surface était caractérisée par une couche épaisse et continue de fucus fixé, à l'intérieur de laquelle il était possible de trouver des hydrocarbures à la surface des sédiments. Cette zone de fucus s'étendait jusqu'au niveau de la basse mer au moment du levé de 1992, jusqu'à la jonction de la plage de cailloux et des sédiments à grain fin formant le platin découvert à marée basse. Ces observations appuient l'affirmation selon laquelle les

hydrocarbures ont servi d'assise pour la fixation et la croissance du fucus, sur ce qui aurait été autrement un substrat infertile.

#### 4.2.2 Zone de galets

Au sud et à l'ouest de la zone constituée principalement de cailloux, les sédiments sont plus fins, généralement d'un diamètre de 5 à 10 cm, mais là encore de couleur blanche et bien arrondis. La surface de cette portion du site à l'étude est couverte d'hydrocarbures dans une proportion de 50 à 60 %, le reste étant une surface propre de sédiments blancs. À cet endroit, les caractéristiques du mélange hydrocarbures-sédiments ne sont pas très différentes de celles observées dans la zone de cailloux, à l'exception de l'apparence de la surface. Celle-ci semble plus mazoutée dans la zone de galets que dans la zone de cailloux, et cela dépend simplement du rapport différent entre la superficie du dessus des sédiments propres et celle des interstices. Comme les cailloux mazoutés, les galets de cette zone n'ont pas été déplacés depuis que les hydrocarbures s'y sont échoués en 1970, et des graminées ont poussé sur les sections supérieures de la zone mazoutée, entre la pleine mer moyenne et la pleine mer supérieure (cf. figure 8).

#### 4.2.3 Zone de revêtement

La partie sud-ouest de la zone du site à l'étude qui est composée de sédiments grossiers a un revêtement bitumineux fait principalement de galets mélangés à des granules et à quelques cailloux (cf. annexe C, photographie 4). Le revêtement a une épaisseur maximale de 15 cm; sa surface est propre dans des

proportions de 50 à 90 % dans la moitié supérieure de la bande et de 10 à 50 % dans la moitié inférieure. La limite inférieure du revêtement est abrupte, se présentant quelquefois sous forme d'escarpement, à la jonction des sédiments grossiers de l'arrière-plage et des sables de la partie supérieure du platin. D'après les photographies prises en 1973, 1982 et 1993, cette zone de revêtement est très stable et n'est abrasée que très lentement par l'action de l'eau, à sa limite inférieure.

Il y a une distinction très nette entre la zone de revêtement et les zones de cailloux et de galets. Là où il y a des sédiments grossiers immobiles et bien triés, sans fractions fines (sable et granules), les hydrocarbures demeurent sous forme de résidus à l'intérieur des espaces interstitiels entre les matériaux clastiques. Là où les sédiments sont formés d'un mélange de fractions grossières (galets et cailloux) et fines (sable et granules), il s'est formé un genre de revêtement (décrit comme étant un «conglomérat goudronneux» dans Buckley *et al.*, 1974). Ce revêtement pourrait s'être formé simplement à la suite de la pénétration et de l'altération *in situ* des hydrocarbures, ou encore résulter du mélange physique des hydrocarbures et des sédiments, comme ce fut le cas à Arichat Harbour.

#### 4.2.4 Zones de bitume

Une couche de bitume dispersée, et quelquefois partiellement enfouie, s'est formée à la surface des sédiments fins (sable et granules) au milieu de la zone intertidale supérieure, sous le niveau de la pleine mer moyenne (cf. figure 8). On voit ces hydrocarbures résiduels sur des photos prises en mai 1970, en mai 1973

[Owens et Rashid, 1976 (figure 13)] et en juillet 1982 (Woodward-Clyde Consultants, 1982). Dans les zones adjacentes au canal ennoyé qui constitue la caractéristique géomorphologique dominante de l'extrémité ouest du site à l'étude, le revêtement se trouve à la surface du sable dans la partie supérieure du platin. À ces endroits, le revêtement n'est pas continu, la couverture variant de 60 à 80 % à certains endroits. Les hydrocarbures forment une couche distincte d'une épaisseur maximale de 5 cm à la surface, mais, à certains endroits, ils ont été recouverts par le sable; là où le revêtement est brisé, les hydrocarbures qui se trouvent au milieu dégagent une odeur, et ils sont brillants et collants. Les échantillons 2, 3 et 4 (cf. figures 7 et 8) ont été prélevés dans ce secteur.

En bas du revêtement bitumineux, sur le platin découvert à marée basse, on a observé de petites plaques isolées de bitume ainsi que des reflets dans les zones perturbées. L'échantillon 5 (cf. figures 7 et 8) a été prélevé sur une élévation dans cette partie de la lagune. On a observé des traces récentes de pêche aux moules dans de nombreuses parties du platin de la lagune.

### **4.3 Lagune Black Duck (rive nord, bordant le continent) (BD-2)**

Ce site, qui se trouve du côté nord de la lagune (cf. figure 7), a été fortement mazouté à la suite du déversement de l'*Arrow* (Owens, 1970, 1971a). Il s'agit d'une plage constituée de sédiments grossiers auxquels succèdent, vers le bas, les sédiments fins du platin de la lagune. Ce site a été visité à plusieurs occasions en

1970 et en mai 1973 (Owens et Rashid, 1976). Des photographies ont également été prises à basse altitude en juillet 1982 (Woodward-Clyde Consultants, 1982). À l'origine, cette zone a été fortement mazoutée, avec des dépôts superficiels d'hydrocarbures altérés concentrés de plus de 20 cm d'épaisseur à certains endroits sur les pentes douces. Ces dépôts épais étaient encore évidents lors de la visite de mai 1973 [Buckley *et al.*, 1974 (figure 18); Owens, 1978 (figure 6a)].

Le 12 septembre 1992, on a examiné des transects tracés à travers la plage pour déterminer la distribution des hydrocarbures et les caractéristiques du substrat sur une longueur de 113 m du littoral. Des repères ont été placés aux extrémités du secteur reconnu afin de faciliter la localisation future des transects.

D'importantes superficies de la zone intertidale supérieure demeurent mazoutées sur la plus grande partie de ce segment sous forme soit d'hydrocarbures altérés et concentrés remplissant les interstices entre les cailloux ou les galets bien triés (environ 55 m<sup>2</sup>), soit d'un revêtement bitumineux d'hydrocarbures altérés et de sédiments aux endroits où les matériaux de plage sont mixtes (sable, galets et cailloux) (environ 215 m<sup>2</sup>) (cf. figure 9).

Dans la partie ouest du segment, les zones mazoutées sont recouvertes d'une épaisse couche de végétation qui a rendu difficiles la localisation et la description des hydrocarbures. À cet endroit, il a été impossible d'établir de façon précise toute l'importance des hydrocarbures résiduels. La couverture végétale devient plus dense à l'ouest de la limite du site à l'étude (profil 1), et l'on a retrouvé des

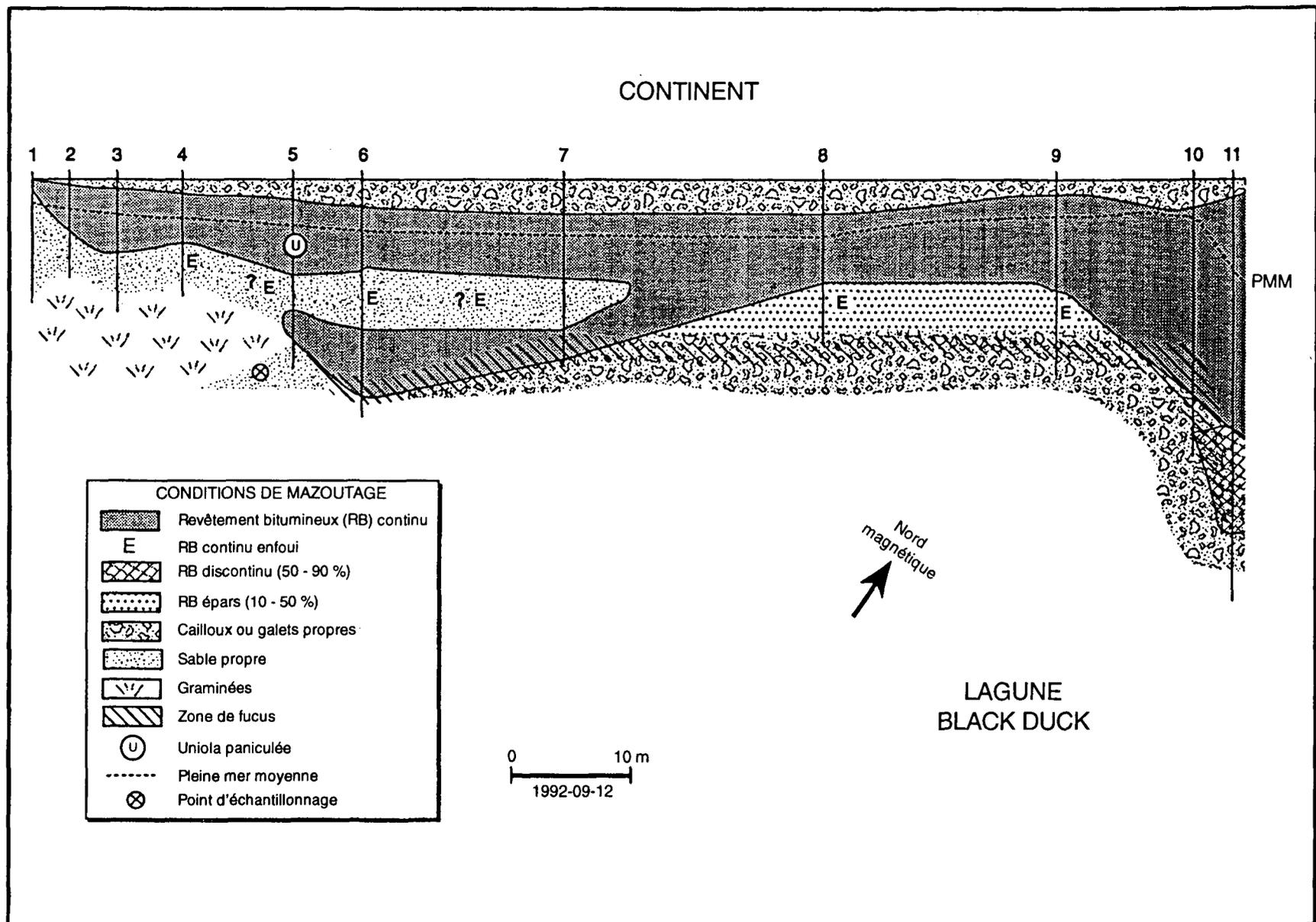


Figure 9 Mazoutage et caractéristiques du substrat sur le site d'étude de la lagune Black Duck (12 septembre 1992)

hydrocarbures presque partout où l'on a fait des observations le long de ce rivage. Lors de la visite de septembre, les graminées mesuraient plus de 1 m de hauteur à certains endroits et couvraient presque entièrement la plupart des zones; à quelques endroits isolés seulement, on a observé des parcelles de sédiments ou de sédiments et d'hydrocarbures non couvertes de végétation. En raison de l'épaisse couverture végétale presque continue à cet endroit, à l'ouest et au sud de la section cartographiée, il a été impossible de réaliser un programme de cartographie systématique dans le temps prévu. Dans les endroits plus dégagés, on pouvait voir des hydrocarbures sous forme de revêtement ou de couche de bitume sur le sable. À un endroit, on a observé des fucus fixés à des galets et des cailloux enchâssés dans la surface d'une zone de revêtement ainsi que directement sur le bitume. Quatre échantillons ont été prélevés dans la zone intertidale supérieure à cet endroit, jusqu'au sud du site à l'étude (9 et 12 septembre 1992).

Cette section de littoral avait en 1992 un aspect tout à fait différent de celui consigné à l'été de 1970, lorsqu'on avait observé très peu de végétation, sinon aucune, sur les sédiments grossiers fortement mazoutés de cette plage. À l'été de 1973, on avait observé des fleurs qui poussaient à travers la couche d'hydrocarbures [Owens, 1977 (photographie 94)]. On suppose que les hydrocarbures ont servi d'assise pour la croissance des plantes sur une section de littoral qui, autrement, aurait été un substrat relativement infertile.

Le site à l'étude se trouve entre l'extrémité d'une zone à végétation très épaisse

(cf. annexe C, photographie 7) et un seuil bas qui ferme presque entièrement l'entrée de la lagune à marée basse (cf. figure 7). Il se caractérise par un secteur de la zone intertidale supérieure qui est couvert d'hydrocarbures et qui s'étend le long de la rive vers le nord-est jusqu'à la crête du seuil. Ce secteur se compose d'un estran de sédiments grossiers (cailloux et galets), suivi d'un platin découvert à marée moyenne et basse, constitué de sédiments mixtes (sable, galets et cailloux) couverts de fucus (cf. annexe C, photographie 8). À la jonction de la plage et du platin, on trouve une lentille sableuse qui a recouvert les hydrocarbures de surface sur une partie du secteur. On a observé des hydrocarbures sur certains secteurs supérieurs du platin, mais ces hydrocarbures étaient aussi partiellement recouverts de sable et d'une couche de fucus.

Sur la moitié supérieure de l'estran, les sédiments de surface sont constitués principalement de cailloux, avec quelques blocs éparpillés çà et là et des éléments secondaires de galets et de granules ou de sable (cf. annexe C, photographie 8). À distance, la surface semble relativement propre. Les sédiments sont blancs et les hydrocarbures se retrouvent principalement dans les interstices entre les matériaux clastiques de grande taille. Le niveau de la surface des hydrocarbures entre les matériaux clastiques est inférieur à celui de la surface de la plage, de sorte que la plage paraît en grande partie blanche vue de loin. Cependant, partout sur l'estran, une vue verticale indique qu'entre 30 et 50 % de la surface est couverte d'hydrocarbures. Les sédiments étaient cimentés en place et les hydrocarbures contenus dans les interstices étaient noirs ou brun foncé et devenaient

relativement mobiles lorsqu'ils étaient exposés et remués. La moitié inférieure de l'estran, au-dessous de la pleine mer moyenne, contenait plus de sable et, dans certains secteurs, on a observé que cette lentille sableuse avait recouvert les sections inférieures du revêtement.

#### **4.4 Autres visites de sites**

##### **4.4.1 Milieux abrités et à faible énergie de la baie Inhabitants et de la partie ouest du passage Lennox**

1992-09-11 Île Rabbit (LN-6 et LN-12), île MacNamaras (IN-69), pointe Tongue (LN-13) et baie Inhabitants (IN-31, IN-33 et IN-34)

1992-09-13 Île Janvrin - Deep Cove (JN-22, JN-23, HH-32, HH-33)

Cette région de la baie Chedabucto a été l'une des plus mazoutées à la suite du déversement de l'*Arrow* en 1970, mais il y a eu très peu de nettoyage dans la baie Inhabitants et le passage Lennox. L'énergie des vagues est faible à cet endroit abrité dans le secteur nord du fond de la baie Chedabucto, où le fetch est généralement inférieur à 5 km; on ne doit donc pas s'attendre à ce que l'action des vagues contribue à l'abrasion physique des sédiments mazoutés. Faute d'énergie des vagues, l'élimination naturelle des hydrocarbures échoués est attribuée à une combinaison d'affouillement et d'abrasion par les glaces, de floculation par les sédiments en suspension et de biodégradation.

L'action des glaces est un mécanisme potentiel d'altération des hydrocarbures, étant donné que cette région est sujette à la formation d'un pied de glace et d'une banquise pendant des périodes atteignant plusieurs mois presque tous les hivers. Les processus associés à la floculation (Jahns *et al.*, 1991) constituent également un mécanisme potentiel d'altération des hydrocarbures, car il y a de grandes quantités de matériaux argileux en suspension, en raison de l'érosion naturelle continue du till glaciaire sur le littoral. Ces sédiments en suspension donnent souvent une teinte rouge aux eaux côtières. Bien qu'elle se soit avérée efficace dans certains cas (Hoff, 1992), on ne croit pas que la biodégradation, à elle seule, constitue un des principaux mécanismes d'élimination de grandes quantités de mazout lourd échoué. Cependant, en présence du processus de floculation argile-hydrocarbures, il peut y avoir biodégradation lorsque les bactéries mangeuses d'hydrocarbures oxydent la surface inaltérée exposée des hydrocarbures résiduels.

##### **4.4.2 Plages et caps exposés du nord et de l'ouest de la baie Chedabucto**

1992-09-10 Ouest de la pointe Michaud (PM-15), pointe Oyster (DC-2, DC-3 et DC-4), Ragged Head (GY-21A) et Queensport (CA-28)

On a trouvé ça et là de petites plaques d'hydrocarbures sur les littoraux exposés lors du levé systématique au sol. Ces résidus dispersés étaient généralement très altérés, souvent mélangés aux sédiments, et presque toujours associés à des affleurements rocheux. Là où ils étaient

présents, ces résidus représentaient probablement moins de 1 L par segment.

#### **4.4.3 Arichat Harbour (AR-13)**

Ce segment de plage est un milieu abrité à faible énergie qui a été fortement mazouté à la suite du déversement de l'*Arrow*, probablement à plusieurs reprises. La plage est constituée d'une mince couche (épaisse de un ou deux fragments clastiques) de sédiments angulaires à subsphériques (galets et cailloux), mélangés à des granules et à un peu de sable. Cette couche de sédiments recouvre une plate-forme d'argile cohésive (till) qui constitue les restes érodés d'une falaise d'arrière-plage non consolidée et couverte de végétation, d'une hauteur de 2 à 10 m.

L'historique des opérations de nettoyage de ce segment, entre Lenoir Forge et la jetée de l'État, est important pour comprendre la distribution et l'aspect des hydrocarbures résiduels en 1992. Cette plage se trouve très près du lieu du déversement et a été fortement mazoutée à plusieurs occasions. Le 30 avril 1970, un bulldozer a circulé le long de la zone intertidale supérieure, à la base de la falaise de till. Il a poussé les sédiments mazoutés le long de la plage et a du même coup entaillé la base de la falaise, laissant un petit escarpement (de 0,5 à 1 m de hauteur). Il a terminé son travail en poussant les sédiments vers l'extrémité ouest du segment le 2 mai. Afin d'éviter de créer des conditions instables à cause de l'entaille pratiquée dans la falaise de till non consolidée, on a poussé les sédiments intertidaux de la zone intertidale vers la base de la falaise, sur toute la longueur du segment, les 2 et 3 mai (Owens, 1970). Il n'y a pas eu d'autre déplacement mécanique des sédiments.

La plage a été visitée le 13 septembre 1992 et les hydrocarbures résiduels qui ont été observés partout sur ce segment avaient l'aspect d'une bande continue de 2 m de largeur de «boulettes de bitume» dures dans la moitié supérieure de la zone intertidale (cf. annexe C, photographies 9 et 10). Les boulettes avaient un diamètre de 3 à 10 cm et leur fréquence était de quatre ou cinq au mètre carré.

Les hydrocarbures qui sont demeurés sur les sédiments intertidaux après les activités des 2 et 3 mai 1970 ont dû adhérer aux galets, aux granules et au sable et s'y mélanger pour former des agrégats, façonnés en «boulettes de bitume» par de petites vagues dont la hauteur de déferlement était probablement inférieure à 10 cm. Ces boulettes ont été altérées et se sont durcies pour devenir résistantes à l'abrasion physique et à l'érosion biochimique. À cet endroit, l'énergie des vagues est si faible qu'elle ne peut abraser ces boulettes que très lentement.

#### **4.5 Résultats des analyses des échantillons**

Les concentrations des hydrocarbures totaux dans chaque échantillon, calculées à l'aide de l'analyse par CG/DIF, figurent au tableau 3, qui donne à la fois la quantité de matières extractibles et la teneur en hydrocarbures pétroliers (HP) de l'échantillon. La teneur en matières extractibles donne une indication de la quantité totale de matières semblables à des hydrocarbures dans l'échantillon, alors que la teneur en hydrocarbures pétroliers permet de déterminer si les matières extraites de l'échantillon sont d'origine pétrolière ou naturelle. De plus, ce tableau donne les teneurs des échantillons en

**Tableau 3 Résultats de l'analyse quantitative**

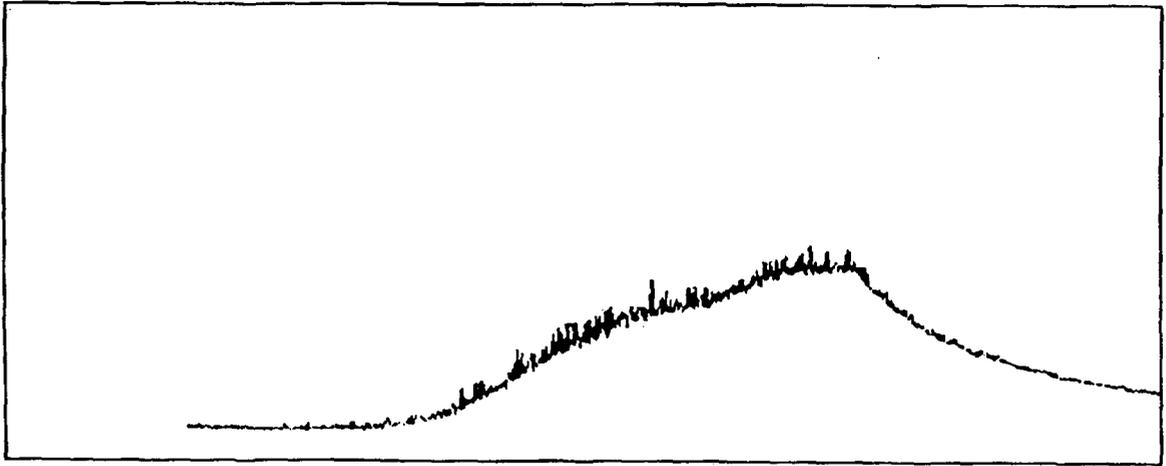
	<i>Arrow</i>	A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>MET</b> (mg/g)	830	100	3,0	190	120	73	5,2	500	76	300	35	1,0
<b>HP</b> (mg/g)	420	33	0,45	51	51	33	2,2	230	32	13	9,0	0,18
<b>Aliphatiques</b> (% des HP)	56	72	73	74	72	60	51	64	62	64	42	50
<b>Aromatiques</b> (% des HP)	44	28	27	26	28	40	49	36	38	36	38	50
<b>HP/MET</b>	0,51	0,33	0,15	0,27	0,43	0,45	0,42	0,46	0,42	0,04	0,26	0,18
<b>HAP</b> (µg/g MET)	810	140	55	40	200	190	86	560	79	8,9	70	130
<b>Ts/Tm</b>	0,42	0,40	0,45	0,40	0,41	0,45	0,39	0,39	0,42	0,41	0,44	ND
<b>C<sub>29</sub>-Hopane</b>	100	170	19	120	150	150	130	150	170	170	100	25
<b>C<sub>30</sub>-Hopane</b>	110	210	23	140	170	160	140	160	200	190	120	35
<b>C<sub>29</sub>/C<sub>30</sub></b>	0,91	0,81	0,83	0,86	0,88	0,94	0,93	0,94	0,85	0,89	0,83	0,71
<b>C<sub>23</sub>-Tri- terpane</b>	270	270	5	300	310	340	340	390	490	440	390	51
<b>C<sub>24</sub>-Tri- terpane</b>	130	130	8,1	150	140	170	170	190	240	210	190	46
<b>C<sub>23</sub>/C<sub>24</sub></b>	2,08	2,08	0,62	2,00	2,21	2,00	2,00	2,05	2,04	2,10	2,05	1,11

Note : MET, matières extractibles totales; HP, hydrocarbures pétroliers; HAP, hydrocarbures aromatiques polycycliques; Ts, 18*a*(H),21*b*(H)-22,29,30-trisnorhópiane; Tm, 17*a*(H),21*b*(H)-22,29,30-trisnorhópiane). Voir l'annexe B pour une meilleure explication de ces termes.

Source : Wang (1993).

stéranes et triterpanes et leur rapport. Ces composés sont relativement insensibles à la dégradation et peuvent être utilisés comme marqueurs pour des hydrocarbures particuliers.

Seul le mazout original de l'*Arrow* et l'échantillon 6 contenaient des alcanes identifiables par l'analyse CG/DIF. Tous les autres échantillons avaient des tracés semblables à celui de la figure 10.



**Figure 10** Tracé d'hydrocarbures dégradés (échantillon A, figure 7)

Comme ces tracés contiennent très peu d'information, il est difficile de déterminer la source des échantillons. Par contre, les analyses du mazout original et de l'échantillon 6 fournissent beaucoup plus d'information. La figure 11 est le tracé du mazout original analysé au cours de la présente étude et, à des fins de comparaison, les figures 12 et 13 sont des tracés numérisés d'analyses antérieures d'échantillons de mazout de l'Arrow.

Une comparaison attentive de ces trois tracés du mazout de l'Arrow indique que les tracés de 1993 et 1978 se ressemblent beaucoup, l'échantillon de 1993 apparaissant légèrement plus altéré (on y retrouve des quantités moindres d'alcane à faible point d'ébullition et un mélange complexe impossible à séparer dans les éléments plus lourds). L'échantillon de 1985, qui provenait d'une source différente, semble moins altéré que les échantillons de 1993 et 1978. Dans tous les cas, la réaction des instruments pourrait avoir été différente, de sorte qu'on ne peut établir qu'un modèle très général.

La figure 14 reproduit le tracé de l'échantillon 6, qui ressemble beaucoup à

celui de l'échantillon de mazout original de l'Arrow analysé au même moment à l'aide de la même technique.

On peut faire une meilleure comparaison de l'échantillon de mazout original de l'Arrow et de l'échantillon 6 en examinant chacun des alcanes de ces échantillons. Chaque élément identifiable est analysé séparément, ce qui permet d'effectuer la séparation du mélange complexe. La figure 15 compare les modèles de l'échantillon de mazout original de l'Arrow («Étalon 1993») et de l'échantillon 6 en fonction de la quantité d'alcane en  $C_{30}$  (hydrocarbures à chaîne droite contenant 30 atomes de carbone). On a choisi les alcanes en  $C_{30}$  parce que c'est à ce point de la série que les changements relatifs passent de la perte au gain.

On peut voir que, par rapport à l'échantillon de mazout original, l'échantillon 6 a des concentrations moindres d'éléments à faible point d'ébullition et des concentrations plus considérables d'éléments à point d'ébullition élevé. Cet échantillon ressemble beaucoup au mazout original, qui a été altéré davantage.

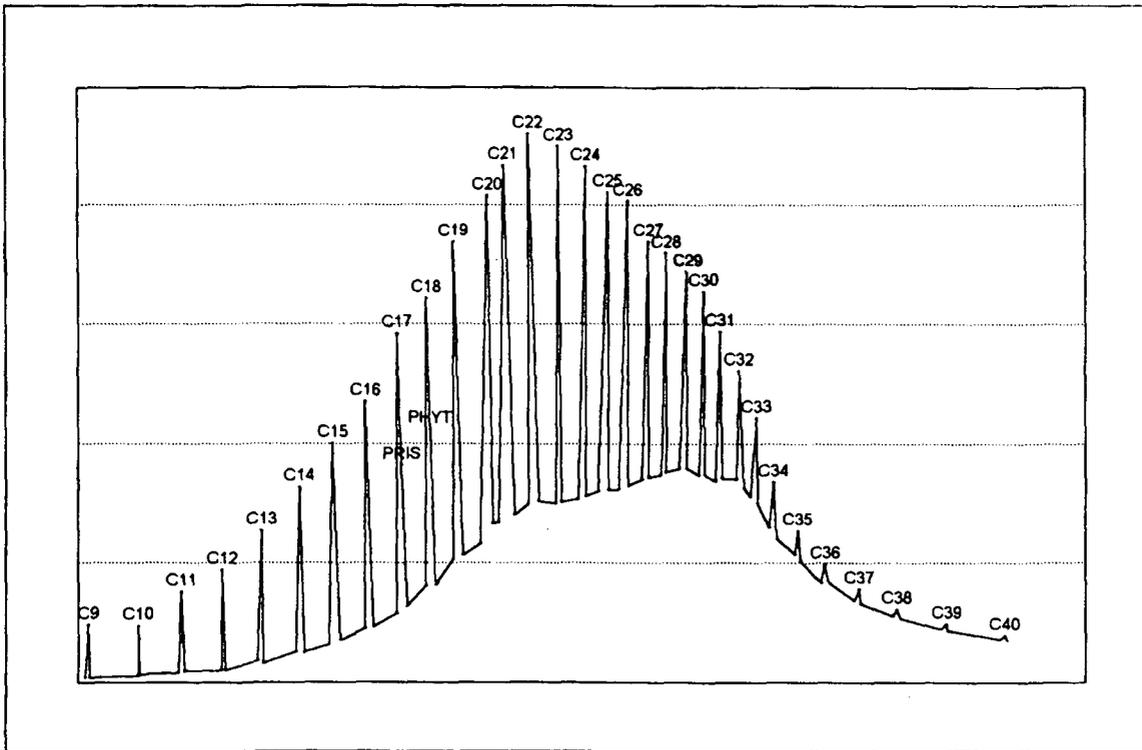


Figure 11 Tracé du mazout original de l'Arrow - Analyse de 1993

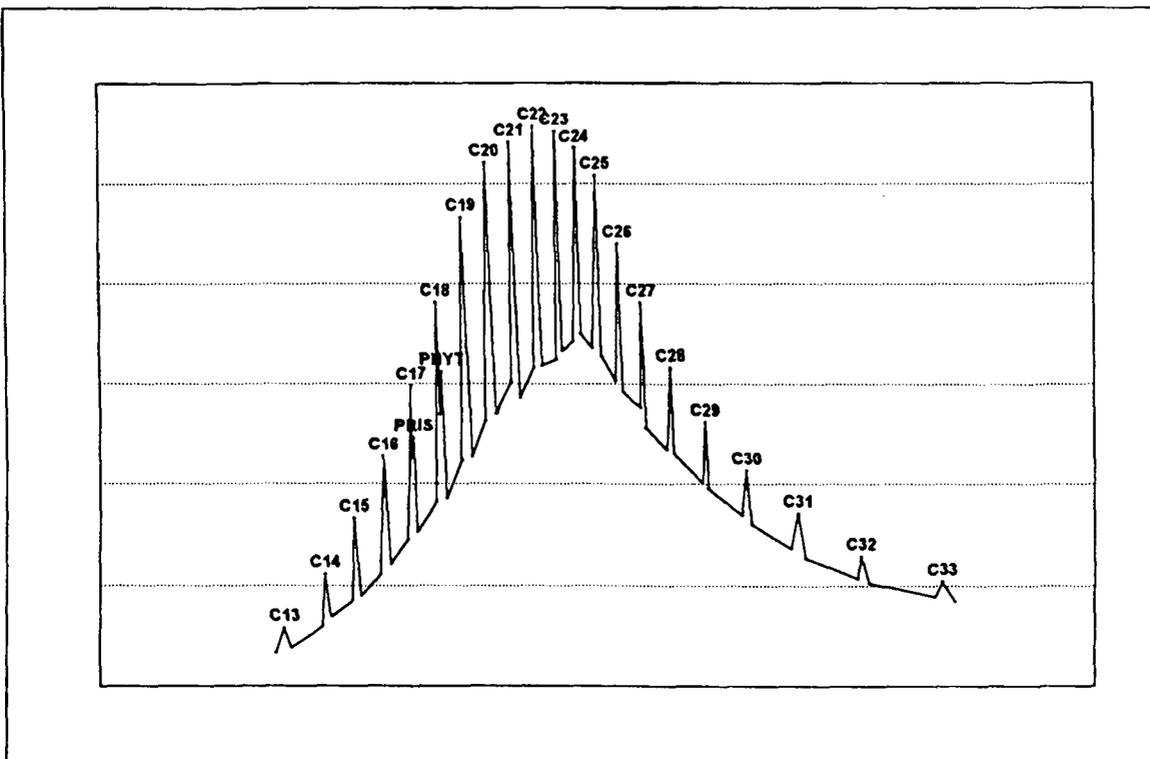


Figure 12 Tracé du mazout de l'Arrow - Analyse de 1978

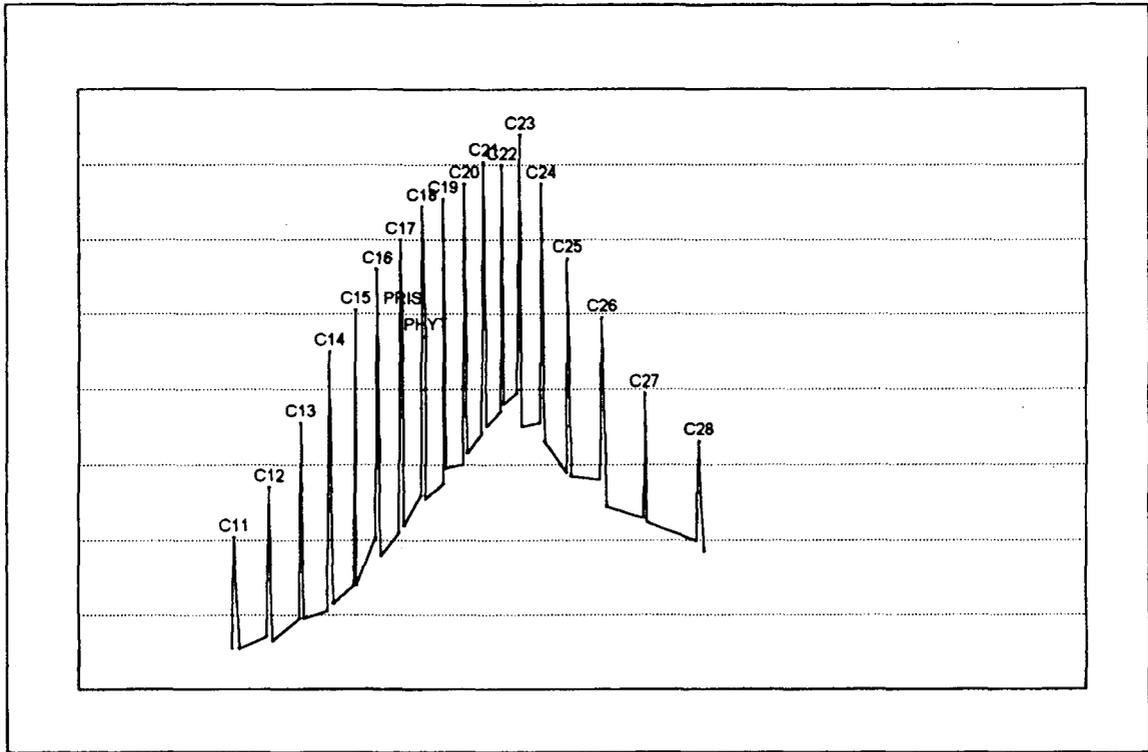


Figure 13 Tracé du mazout de l'Arrow - Analyse de 1985

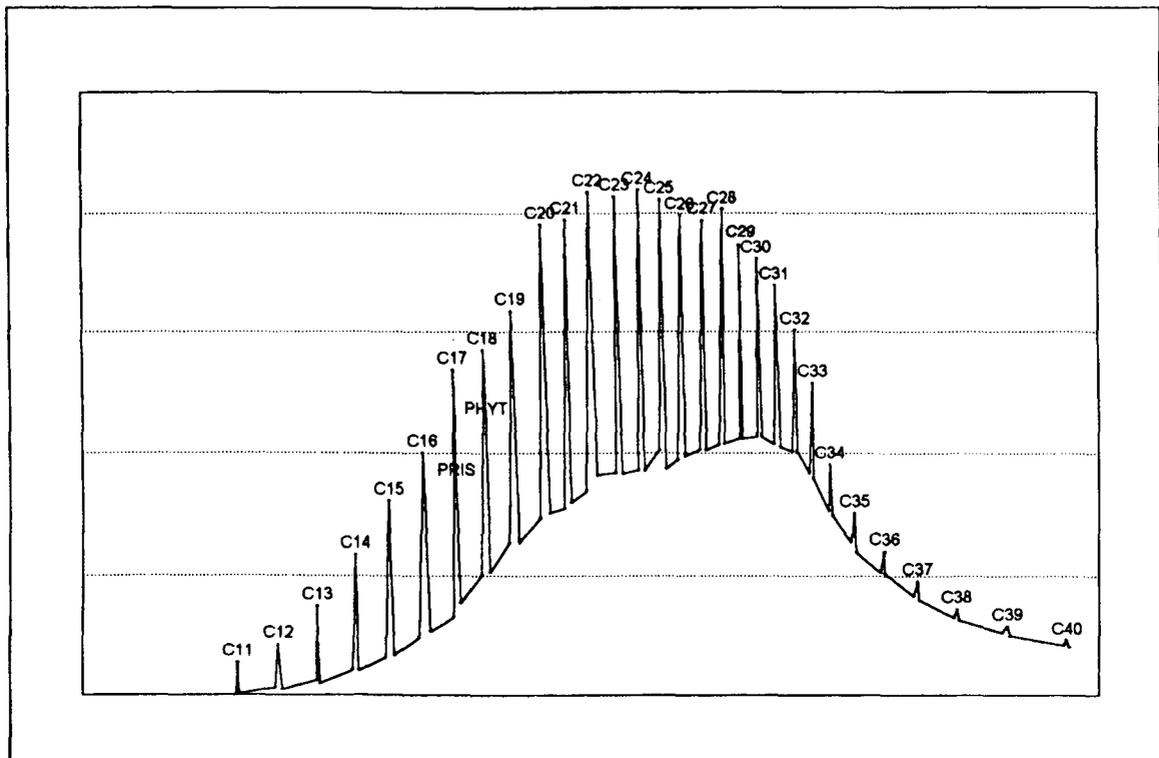
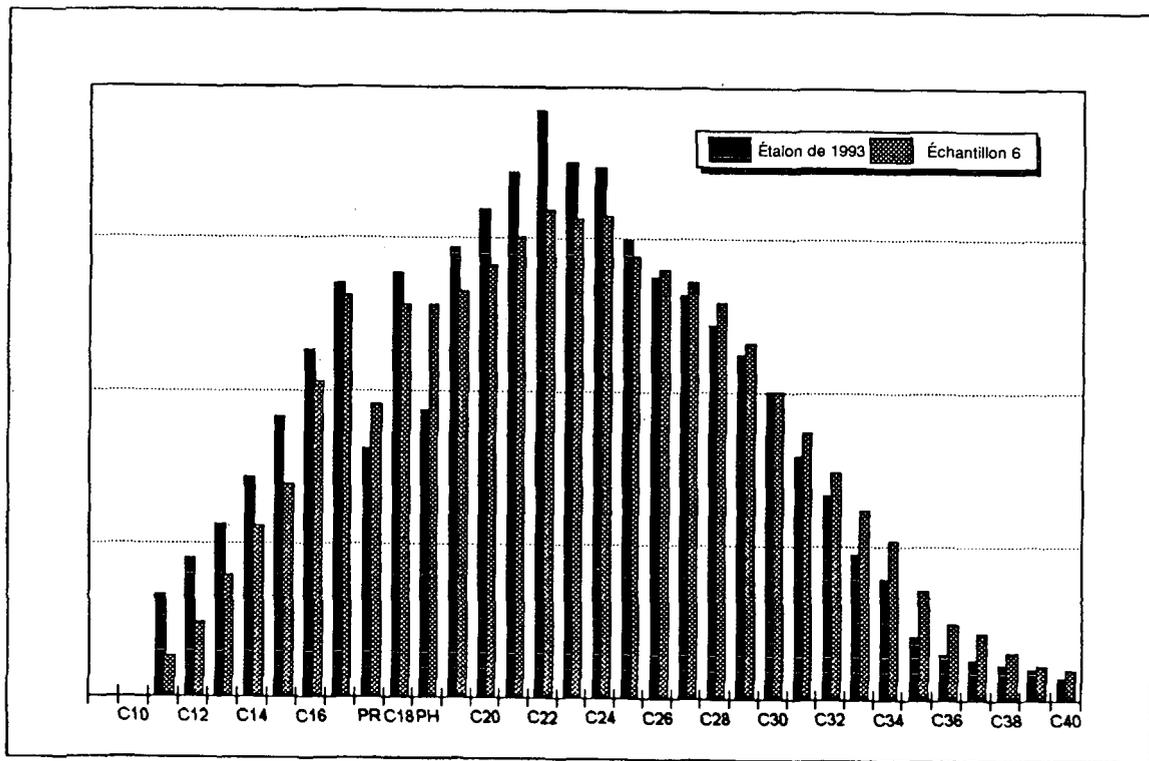


Figure 14 Tracé de l'échantillon 6 - 1992



**Figure 15** Concentrations relatives des alcanes

L'autre fraction provenant de l'extraction et de l'épuration est la fraction aromatique (F2). On peut l'analyser par CG/SM afin de doser des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) particuliers dans le mélange. Le tableau 4 présente la liste des

composés choisis pour cette analyse, et les concentrations relatives de chaque composé dans les échantillons sont présentées à la figure 16. Pour cette analyse, les concentrations individuelles sont comparées à celle du benzo[*b* ou *k*]fluoranthène (O), qu'on postule égale à 1.

**Tableau 4** Hydrocarbures aromatiques polycycliques

COMPOSÉ	COMPOSÉ
A Naphtalène	L 1-Méthylphénanthrène
B 2-Méthylnaphtalène	M Fluoranthène
C 1-Méthylnaphtalène	N Pyrène
D Biphényle	O Benzo[ <i>b</i> ]fluoranthène ou benzo[ <i>k</i> ]fluoranthène
E 2,6-Diméthylnaphtalène	P Benzo[ <i>e</i> ]pyrène
F Acénaphthalène	Q Benzo[ <i>a</i> ]pyrène
G Acénaphène	R Pérylène
H 2,3,5-Triméthylnaphtalène	S Indéno[1,2,3- <i>cd</i> ]pyrène
I Fluorène	T Dibenz[ <i>a,h</i> ]anthracène
J Phénanthrène	U Benzo[ <i>g,h,i</i> ]pérylène
K Anthracène	

La figure 17 présente une comparaison plus précise de la distribution des HAP entre l'échantillon de mazout original de l'Arrow et l'échantillon 6. La réduction relative des composés à faible point d'ébullition (A-D) et l'augmentation

relative des composés à point d'ébullition élevé correspond à l'altération des différents HAP.

L'annexe B présente les données détaillées de l'analyse des échantillons de sédiments.

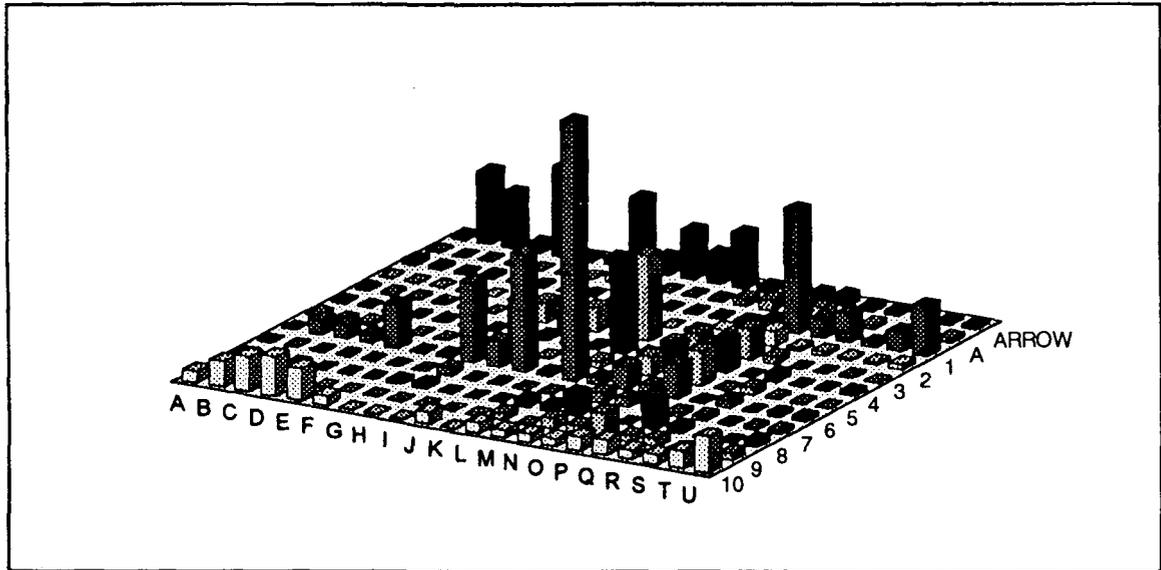


Figure 16 Distribution des HAP

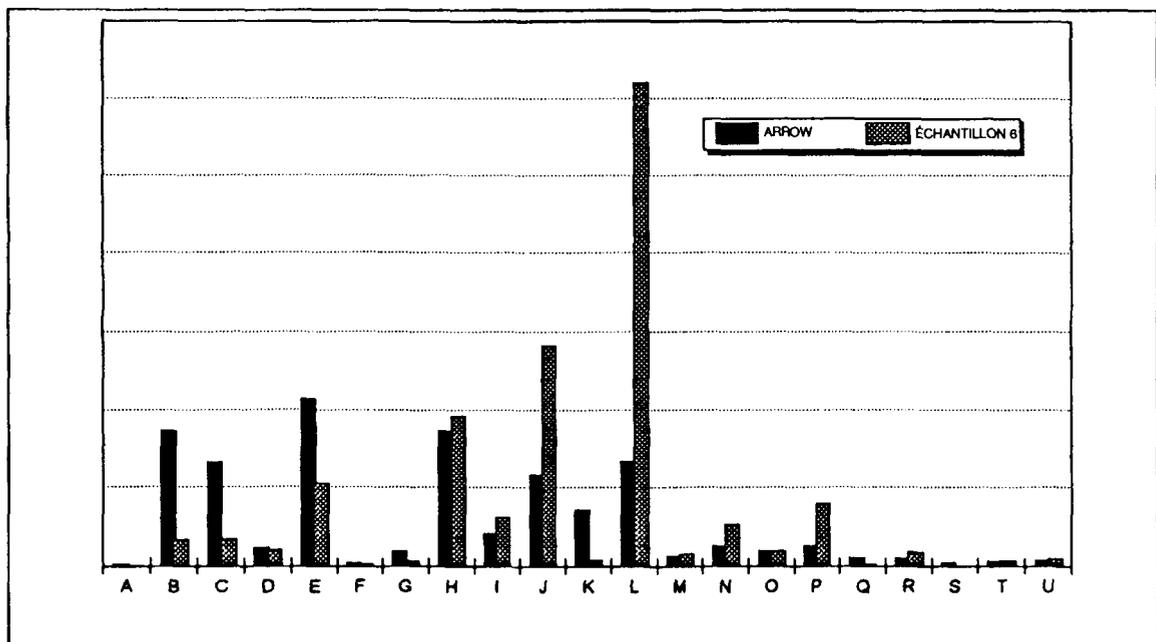


Figure 17 Distribution des HAP - Mazout original de l'Arrow et échantillon 6 (1992)

## Analyse

### 5.1 *Distribution des hydrocarbures résiduels sur le littoral*

#### 5.1.1 *Longueurs du littoral mazoutées*

La longueur de la côte de la région à l'étude est d'environ 305 km, dont 249 ont fait l'objet d'un levé dans le cadre de ce projet. La longueur totale du littoral sur lequel on a observé des résidus d'hydrocarbures, de quelque forme que ce soit, était de 13,3 km. Ces résidus étaient distribués sur 129 des 419 segments reconnus (*cf.* tableau 1), ce qui représente une distribution très éparpillée dans toute la baie Chedabucto. Bien que le pourcentage du littoral mazouté soit relativement élevé (5,37 % du littoral reconnu), le degré de mazoutage était «faible» ou «très faible» pour plus de 80 % des endroits où l'on a observé des hydrocarbures. Seulement 235 m de littoral avaient des zones mazoutées «larges» (de plus de 6 m de largeur), et celles-ci étaient concentrées dans quatre segments. Cette distinction entre les 13,3 km de littoral mazouté et la longueur du littoral fortement mazouté, basée soit sur la largeur et la couverture de la bande mazoutée (0,87 km), soit sur la largeur, la couverture et l'épaisseur des hydrocarbures (1,3 km), illustre la conclusion de Sergy *et al.* (1991) selon laquelle, à elle seule, la longueur totale du littoral mazouté donne une piètre indication du mazoutage réel.

Les segments reconnus en 1992 dont le degré de mazoutage était «élevé» ou «modéré» étaient concentrés dans les régions de l'anse Black Duck (BD) et du passage Lennox (LN) : 10 des 24 segments à degré de mazoutage «élevé» se trouvaient dans ces deux secteurs (*cf.* tableau 5). Dans l'anse Black Duck, quatre des six segments avaient un degré de mazoutage «élevé». Aucune zone à degré de mazoutage «élevé» n'a été observée dans le secteur de Guysborough (GY), et aucune zone à degré de mazoutage «élevé» ou «modéré» n'a été observée dans les secteurs de Petit-de-Grat Harbour (PT) ou de l'île St. Peters (SP).

Les secteurs de Haddock Harbour (HH) et de la baie Inhabitants (IN), qui sont adjacents au site du déversement de l'*Arrow*, sont tous deux des milieux abrités et à faible énergie qui ont été fortement mazoutés, probablement plusieurs fois, en 1970 (Owens, 1970, 1971a). En 1992, seulement 7 des 36 segments reconnus à Haddock Harbour et 11 des 75 segments reconnus dans la baie Inhabitants contenaient des hydrocarbures (*cf.* tableau 5). De plus, Haddock Harbour avait seulement deux segments à degré de mazoutage «élevé» et la baie Inhabitants n'en avait qu'un. Aucun segment de ces deux secteurs n'avait un degré de mazoutage «modéré» ou «faible». Dans ces deux secteurs, le littoral, d'une longueur totale d'environ 70 km, n'a pas

Tableau 5

## Sommaire de la couverture des hydrocarbures et du degré de mazoutage

Secteur*	Couverture				Degré de mazoutage				N <sup>bre</sup> de segments mazoutés	N <sup>bre</sup> total de segments
	Forte	Modérée	Légère	Très légère	Élevé	Modéré	Faible	Très faible		
AR	-	2	4	4	2	2	4	2	10	30
BD	2	3	1	-	4	1	1	-	6	6
BR	-	1	-	5	1	-	-	5	6	20
CA	2	2	3	5	2	3	3	4	12	30
CR	-	2	3	2	1	2	3	1	7	14
DC	-	3	-	10	1	-	4	8	13	30
GY	2	-	2	4	-	2	1	5	8	30
HH	1	1	1	4	2	-	-	5	7	36
IN	1	-	3	7	1	-	-	10	11	75
JN	2	-	1	5	2	-	1	5	8	26
LN	-	6	3	8	6	2	-	9	17	44
PD	-	2	2	1	1	2	2	-	5	18
PM	-	2	3	1	1	1	1	3	6	19
PT	-	-	1	9	-	-	-	10	10	26
SP	-	-	2	1	-	-	-	3	3	15
Total	10	24	29	66	24	15	20	70	129	419

\* On trouvera à l'annexe A une explication du découpage en secteurs et des abréviations utilisées.

été nettoyé dans le cadre des interventions de 1970, ce qui indique que sa restauration naturelle a été efficace même en l'absence d'une énergie élevée des vagues.

On n'a trouvé des hydrocarbures résiduels qu'à un endroit sur une plage exposée où l'énergie des vagues était relativement élevée : il s'agissait de taches très pâles sur la côte sud de l'île Janvrin (JN-13).

Les caractéristiques dominantes des résidus d'hydrocarbures sont une largeur de bande «étroite» (78 % de la longueur du littoral mazouté), une distribution «sporadique» ou «éparse» (87 %) et une épaisseur de la catégorie des «taches» (73 %).

Chacune de ces caractéristiques indique un degré de mazoutage très faible. Sur près de 60 % du littoral où l'on a trouvé des hydrocarbures, leur couverture (largeur + distribution) était «très légère». Soixante-sept pour cent du littoral mazouté avait un degré de mazoutage «très faible» (largeur + distribution + épaisseur des hydrocarbures).

On a observé un degré de mazoutage «élevé» sur seulement 24 des 419 segments reconnus. Ces segments ne constituent qu'une faible fraction de tout le littoral mazouté : les bandes mazoutées sont «larges» sur moins de 2 % de ce littoral, le mazoutage est «continu» sur moins de 1 % et les hydrocarbures sont «concentrés» sur 2 % seulement.

Seulement 6,5 % du littoral où l'on a observé des hydrocarbures avait une couverture d'hydrocarbures «forte», et seulement 10 % avait un degré de mazoutage «élevé».

### **5.1.2 Distribution des hydrocarbures et zone tidale**

Tous les hydrocarbures résiduels observés se trouvaient dans la zone intertidale supérieure ou dans la zone supratidale, environ la moitié des observations ayant été faites dans chacune des deux zones.

### **5.1.3 Distribution des hydrocarbures et sédiments**

Presque tous les résidus d'hydrocarbures ont été observés sur des plages de sédiments grossiers. Seulement 20 des 419 segments reconnus ne contenaient pas de galets, de cailloux ou de blocs.

On a observé des hydrocarbures sur les affleurements rocheux dans 11 des 13 segments caractérisés par la présence de tels affleurements et l'absence de sédiments. Le degré de mazoutage était «faible» ou «très faible» dans le cas de sept de ces segments.

On a consigné la présence de fractions de sédiments de la taille du sable sur 17 seulement des segments reconnus. On a observé des hydrocarbures sur 11 de ces segments. Le degré de mazoutage était «élevé» pour neuf d'entre eux, et les hydrocarbures avaient l'aspect d'un «revêtement bitumineux» sur dix de ces segments.

## **5.2 Quantités et caractéristiques des hydrocarbures résiduels du littoral**

On n'a pas cherché à estimer le volume des hydrocarbures résiduels du littoral de la baie Chedabucto au moyen des données

recueillies en 1992. Toutefois, d'après les données du levé et les observations sur le terrain, il est évident que la majorité des hydrocarbures résiduels sont concentrés dans quelques endroits bien circonscrits, en particulier l'anse Black Duck et le passage Lennox.

L'anse Black Duck est de loin le secteur qui contient la plus forte concentration d'hydrocarbures, et des preuves historiques, indirectes et maintenant chimiques appuient l'affirmation selon laquelle ces hydrocarbures proviennent du pétrolier *Arrow*. Les hydrocarbures se sont échoués au cours d'une courte période à partir d'une nappe qui a erré du site du déversement vers l'est et qui a touché une section relativement petite de la côte, immédiatement à l'extérieur et au sud de la baie Chedabucto. Les hydrocarbures sont peut-être demeurés en mer plusieurs semaines, auquel cas ils ont été altérés à un certain point avant de s'échouer. L'anse Black Duck se trouve dans un milieu côtier ouvert dont le littoral est principalement constitué d'affleurements rocheux près desquels il n'y a pas de falaises de till glaciaire ni de cours d'eau pour approvisionner la zone côtière en sédiments à grain fin. Les hydrocarbures qui se sont échoués sur les rives de la lagune Black Duck n'ont donc pas été soumis aux processus associés à l'altération par floculation argile-hydrocarbures. La formation d'une croûte altérée a empêché la dégradation et l'oxydation biologiques de la surface. Après la première série de visites sur ce site en 1970, les hydrocarbures mobiles ont été délogés par le pompage et le balayage des marées; c'est pourquoi, lors du levé de 1973, la superficie mazoutée et le volume des hydrocarbures résiduels avaient diminué.

Une comparaison des observations faites et des photographies prises au cours du levé de 1973 et d'un autre levé effectué en 1982 indique que la superficie mazoutée et le volume des hydrocarbures résiduels ont continué à diminuer au cours de cette période, mais plus lentement. Une comparaison semblable entre les levés de 1982 et de 1992 indique qu'il y a eu peu de changement au cours de cette période.

Sur le plan de l'aspect, les résidus d'hydrocarbures trouvés dans l'anse Black Duck peuvent se diviser en deux grandes catégories : des hydrocarbures qui remplissent de larges interstices entre des particules de sédiments grossiers immobiles, et des agrégats de sédiments et d'hydrocarbures communément appelés «revêtements bitumineux».

Des hydrocarbures persistent sous forme de revêtement bitumineux sur le site de l'île Rabbit, dans la zone intertidale supérieure. Une surface très altérée a protégé les hydrocarbures sous-jacents contre les processus d'altération et de dégradation. Les plaques de revêtement bitumineux trouvées ailleurs dans la région à l'étude ont des caractéristiques semblables à celles reconnues sur l'île Rabbit. Dans tous les cas, les sédiments et les hydrocarbures se sont mélangés pour former un revêtement, et l'altération et la dégradation normalement associées à la floculation argile-hydrocarbures et à l'action biologique n'ont pu avoir lieu, pour plusieurs raisons possibles :

- L'emplacement sur la plage - Les hydrocarbures se sont échoués sur la plage au cours des marées de printemps, et une croûte superficielle s'est formée

avant la période d'inondation suivante, empêchant ainsi le processus de floculation.

- L'absence de fines - Dans la région à l'étude, le littoral est fourni en fines grâce à l'érosion de dépôts de till glaciaire par des processus fluviaux ou côtiers. Cependant, dans le secteur de l'anse Black Duck, il n'y a pas de dépôts de till glaciaire pour fournir des fines.
- Le manque de fines - Sur les côtes ouvertes comme celles du passage Lennox, où les hydrocarbures se sont échoués mais n'ont pas été délogés en raison de la faible énergie des vagues, la vitesse de renouvellement de l'eau peut être relativement élevée en raison de l'amplitude des marées et du régime de la circulation. Il se peut donc que la concentration des sédiments fins dans la zone littorale soit faible.

Il reste également des hydrocarbures sur la plage d'Arichat Harbour, où des «boulettes de bitume» ont été formées par le mélange physique (par un bulldozer) d'hydrocarbures et de sédiments (sable et granules). Ces boulettes se sont formées malgré la présence de sédiments fins (argile), probablement à cause de l'altération attribuable au mélange.

La formation d'un revêtement bitumineux a été décrite par Owens *et al.* (1986), qui attribuent la formation de ce type de résidu d'hydrocarbures à plusieurs facteurs :

- la localisation des hydrocarbures entre la laisse de la pleine mer moyenne et celle de la pleine mer du printemps, ou sur la terrasse de basse mer;

- des substrats bien drainés, pas plus fins que du sable à grain moyen;
- une pente douce;
- une protection contre les grandes forces physiques;
- une surface de saturation plus profonde que la profondeur de pénétration des hydrocarbures échoués;
- le temps nécessaire à la pénétration et à l'altération.

Ce concept peut être modifié à la lumière des données obtenues à la suite du déversement de l'*Exxon Valdez* en 1989 et au cours de la présente étude. L'aspect le plus important que nous avons appris est probablement la raison pour laquelle il ne se forme pas de revêtement bitumineux lorsque les conditions mentionnées ci-dessus sont remplies. Le concept de floculation argile-hydrocarbures a été élaboré à la suite des études associées au déversement de l'*Exxon Valdez*, et ce processus biophysique explique pourquoi il ne se forme pas de revêtement bitumineux dans des milieux à faible énergie, où l'on s'attendrait à ce que de tels revêtements se forment et durent.

Les plages de sédiments grossiers et de gravier de la baie Chedabucto ressemblent à bien des égards à celles du détroit du Prince-William (Alaska), où a eu lieu le déversement de l'*Exxon Valdez*; toutefois, au cours de la présente étude, nous n'avons trouvé aucun exemple des conditions de mazoutage associées à des plages protégées par des pierres (Hayes *et al.*, 1971). Des revêtements bitumineux se sont rarement formés dans le détroit du Prince-William,

en raison du balayage des hydrocarbures par les eaux et de leur récupération manuelle sur le littoral en 1989. Dans les rares endroits où il s'en est formé, on les a enlevés à la main, comme le revêtement bitumineux d'une longueur de 50 m trouvé sur l'île Applegate.

On a prélevé des échantillons dans les sites soumis à une étude détaillée afin de savoir si les hydrocarbures résiduels provenaient de l'Arrow. À l'exception d'un échantillon, tous les autres étaient très altérés chimiquement. Les tracés de chromatographie gazeuse indiquaient des mélanges complexes non séparables et contenaient très peu d'information d'une quelconque valeur. Il a donc été impossible d'identifier la source des hydrocarbures. Le seul échantillon qui provient probablement de l'Arrow est demeuré presque intact pendant 22 ans. Ces hydrocarbures se sont échoués sur une plage de cailloux, remplissant les espaces interstitiels. Une croûte altérée s'est formée au-dessus et au-dessous de la couche d'hydrocarbures pour la protéger contre l'altération biophysique.

Bien qu'il soit difficile de déterminer sans l'ombre d'un doute si les échantillons prélevés contiennent des hydrocarbures provenant de l'Arrow, on peut en arriver aux conclusions suivantes :

- L'échantillon de mazout «original» de l'Arrow utilisé à des fins de comparaison est probablement altéré par rapport au mazout qui a été déversé, étant donné la méthode d'entreposage utilisée et la durée de l'entreposage.
- L'échantillon 6 provient probablement de l'Arrow. Il n'est que légèrement plus

altéré que le mazout original entreposé dans un contenant pendant 22 ans.

- Il est impossible d'attribuer les hydrocarbures des autres échantillons au déversement de l'Arrow.

Cette dernière affirmation doit être nuancée. En effet, les composants utilisés par les analystes pour identifier le type et la source d'hydrocarbures disparaissent à mesure que ces hydrocarbures s'altèrent et se dégradent. Un vieux bitume peut en fait ne contenir aucun composant identifiable, mais on peut en établir la source exacte en se fondant sur sa présence dans le temps. Les derniers vestiges d'un hydrocarbure sont probablement les résines et les asphaltènes, qui ne sont pas extractibles par un solvant analytique et qui ne seraient pas reconnaissables même si l'on pouvait les extraire.

La démarche utilisée pour interpréter les données obtenues au cours de la présente étude a consisté à prouver que les hydrocarbures observés dans les échantillons ne provenaient pas de l'Arrow. Si l'on a choisi cette hypothèse, c'est que pour prouver que les hydrocarbures observés dans les échantillons provenaient de l'Arrow, il aurait fallu examiner un grand nombre d'échantillons de mazout lourd d'âges divers afin de déterminer les différences entre ces échantillons et les hydrocarbures de l'Arrow.

L'estimation finale de la source des hydrocarbures de chaque échantillon est donnée au tableau 6.

Nous n'avons pas réussi à prouver notre hypothèse dans le cas de l'échantillon 6, prélevé dans une flaque d'hydrocarbures de

**Tableau 6 Source des échantillons**

	A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Arrow?	N	N	N	N	N	N	O	N	N	N	N
	?			?	?	?		?	?	?	

la rive intérieure de la flèche Black Duck. L'existence après plus de 22 ans, dans des flaques d'une plage, de ce qui semble bien être du mazout original de l'*Arrow*, avec les mêmes caractéristiques que le mazout entreposé dans un contenant scellé, est proprement stupéfiante.

Les résultats des analyses de résidus de revêtement bitumineux provenant de ce que nous considérons, d'après des preuves indirectes, comme étant des hydrocarbures de l'*Arrow*, indiquent que les techniques actuelles (chromatographie gazeuse) parviennent rarement à caractériser des hydrocarbures très vieillis ou à fournir des données significatives sur leur altération.

### 5.3 *Nettoyage naturel des littoraux mazoutés*

Les observations faites immédiatement après le déversement de l'*Arrow* ont permis de mieux comprendre le comportement des hydrocarbures sur des plages de sédiments grossiers (Drapeau, 1973; Owens, 1973). Ces idées ont été raffinées en fonction des données recueillies après d'autres déversements (particulièrement ceux de l'*Urquiola* et du *Metula*) et pendant l'expérience BIOS (*Baffin Island Oil Spill*, ou déversement de pétrole à l'île de Baffin) (Owens, 1977, 1978, 1985; Blount, 1978; Gundlach *et al.*, 1978; Owens *et al.*, 1986; Gundlach, 1987; Humphrey *et al.*, 1990, 1991, 1992). Ces

travaux initiaux ont clairement défini le rôle de l'action directe et indirecte des vagues dans l'élimination physique des hydrocarbures sur les littoraux par les vagues ou les marées. Les observations concernant les caractéristiques et les vitesses d'élimination des hydrocarbures échoués sur des plages de sédiments grossiers ont été améliorées à la suite des études détaillées qui ont suivi l'incident de l'*Exxon Valdez* (Hayes *et al.*, 1991; Owens, 1991). Ces études, combinées aux travaux précédents, fournissent de l'information sur les quantités d'hydrocarbures et les vitesses d'élimination, mais non sur la gamme des processus biologiques, chimiques et physiques intervenant dans l'altération et la dégradation des hydrocarbures.

Nous n'avons pas beaucoup progressé dans la compréhension des processus de nettoyage ou d'altération naturelle des hydrocarbures sur les plages de sédiments grossiers jusqu'à ce que des études en laboratoire, faites avec des sédiments grossiers mazoutés prélevés sur des plages touchées par le déversement de l'*Exxon Valdez*, fournissent des informations sur le rapport entre les particules d'argile (ou minérales) et les hydrocarbures (Bragg et Yang, 1993). Ces travaux ont permis de mieux comprendre le rapport interactif entre le processus de floculation argile-hydrocarbures et la biodégradation (Bragg *et al.*, 1993) et d'améliorer les interprétations des rapports entre le

traitement du littoral et le nettoyage naturel dans le cas du déversement de l'*Exxon Valdez* (Jahns *et al.*, 1991; Neff *et al.*, 1993). L'application de la floculation argile-hydrocarbures est importante pour comprendre comment les hydrocarbures ont été éliminés des milieux abrités et à faible énergie qui étaient fortement mazoutés dans la baie Chedabucto, où il y a des sédiments à grain fin favorisant ce processus.

### **5.3.1 Hydrocarbures résiduels et nettoyage naturel dans la baie Chedabucto**

La majorité des segments qui contiennent des résidus d'hydrocarbures observés se trouvent dans des milieux à faible énergie, et les quelques sites fortement mazoutés représentent probablement plus de 90 % du volume des hydrocarbures résiduels. Cependant, une des principales constatations de la présente étude est qu'il n'y a maintenant plus d'hydrocarbures sur un grand nombre des littoraux fortement mazoutés à l'origine, dans des milieux à faible énergie. Il convient de signaler qu'à proximité du lieu du déversement, on n'a trouvé des hydrocarbures que sur 18 des 111 segments des secteurs abrités de la baie Inhabitants et de Haddock Harbour. Ces côtes, initialement très mazoutées, ont fait l'objet de très peu d'opérations de nettoyage en 1970. On ne peut raisonnablement attribuer à l'abrasion physique le nettoyage naturel de ces littoraux à faible énergie. Ces eaux contiennent des quantités considérables de sédiments en suspension à grain fin, et nous croyons que le processus de floculation argile-hydrocarbures a empêché la formation d'une surface altérée dure sur les hydrocarbures échoués. Ce processus a

permis l'altération et l'élimination continues de la surface des hydrocarbures grâce à la combinaison biophysique de la floculation et de la biodégradation (oxydation).

Les secteurs de Haddock Harbour (HH) et de la baie Inhabitants (IN) sont tous deux des milieux abrités à faible énergie qui ont été fortement mazoutés en 1970, mais pas nettoyés; on peut donc dire que la restauration naturelle a été efficace en l'absence d'une forte énergie des vagues. Les niveaux d'énergie sont faibles dans ces endroits abrités du secteur nord du fond de la baie Chedabucto, et le fetch y est généralement inférieur à 5 km; on ne devait donc pas s'attendre à ce que l'action des vagues contribue à l'abrasion physique des sédiments mazoutés. Faute d'énergie des vagues, l'élimination naturelle des hydrocarbures échoués est attribuée à une combinaison d'affouillement et d'abrasion par les glaces, de floculation par les sédiments en suspension et de biodégradation.

L'action des glaces est un mécanisme potentiel d'altération des hydrocarbures, étant donné que cette région est sujette à la formation d'un pied de glace et d'une banquise pendant des périodes atteignant plusieurs mois presque tous les hivers. Cependant, on ne considère pas que la glace a joué un rôle important, étant donné que les observations faites au cours des ans n'ont pas fourni d'indices de poussée des glaces ou de transport glacial d'envergure. La glace se forme et fond probablement *in situ*, pratiquement sans effet physique, et elle protège les sédiments de la zone intertidale contre l'échouement de la banquise flottante.

Les processus associés à la floculation (Bragg et Yang, 1993; Neff *et al.*, 1993) constituent également un mécanisme possible d'altération des hydrocarbures; en effet, il y a de grandes quantités de matériaux argileux en suspension, en raison de l'érosion naturelle continue du till glaciaire sur le littoral. À bien des endroits dans ces secteurs, les littoraux sont caractérisés par une mince couche de sédiments de plage déposés sur une plate-forme de till argileux produite par l'érosion de dépôts glaciaires. L'érosion du till par la pluie, les vagues ou les courants fournit une importante source locale de matériaux argileux directement à la zone littorale. Ces argiles sont fréquemment observées sous forme de sédiments en suspension qui donnent une teinte rouge aux eaux côtières. Ce processus de floculation n'a pas été efficace dans les zones où l'action des vagues est plus forte et la circulation meilleure (p. ex., le passage Lennox) et dans les zones où il n'y a pas de fines dans les eaux côtières (secteur de l'anse Black Duck). Les hydrocarbures échoués ont donc persisté dans ces zones.

Bien qu'elle se soit avérée efficace dans certains cas (Hoff, 1992), on ne croit pas que la biodégradation, à elle seule, constitue un des principaux mécanismes d'élimination de grandes quantités de mazout lourd échoué. Cependant, en présence du processus de floculation argile-hydrocarbures, il peut y avoir biodégradation lorsque les bactéries mangeuses d'hydrocarbures oxydent la surface inaltérée exposée des hydrocarbures résiduels (Bragg *et al.*, 1993). La vitesse de dégradation potentielle d'un mazout lourd est inférieure à celle des hydrocarbures légers, en raison de la teneur

plus élevée du mazout en hydrocarbures résistants.

La présence et l'absence de résidus d'hydrocarbures sur la côte de la baie Chedabucto, 22 ans après le déversement de l'*Arrow*, peuvent s'expliquer par des processus d'altération physique et de dégradation biologique. Les effets directs de l'abrasion physique et des pressions hydrauliques causées par l'action des vagues sur les littoraux exposés fournissent un mécanisme efficace et rapide d'élimination des hydrocarbures dans les milieux exposés où l'énergie des vagues est modérée ou élevée. L'importance relative des processus physiques et biologiques varie cependant dans les zones où l'action des vagues n'est pas le processus d'élimination dominant. Les hydrocarbures ont donc été éliminés de certains milieux abrités à faible énergie, mais ils demeurent en quantités appréciables dans d'autres endroits abrités.

### **5.3.2 Comparaison entre l'anse Black Duck et le détroit du Prince-William**

Il existe bien des similitudes entre les milieux côtiers du détroit du Prince-William (Alaska) et la baie Chedabucto. Les zones côtières se caractérisent par des plages de sédiments grossiers ou des affleurements rocheux, et les deux régions ont des littoraux mixtes (abrités et ouverts) mais où l'énergie des vagues n'est pas très élevée.

L'élimination des hydrocarbures a été plus rapide sur le littoral du détroit du Prince-William que dans d'autres milieux semblables (Humphrey *et al.*, 1990). En 1989, on a nettoyé, par lavage et balayage

à faible pression, les plages de galets et de cailloux du détroit du Prince-William qui avaient été mazoutées à la suite du déversement de l'*Exxon Valdez*; on a ainsi éliminé presque tous les hydrocarbures libres ou mobiles des espaces interstitiels des sédiments de surface (Owens, 1991). Cela a permis aux processus d'altération naturelle d'éliminer efficacement la majorité des hydrocarbures restants (Jahns *et al.*, 1991). Les activités de nettoyage ultérieures de 1990 et 1991 dans le détroit du Prince-William ont porté principalement sur l'élimination des hydrocarbures résiduels de subsurface qui n'avaient pas été délogés lors du programme de nettoyage de 1989 ou par l'altération naturelle subséquente. Ainsi, en 1992, on observait d'importantes quantités d'hydrocarbures résiduels sur 0,18 seulement des 487 km de littoral fortement mazoutés à l'origine (Neff *et al.*, 1993).

Les conditions de mazoutage initial des segments BD-1 et BD-6 de l'anse Black Duck étaient semblables à celles de certains sites étudiés dans le détroit du Prince-William (Owens, 1991). Si les hydrocarbures n'avaient pas été éliminés des sédiments par lavage et balayage, on peut supposer que de nombreux littoraux à énergie faible ou moyenne du détroit du Prince-William contiendraient encore les mêmes quantités d'hydrocarbures et présenteraient les mêmes caractéristiques de mazoutage que l'on retrouve aujourd'hui dans l'anse Black Duck. De même, si les segments BD-1 et BD-6 avaient été lavés et balayés en 1970, il n'existerait probablement plus aujourd'hui d'hydrocarbures dans les interstices des sédiments de cailloux ni de

revêtement bitumineux résiduel dans l'anse Black Duck.

### 5.3.3 Effets à long terme

Notre étude n'a pas porté sur les conséquences écologiques de la présence d'hydrocarbures résiduels sur les rives de la baie Chedabucto. Cependant, la conclusion d'une étude récente sur le déversement de pétrole de West Falmouth (Massachusetts) en 1969 (Teal *et al.*, 1992) a un rapport direct avec les résultats de notre étude :

«Par son aspect visuel, le marais ne diffère plus des autres marais salants sains de la Nouvelle-Angleterre, pourvu que la zone mazoutée ne soit pas perturbée. Au cours des cinq à six premières années suivant le déversement, il ne faisait aucun doute que les hydrocarbures avaient des effets dommageables sur l'écosystème du marais. Vingt ans plus tard, les effets résiduels sont extrêmement minimes. Cependant, un animal fouisseur qui vivrait dans les sédiments encore contaminés serait exposé à des concentrations d'hydrocarbures qui ont causé d'importants effets biologiques dans le passé.»

Ce commentaire pourrait également s'appliquer à certaines sections de la baie Chedabucto, comme le platin de l'anse Black Duck et quelques endroits autour de l'île Janvrin et du passage Lennox. Bien qu'il y ait encore des résidus d'hydrocarbures à certains endroits et sur des sections biologiquement productives de la côte de la baie Chedabucto, les impacts écologiques continus sont très limités.

#### 5.3.4 *Les sites d'études à long terme dans la baie Chedabucto*

Les sites de l'île Rabbit, d'Arichat Harbour et de l'anse Black Duck fournissent des informations précieuses sur le devenir et la persistance des hydrocarbures échoués dans des milieux de latitude moyenne. Ces informations permettent de mieux comprendre les processus naturels de restauration suivant le mazoutage d'un littoral. On peut ensuite utiliser ces informations et cette compréhension pour évaluer le devenir et la persistance probable d'hydrocarbures échoués lors de déversements futurs.

Les sites de la baie Chedabucto ont une valeur scientifique considérable en ce qui a trait à la surveillance à long terme, étant

donné qu'ils constituent un des rares endroits au monde où :

- il existe une base de données raisonnable à partir de l'incident initial;
- les hydrocarbures ont persisté en quantités observables;
- on peut effectuer des études à long terme sur le devenir, les effets et la persistance des hydrocarbures sans qu'il y ait de menaces d'autres activités humaines.

Il n'existe que deux autres emplacements semblables sous des latitudes moyennes ou élevées : le site de l'expérience BIOS sur l'île de Baffin et les rivages du détroit de Magellan, mazoutés à la suite du déversement du *Metula*.

## Conclusions

### 6.1 *Levé au sol*

Le levé au sol a démontré la valeur de l'utilisation d'une approche systématique ainsi que de termes et définitions normalisés.

### 6.2 *Levés de sites*

On ne saurait trop insister sur la valeur d'un enregistrement vidéo comme moyen de décrire un phénomène à la fois complexe et très variable sur le plan spatial. Les croquis dessinés à partir des données sur les profils reconnus ne présentent qu'une petite fraction de l'information obtenue grâce à l'observation directe et à un commentaire audiovisuel. Des mois, voire des années après le levé, il est possible de visionner des images et d'écouter un commentaire qui contiennent un volume beaucoup plus important d'informations que celui obtenu à partir d'une combinaison de cartes, de croquis, de notes ou de photographies.

La distribution des hydrocarbures de surface sur les trois sites cartographiés présente des caractéristiques très complexes. Owens et Teal (1990) ont souligné que des transects uniques ne décrivent pas adéquatement la couverture des hydrocarbures de surface. Les levés qui ne comportent qu'un transect par unité ou par segment sont adéquats seulement dans les cas de mazoutage uniforme sur

des substrats uniformes, qui sont rares sur des littoraux mixtes comme ceux qui ont été mazoutés à la suite des déversements de l'*Arrow* et de l'*Exxon Valdez*.

### 6.3 *Sommaire*

- 1) Il y a des hydrocarbures sur 13,3 km de littoral dans la baie Chedabucto. Le mazoutage sévère se limite à 1,3 km et est concentré principalement dans les secteurs de l'anse Black Duck et du passage Lennox. D'après des preuves indirectes, on a déterminé que certains de ces hydrocarbures résiduels proviennent de l'*Arrow*; l'analyse chimique indique en outre qu'un échantillon prélevé dans l'anse Black Duck est probablement constitué de mazout provenant de l'*Arrow*.
- 2) On a relativement peu nettoyé le littoral en 1970; environ 50 seulement des quelques 300 km mazoutés ont été traités. La majeure partie des hydrocarbures a été éliminée de la baie Chedabucto par altération naturelle. Là où il en reste, les hydrocarbures se présentent sous forme soit de taches minces sur des rochers ou des sédiments grossiers (galets, cailloux et blocs), soit sous forme d'un mélange résistant d'hydrocarbures et de sédiments semblable à du bitume.

- 3) Dans certaines zones de Haddock Harbour et de la baie Inhabitants, où l'énergie des vagues est faible, on avait observé un mazoutage sévère au printemps de 1970; or ces zones, qui n'ont pas fait l'objet d'opérations de nettoyage, sont maintenant pratiquement exemptes d'hydrocarbures. On y retrouve en abondance des sédiments en suspension à grain fin qui peuvent avoir contribué au processus d'altération par floculation argile-hydrocarbures décrit récemment dans le cas du détroit du Prince-William (Alaska).
- 4) La zone la plus mazoutée se trouve dans la lagune Black Duck, où il y a encore un revêtement bitumineux et des hydrocarbures concentrés dans les espaces interstitiels de trois zones distinctes constituées principalement de sédiments grossiers (cailloux et galets).
- 5) Il reste des «boulettes de bitume» résistantes sur les plages d'Arichat Harbour, où les sédiments mazoutés ont été déplacés par un bulldozer.
- 6) La présence ou l'absence de résidus d'hydrocarbures dans la baie Chedabucto à la suite du déversement de l'Arrow peut s'expliquer par les processus physiques, biophysiques et biologiques qui agissent sur les hydrocarbures échoués. Les hydrocarbures demeurent sur le rivage :
- lorsqu'ils se trouvent à l'extérieur des zones où l'action physique des vagues est suffisante pour déplacer les sédiments et abraser les hydrocarbures (notamment dans les lagunes abritées);
  - lorsqu'ils se trouvent dans des zones côtières de mélange où il n'y a pas de sédiments à grain fin pour altérer les hydrocarbures par des processus biophysiques (floculation argile-hydrocarbures et biodégradation);
  - lorsqu'ils sont altérés à la surface, formant une croûte qui retarde les changements et protège les hydrocarbures contre les processus d'altération et les processus océanographiques.

## Références

---

- Blount, A.E., *Two Years After the Metula Oil Spill, Strait of Magellan, Chile*, Technical Report No. 16-CRD, Department of Geology, University of South Carolina (1978).
- Bragg, J.R. et S.H. Yang, «Clay-Oil Flocculation and its Effect on the Rate of Natural Cleansing in Prince William Sound Following the Exxon Valdez Oil Spill», *Third Symposium on Environmental Toxicology and Risk Assessment: Aquatic, Plant and Terrestrial*, ASTM STP(D)1, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (1993).
- Bragg, J.R., R.C. Prince, E.J. Harner et R.M. Atlas, «Bioremediation Effectiveness Following the Exxon Valdez Spill», *Proceedings of the 1993 International Oil Spill Conference*, Publication No. 4580, American Petroleum Institute, Washington, DC, p. 435-447 (1993).
- Buckley, D.E., E.H. Owens, C.T. Schafer, G. Vilks, R.E. Cranston, M.A. Rashid, F.J.E. Wagner et D.A. Walker, «Canso Strait and Chedabucto Bay - A Multidisciplinary Study of the Impact of Man on the Marine Environment», *Offshore Geology of Eastern Canada, Volume I: Concepts and Applications of Environmental Marine Geology*, B.R. Pelletier (éd.), étude 74-30, Commission géologique du Canada, Ottawa (Ontario), p. 133-160 (1974).
- Drapeau, G., *Reconnaissance Survey of Oil Pollution on the South Shore of Chedabucto Bay, March 24 to 25, 1970*, rapport inédit, Laboratoire océanographique de l'Atlantique, Institut d'océanographie de Bedford, Dartmouth (Nouvelle-Écosse) (1970).
- Drapeau, G., «Natural Cleaning of Oil-polluted Shores», *Proceedings of the 13th Coastal Engineering Conference*, Vancouver (Colombie-Britannique), American Society of Civil Engineering, p. 2557-2575 (1973).
- Environnement Canada, *Oilspill SCAT Manual for the Coastlines of British Columbia*, rapport préparé par Woodward-Clyde Consultants pour la Direction du développement technologique, Conservation et Protection, Environnement Canada, Edmonton (Alberta), 245 p. (1992).
- Fowler, B.M. et C.J. Noll, «Visual Observations on the Behaviour and Fate of Oil in the Cape Breton Area, Nova Scotia, Contaminated After the Kurdistan Oil Spill», *Scientific Studies During the Kurdistan Tanker Incident - Proceedings of a Workshop*, J.H. Vandermeulen (éd.), Report BI-R-80-3, Institut d'océanographie de Bedford,

- Dartmouth (Nouvelle-Écosse), p. 132-153 (1979).
- Groupe spécial de l'opération «hydrocarbures», *Nettoyage du mazout répandu par l'Arrow dans la baie Chédabouctou*, vol. I, rapport au ministre des Transports, Ottawa (Ontario), 45 p. (1970a).
- Groupe spécial de l'opération «hydrocarbures», *Nettoyage du mazout répandu par l'Arrow dans la baie Chédabouctou*, vol. II, rapport au ministre des Transports, Ottawa (Ontario), 106 p. (1970b).
- Gundlach, E.R., «Oil-holding Capacities and Removal Coefficients for Different Shoreline Types to Computer-simulated Spills in Coastal Water», *Proceedings of the 1987 International Oil Spill Conference*, Publication No. 4452, American Petroleum Institute, Washington, DC, p. 451-457 (1987).
- Gundlach, E.R., C.H. Ruby, M.O. Hayes et A.E. Blount, «The *Urquiola* Oil Spill, La Coruna, Spain - Impact and Reaction on Beaches and Rocky Coasts», *Environmental Geology*, 2(3): 131-143 (1978).
- Hayes, M.O., J. Michel et D.C. Noe, «Factors Controlling Initial Deposition and Long-term Fate of Spilled Oil on Gravel Beaches», *Proceedings of the 1991 International Oil Spill Conference*, Publication No. 4529, American Petroleum Institute, Washington, DC, p. 453-465 (1991).
- Hoff, R., «Biorestauration : une mesure d'intervention en cas de déversement de pétrole en mer», *Bulletin de la lutte contre les déversements*, 17(1): 1-14 (1992).
- Humphrey, B. et J.H. Vandermeulen, «Characterization of Fifteen-year Old Stranded Oil», *Proceedings of the 9th Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar, Edmonton, Alberta*, Environnement Canada, Ottawa (Ontario), p. 29-38 (1986).
- Humphrey, B., G.A. Sergy et E.H. Owens, «Stranded Oil Persistence in Cold Climates», *Compte rendu : 13<sup>e</sup> Colloque technique du Programme de lutte contre les déversements d'hydrocarbures en mer et dans l'Arctique (AMOP)*, Edmonton (Alberta), Environnement Canada, Ottawa (Ontario), p. 401-410 (1990).
- Humphrey, B., E.H. Owens et G. Sergy, «Long-term Results from the BIOS Shoreline Experiment - Surface Oil Cover», *Proceedings of the 1991 International Oil Spill Conference*, Publication No. 4529, American Petroleum Institute, Washington, DC, p. 447-452 (1991).
- Humphrey, B., E.H. Owens et G.A. Sergy, *Sort et persistance du pétrole brut échoué : survol sur neuf années du projet BIOS, île de Baffin (T.N.-O.)*, Canada, rapport SPE 3/SP/4, Environnement Canada, Ottawa (Ontario), 46 p. (1992).
- Jahns, H.O., J.R. Bragg, L.C. Dash et E.H. Owens, «Natural Cleaning of

- Shorelines Following the *Exxon Valdez Spill*», *Proceedings of the 1991 International Oil Spill Conference*, Publication No. 4529, American Petroleum Institute, Washington, DC, p. 167-176 (1991).
- Keizer, P.D., T.P. Ahern, J. Dale et J.H. Vandermeulen, «Residues of Bunker C Oil in Chedabucto Bay, Nova Scotia, 6 Years After the *Arrow Spill*», *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada*, 35(5): 528-535 (1978).
- MacKay, J.W., *Beach Restoration Report*, rapport inédit préparé pour le ministère des Travaux publics, Ottawa (Ontario), 74 p. (1970).
- McLean, A.Y. et O.J. Betancourt, «Physical and Chemical Changes in Spilled Oil Weathering Under Natural Conditions», *Offshore Technology Conference*, Paper No. 1478, 1: 250-254 (1973).
- Neff, J.M., E.H. Owens, S.W. Stoker et D.M. McCormick, «Condition of Shorelines in Prince William Sound Following the *Exxon Valdez* Oil Spill, Part 1: Shoreline Oiling», *Third Symposium on Environmental Toxicology and Risk Assessment: Aquatic, Plant and Terrestrial*, ASTM STP(D)1, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (1993).
- Owens, E.H., *Geological Aspects of the Beach Restoration Programme in Chedabucto Bay, Nova Scotia, 1970*, rapport inédit préparé pour l'équipe de coordination scientifique du groupe spécial de l'opération «hydrocarbures», ministère des Transports, Ottawa (Ontario), 85 p. (1970).
- Owens, E.H., *The Restoration of Beaches Contaminated by Oil in Chedabucto Bay, Nova Scotia*, rapport manuscrit n° 19, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Direction des sciences de la mer, Ottawa (Ontario), 75 p. (1971a).
- Owens, E.H., *A Reconnaissance of the Coastline of Chedabucto Bay, Nova Scotia*, Marine Science Paper No. 4, ministère de l'Environnement, Direction des sciences de la mer, Ottawa (Ontario), 24 p. et carte (1971b).
- Owens, E.H., «The Cleaning of Gravel Beaches Polluted by Oil», *Proceedings of the 13th Coastal Engineering Conference, Vancouver, British Columbia*, American Society of Civil Engineering, p. 2549-2556 (1973).
- Owens, E.H., *Les littoraux canadiens et les déversements d'hydrocarbures*, Analyse économique et technique SPE 3-EC-77-13F, Pêches et Environnement Canada, Direction générale du contrôle des incidences environnementales, Ottawa (Ontario), 413 p. (1977).
- Owens, E.H., «Mechanical Dispersal of Oil Stranded in the Littoral Zone», *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada*, 35(5): 563-572 (1978).

- Owens, E.H., «Factors Affecting the Persistence of Stranded Oil on Low-energy Coasts», *Proceedings of the 1985 International Oil Spill Conference*, Publication No. 4385, American Petroleum Institute, Washington, DC, p. 359-365 (1985).
- Owens, E.H., *Changes in Shoreline Conditions 1 1/2 Years After the 1989 Prince William Sound Spill*, rapport inédit préparé par Woodward-Clyde Consultants, Seattle, WA, 52 p. et annexes (1991).
- Owens, E.H. et G. Drapeau, «Changes in Beach Profiles at Chedabucto Bay, Nova Scotia, Following Large-scale Removal of Sediments», *Revue canadienne de la science du sol*, 10: 1226-1232 (1973).
- Owens, E.H. et M.A. Rashid, «Coastal Environments and Oil Spill Residues in Chedabucto Bay, Nova Scotia», *Revue canadienne de la science du sol*, 13: 980-988 (1976).
- Owens, E.H. et A.R. Teal, «A Brief Overview and Initial Results from the Winter Shoreline Monitoring Program Following the Exxon Valdez Incident», *Compte rendu : 13<sup>e</sup> Colloque technique du Programme de lutte contre les déversements d'hydrocarbures en mer et dans l'Arctique (AMOP)*, Edmonton (Alberta), Environnement Canada, Ottawa (Ontario), p. 541-570 (1990).
- Owens, E.H., W. Robson et B. Humphrey, «Data on the Character of Asphalt Pavements», *Proceedings of the 9th Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar*, Edmonton, Alberta, Environnement Canada, Ottawa (Ontario), p. 1-17 (1986).
- Rashid, M.A., «Degradation of Bunker C Oil Under Different Coastal Environments of Chedabucto Bay, Nova Scotia», *Estuarine and Coastal Marine Science*, 2: 137-144 (1974).
- Sergy, G.A., B. Humphrey et E.H. Owens, «On Describing and Estimating the Fate of Stranded Oil», *Proceedings of the 1991 International Oil Spill Conference*, Publication No. 4529, American Petroleum Institute, Washington, DC, p. 489-492 (1991).
- Teal, J.M., J.W. Farrington, K.A. Burns, J.J. Stegeman, B.W. Tripp, B. Woodin et C. Phinney, «The West Falmouth Oil Spill After 20 Years - Fate of Fuel Oil Compounds and Effects on Animals», *Marine Pollution Bulletin*, 24(12): 607-614 (1992).
- Thomas, M.L.H., «Effects of Bunker C Oil on Intertidal and Lagoonal Biota in Chedabucto Bay, Nova Scotia», *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 30: 83-90 (1973).
- Thomas, M.L.H., «Long-term Biological Effects of Bunker C Oil in the Intertidal Zone», *Fate and Effects of Petroleum Hydrocarbons in Marine Organisms and Ecosystems*, D.A. Wolfe (éd.), Pergamon Press, New York, NY, p. 238-245 (1977).

- Thomas, M.L.H., «Comparison of Oiled and Unoiled Intertidal Communities in Chedabucto Bay, Nova Scotia», *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada*, 35(5): 707-716 (1978).
- Vandermeulen, J.H. et D.C. Gordon, «Reentry of 5-year Old Stranded Bunker C Oil from a Low-energy Beach into the Water, Sediments and Biota of Chedabucto Bay, Nova Scotia», *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada*, 33: 2002-2010 (1976).
- Wang, Z., *Analytical Method for the Determination of Individual and Total Petroleum Hydrocarbons, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Biomarker Triterpanes and Steranes in Crude Oil, Weathered Oil and Oil Spill-related Environmental Samples*, rapport interne de la Division des urgences (Science), Centre de technologie environnementale, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) (1993).
- Wang, Z., M. Fingas et K. Li, «Fractionation of ASMB Oil and Identification and Quantitation of Aliphatic, Aromatic and Biomarker Compounds by GC/FID and GC/MS», *Compte rendu : 16<sup>e</sup> Colloque technique du Programme de lutte contre les déversements d'hydrocarbures en mer et dans l'Arctique (AMOP)*, Calgary (Alberta), Environnement Canada, Ottawa (Ontario), p. 11-44 (1993).
- Woodward-Clyde Consultants, *Nova Scotia Field Videotape Manual*, rapport inédit préparé pour Petro-Canada Exploration Inc., Calgary (Alberta) (1982).

## Terminologie utilisée pour décrire le mazoutage du littoral et données du levé au sol

La présente annexe décrit la terminologie utilisée sur les formulaires «Bilan du mazoutage du littoral» remplis sur le terrain (cf. figures 2 et 3 du texte). Les termes et leurs définitions proviennent d'Environnement Canada (1992). On y trouvera aussi, sous forme de tableau, un bilan des données recueillies pendant le levé au sol.

### Secteur

La région reconnue a été subdivisée en 15 secteurs (cf. figure A.1) comme suit :

AR Arichat  
 BD Anse Black Duck  
 BR Bay of Rocks  
 CA Canso  
 CR Île Crichton  
 DC Détroit de Canso  
 GY Guysborough  
 HH Haddock Harbour  
 IN Baie Inhabitants  
 JN Île Janvrin  
 LN Passage Lennox  
 PD Île Petit-de-Grat  
 PM Pointe Michaud  
 PT Havre/Passage Petit-de-Grat  
 SP Île St. Peters

### Segment/emplacement

À l'intérieur de chaque secteur, des segments ont été numérotés en ordre

séquentiel. On a défini au total 505 segments. Lorsque des hydrocarbures étaient observés à plus d'un emplacement sur un segment, chaque emplacement était désigné par un numéro d'extension séparé du numéro du segment par un point. Ainsi, dans le segment BD-1, deux emplacements mazoutés ont été désignés comme suit : BD-1.0 et BD-1.1. (Sur le croquis reproduit à la figure 3 du texte et sur le formulaire «Bilan de mazoutage du littoral» correspondant, ces emplacements étaient désignés respectivement par les lettres «A» et «B» dans le segment BD-1.)

### Longueur

La longueur approximative (en mètres) d'un segment a été déterminée à partir des cartes topographiques.

### Longueur reconnue

La longueur réelle (en mètres) du segment reconnu.

### Longueur mazoutée

La longueur (en mètres) de la ou des zones mazoutées sur un segment. Dans l'exemple fourni à la figure 2 du texte, la longueur mazoutée est de 50 m.

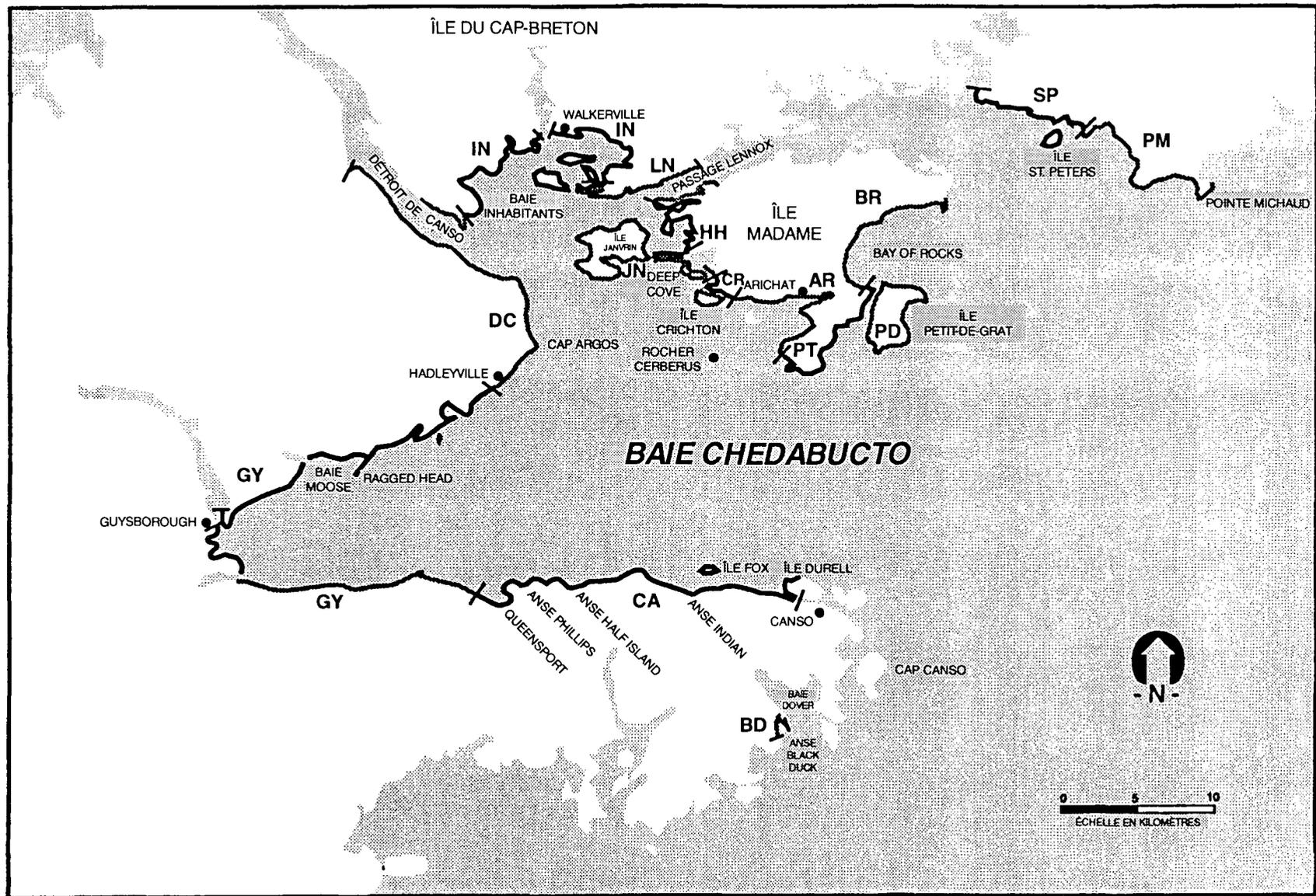


Figure A.1 Découpage en secteurs de la région à l'étude

## Largeur mazoutée

La largeur (en mètres) de la ou des zones mazoutées sur un segment. Dans l'exemple fourni à la figure 2 du texte, la largeur mazoutée est de 10 m. Cette valeur représente la largeur moyenne de la zone ou de la bande mazoutée sur le segment de littoral. Lorsqu'il y a plusieurs bandes ou zones sur un même rivage, la largeur mazoutée représente la somme de toutes les largeurs. Aux fins du bilan, les données sur la largeur mazoutée sont groupées comme suit :

Large (L)	>6 m
Moyenne (M)	>3 m et ≤6 m
Étroite (E)	>0,5 m et ≤3 m
Très étroite (TE)	≤0,5 m

## Distribution

La distribution des hydrocarbures observée à la surface, exprimée en pourcentage de la superficie mazoutée totale ou de la bande couverte par des hydrocarbures. Lorsqu'il y a plusieurs bandes, on emploie le terme qui décrit le mieux l'état des hydrocarbures sur l'ensemble de ce segment. Une illustration utilisée sur le terrain pour aider à évaluer la distribution des hydrocarbures est présentée à la figure A-2. Aux fins du bilan, les données sur la distribution ont été groupées comme suit :

Traces (T)	<1 %
Distribution sporadique (S)	1 - 10 %
Distribution éparse (E)	11 - 50 %
Distribution discontinue (D)	51 - 90 %
Distribution continue (C)	91 - 100 %

Dans l'exemple fourni à la figure 2 du texte, la distribution («DIST») est discontinue («D»). Sur le croquis

correspondant présenté à la figure 3 du texte, la distribution sur le segment BD-6 est de 70 %.

## Épaisseur

L'épaisseur moyenne ou dominante des hydrocarbures dans une bande ou une zone mazoutée.

Hydrocarbures concentrés ou épais (CE) - >1,0 cm

Couverture (CV) - >0,1 cm et ≤1,0 cm

Couche (CH) - >0,01 cm et ≤0,1 cm. Peut s'enlever avec l'ongle sur les sédiments grossiers ou les rochers.

Tache (TA) - ≤0,01 cm. Ne peut être grattée facilement sur les sédiments grossiers ou les rochers.

Pellicule (PL) - Pellicule transparente ou translucide ou reflet.

Dans l'exemple fourni à la figure 2 du texte, le code de l'épaisseur est «CE» (hydrocarbures concentrés ou épais).

## Aspect

L'aspect physique des hydrocarbures observés qui décrit le mieux les résidus d'hydrocarbures.

Frais (FR) - Hydrocarbures non altérés de faible viscosité.

Mousse (MS) - Hydrocarbures émulsifiés (mélange d'hydrocarbures et d'eau) sous forme de plaques ou d'accumulations, ou à l'intérieur des espaces interstitiels.

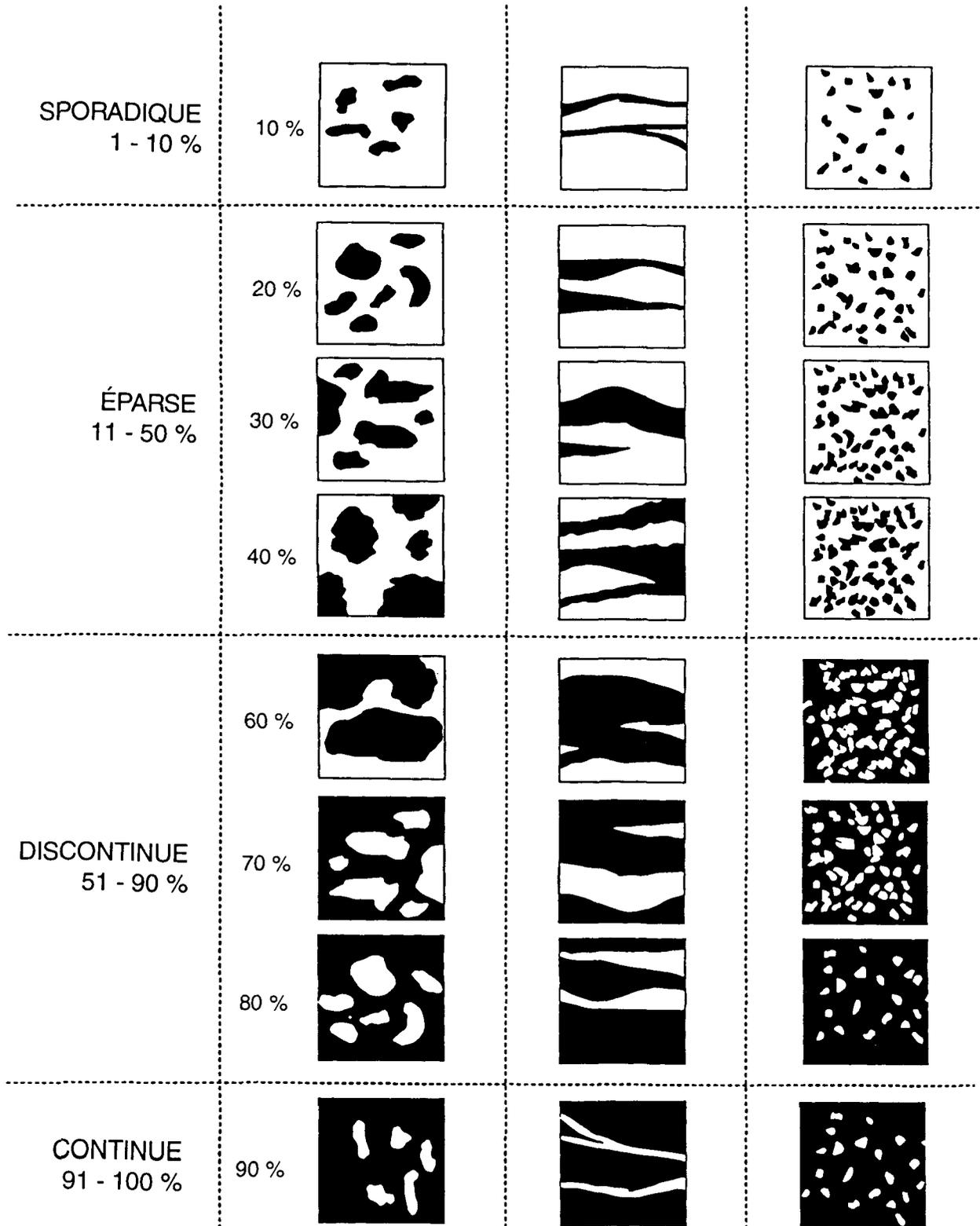


Figure A.2 Guide d'estimation de la distribution des hydrocarbures

Boulettes de goudron ou galettes de mousse (BG) - Boulettes ou galettes libres se trouvant sur une plage ou ayant adhéré aux rochers ou aux sédiments grossiers du littoral. En général, le diamètre des boulettes de goudron est inférieur à 0,1 m et celui des galettes de mousse varie de 0,1 à 1,0 m.

Goudron (GD) - Couverture ou couche (*cf.* «Épaisseur») altérée de consistance goudronneuse, presque solide.

Résidus de surface (RS) - Sédiments de surface mazoutés et non cohésifs formant des plaques continues ou présents dans les interstices des sédiments grossiers.

Revêtement bitumineux (RB) - Mélange cohésif d'hydrocarbures et de sédiments.

Aucune observation d'hydrocarbures (AO).

Débris (DB) - Troncs d'arbres (/TR), végétation (/VG), détritiques (/DT) ou débris en général, y compris les matériaux d'intervention utilisés (sorbants, barrages flottants, etc.).

Dans l'exemple fourni à la figure 2 du texte, l'aspect des hydrocarbures est «RB» (revêtement bitumineux).

### Couverture

Un système de classement à quatre degrés a été élaboré pour décrire la couverture des hydrocarbures de surface : forte (F), modérée (M), légère (L) et très légère (TL). À ce premier niveau de détail, la largeur mazoutée et la distribution des hydrocarbures sont combinées dans la

Matrice de la couverture des hydrocarbures de surface (tableau A.1) pour donner un indice sommaire du degré de mazoutage.

### Degré de mazoutage

L'épaisseur des hydrocarbures est combinée à leur couverture dans la Matrice du degré de mazoutage en surface (tableau A.2); on obtient ainsi un deuxième niveau de détail afin de résumer le degré de mazoutage.

### Exposition aux vagues

L'exposition aux vagues est évaluée sur une échelle à trois degrés [faible (F), modérée (M) et élevée (E)] en fonction de la fenêtre et de la longueur du fetch à l'intérieur d'un segment; on utilise pour cela la Matrice d'exposition aux vagues (tableau A.3).

### Pente

Le type de pente d'un rivage qui caractérise généralement le segment ou l'emplacement.

Douce (D)      Pente de 30° ou moins

Modérée (M)    Pente comprise entre 31 et 60°

Raide (R)        Pente comprise entre 61 et 90°

Verticale (V)    Littoral vertical ou quasi vertical (>90°)

### Zone

La zone tidale dans laquelle se trouve le résidu d'hydrocarbures.

**Tableau A.1 Matrice de la couverture des hydrocarbures de surface**

Distribution des hydrocarbures	Largeur des zones mazoutées			
	Large >6 m	Moyenne >3 - 6 m	Étroite >0,5 - 3 m	Très étroite ≤0,5 m
Continue 91 - 100 %	Forte	Forte	Modérée	Légère
Discontinue 51 - 90 %	Forte	Forte	Modérée	Légère
Éparse 11 - 50 %	Modérée	Modérée	Légère	Très légère
Sporadique 1 - 10 %	Légère	Légère	Très légère	Très légère
Traces <1 %	Très légère	Très légère	Très légère	Très légère

**Tableau A.2 Matrice du degré de mazoutage en surface**

Épaisseur moyenne	Couverture des hydrocarbures de surface			
	Forte	Modérée	Légère	Très légère
Épais ou concentrés >1 cm	Élevé	Élevé	Modéré	Faible
Couverture >0,1 - 1,0 cm	Élevé	Élevé	Modéré	Faible
Couche >0,01 - 0,1 cm	Modéré	Modéré	Faible	Très faible
Tache ou pellicule ≤0,01 cm	Faible	Faible	Très faible	Très faible

**Tableau A.3 Matrice d'exposition aux vagues**

Longueur du fetch	Fenêtre du fetch - Degrés			
	<45	45 - 120	121 - 180	>180
>5 km	Faible	Faible	Faible	Faible
5 - 10 km	Faible	Modérée	Modérée	Modérée
10 - 50 km	Modérée	Modérée	Élevée	Élevée
>50 km	Élevée	Élevée	Élevée	Élevée

Zone supratidale (S) - Zone qui se trouve au-dessus de la pleine mer moyenne et qui est occasionnellement soumise à l'action des vagues. On l'appelle aussi zone d'éclaboussement.

Zone intertidale supérieure (IS) - Tiers supérieur de la zone intertidale.

Zone intertidale moyenne (IM) - Tiers moyen de la zone intertidale.

Zone intertidale inférieure (II) - Tiers inférieur de la zone intertidale.

## Sédiments

Le principal type de substrat sur le segment ou sur l'emplacement.

### Affleurements rocheux (R)

Blocs (B)	>256 mm de diamètre
Cailloux (C)	64 - 256 mm de diamètre
Galets (GA)	4 - 64 mm de diamètre
Granules (GR)	2 - 4 mm de diamètre
Sable (S)	0,06 - 2 mm de diamètre
Vase (V)	<0,06 mm de diamètre

**Tableau A.4 Bilan des données recueillies pendant le levé au sol**

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
AR	1.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	2.0	200	200	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	3.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	4.0	250	250	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	5.0	350	350	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	6.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	7.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	8.0	800	800	50	1	20	TA	RS	L	TF	F	M	IS	R,B
AR	8.1	-	-	10	1,5	15	CV	RB	L	M	F	D	S	B,C
AR	9.0	1 200	1 200	20	1	15	TA	RS	L	TF	F	D	S	B,C,GA
AR	9.1	-	-	20	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	S	B,C,GA
AR	9.2	-	-	15	2	5	CV	RB	TL	F	F	M	S	B,C,GA
AR	10.0	400	400	25	1	20	TA	RS	L	TF	F	D	S	B,C,GA
AR	11.0	800	800	25	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	S	B,C,GA
AR	11.1	-	-	20	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	S	B,C,GA
AR	12.0	1 400	1 400	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	13.0	800	800	50	2	60	CV	RB	M	E	F	D	S	C,GA
AR	14.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	15.0	800	800	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	16.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	17.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	18.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	B,C,GA
AR	19.0	300	300	75	1,5	30	CV	RB	L	M	F	M	S	R,C,GA
AR	19.1	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	M	S	C,GA
AR	20.0	500	500	30	1	5	CV	RB	TL	F	F	D	S	R,C,GA
AR	21.0	600	0											
AR	22.0	800	0											
AR	23.0	1 100	1 100	30	1	15	CV	RB	L	M	F	D	S	C,GA
AR	23.1	-	-	2	0,75	80	CV	RB	M	E	F	D	S	C,GA
AR	23.2	-	-	30	1,5	20	TA	RS	L	TF	F	M	S	B,C
AR	23.3	-	-	25	1	5	CV	RB	TL	F	F	M	S	B,C
AR	24.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	25.0	600	600	10	1	5	CV	RB	TL	F	F	D	S	B,C,GA

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
AR	26.0	700	700	20	2	5	TA	RS	TL	TF	F	D	S	B,C,GA
AR	26.1	-	-	10	1,5	5	CV	RB	TL	F	F	D	S	B,C,GA
AR	27.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
AR	28.0	250	0											
AR	29.0	400	0											
AR	30.0	800	0											
BD	1.0	400	400	150	2	80	CE	RB	M	E	F	D	S,IS	B,C
BD	1.1	-	-	100	2	25	CH	RS	L	F	F	D	S	B,C
BD	2.0	500	500	75	2	70	CE	RB	M	E	F	D	IS	S,V
BD	3.0	200	200	150	10	40	CH	RS	M	M	F	D	IS	B,C
BD	4.0	600	600	100	1	25	CH	RS	L	F	F	D	S	B,C
BD	5.0	500	500	20	5	60	CV	RS	F	E	F	-	-	GR,S
BD	6.0	400	400	50	10	70	CE	RB	F	E	F	D	S,IS	B,C,GA
BR	1.0	300	0											
BR	2.0	1 100	1 100	0	0	0	-	AO	-	-				
BR	3.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
BR	4.0	800	800	30	1,5	5	TA	RS	TL	TF	M	D	IS	B,C,GA
BR	5.0	600	600	25	1	5	TA	RS	TL	TF	M	D	IS	B,C,GA
BR	6.0	400	400	15	1	5	TA	RS	TL	TF	M	D	S	B,C,GA
BR	7.0	1 600	1 000	0	0	0	-	AO	-	-				
BR	8.0	600	0											
BR	9.0	1 000	0											
BR	10.0	400	0											
BR	11.0	1 000	1 000	0	0	0	-	AO	-	-				
BR	12.0	250	250	80	2	5	TA	RS	TL	TF	M	M	S	R,B,C
BR	13.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
BR	13.11	150	150	40	2	70	CV	RB	M	E	F	D	IS	S,V
BR	13.12	-	-	0	0	0	-	AO	-	-				
BR	14.0	700	700	75	1	5	TA	RS	TL	TF	M	D	IS	R,B
BR	15.0	800	800	0	0	0	-	AO	-	-				
BR	16.0	1 100	1 100	0	0	0	-	AO	-	-				
BR	17.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
BR	18.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
BR	19.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
BR	20.0	300	0											

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
CA	1.0	1 000	800	2	1	10	CV	RS	TL	F	F	D	S	R
CA	2.0	500	0											
CA	3.0	600	0											
CA	4.0	500	0											
CA	5.0	1 000	900	10	2	60	CV	RB	M	E	F	D	S	R,B
CA	5.1	-	-	150	1	30	CH	RS	L	F	F	D	S	R,B
CA	6.0	4 000	2 500	0	0	0	-	AO	-	-				
CA	7.0	900	900	0	0	0	-	AO	-	-				
CA	8.0	500	0											
CA	9.0	800	0											
CA	10.0	200	0											
CA	11.0	350	350	2,5	2	100	CV	RB	M	E	M	M	S	R
CA	11.1	-	-	3	4	80	CV	RB	F	E	M	M	S	R
CA	11.2	-	-	5	2	40	CH	RS	L	F	M	M	S	R,B
CA	12.0	250	250	0	0	0	-	AO	-	-				
CA	13.0	1 000	1 000	5	7	60	CH	RS	F	M	M	M	S	R
CA	14.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
CA	15.0	1 300	1 300	0	0	0	-	AO	-	-				
CA	16.0	1 600	1 600	300	0,5	15	CH	RB	TL	TF	M	M	S	R
CA	17.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
CA	17.1	400	400	10	3	30	CH	RB	L	F	M	-	-	R
CA	18.0	800	400	20	2	5	CH	RS	TL	TF	M	R	S	R
CA	19.0	700	700	15	2	20	CH	RB	L	F	M	M	IS	R,B,C
CA	19.1	-	-	10	2	30	CH	RB	L	F	M	M	IS	R,B,C
CA	20.0	1 100	1 100	0	0	0	-	AO	-	-				
CA	21.0	1 200	900	50	2	5	TA	RS	TL	TF	M	D	S,IS	R,B
CA	22.0	600	0											
CA	23.0	500	0											
CA	24.0	800	800	70	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	S	B,C,GA
CA	24.1	-	-	100	2	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	R,B,C
CA	25.0	1 000	1 000	0	0	0	-	AO	-	-				
CA	26.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
CA	27.0	800	800	4	3	60	CH	RB	M	M	F	?	?	?
CA	28.0	900	900	0	0	0	-	AO	-	-				
CA	29.0	1 400	0	5	1	20	CH	RS	L	F	M	D	S	B,C

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
CA	29.1	-	-	2	1	20	CV	BG	L	M	M	D	S	B,C
CA	29.2	-	-	20	1	30	CH	RS	L	F	M	D	S	B,C
CA	30.0	400	0											
CR	1.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
CR	2.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
CR	3.0	350	350	0	0	0	-	AO	-	-				
CR	3.1	350	350	10	2	5	TA	RS	TL	TF	M	D	IS	B,C,GA
CR	4.0	600	600	25	5	15	TA	RS	M	F	M	D	IS	R,B,C
CR	4.1	-	-	35	4	15	TA	RS	M	F	M	D	IS	R,B,C
CR	4.2	-	-	20	0,3	20	CV	RB	TL	F	M	M	S	R
CR	5.0	250	250	0	0	0	-	AO	-	-				
CR	6.0	600	600	75	2	5	TA	RS	TL	TF	M	M	S	R,B
CR	6.1	-	-	50	1	5	CV	RB	TL	F	M	M	S	R,B
CR	6.2	-	-	30	2	5	TA	RS	TL	TF	M	M	S	R,B
CR	7.0	500	500	15	1,5	15	CV	RB	L	M	M	M	S	R,B
CR	7.1	-	-	30	1	5	TA	RS	TL	TF	M	M	S	R,B
CR	8.0	700	700	3	1	15	CV	RB	L	M	M	D	S	R,B
CR	9.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
CR	10.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-	F	M	S	C,GA
CR	11.0	250	250	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
CR	12.0	700	700	20	2	20	TA	RS	L	TF	F	D	S	C,GA
CR	12.1	-	-	2	0,5	15	CV	RB	TL	F	F	D	S	C,GA
CR	13.0	500	500	6	1,5	60	CV	RB	M	E	F	D	S	C,GA
CR	13.1	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
CR	14.0	350	350	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
DC	1.0	1 200	1 200	0	0	0	-	AO	-	-	M	D	S	C,GA
DC	1.1	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	M	D	S	C,GA
DC	1.2	-	-	8	1,5	60	CV	RB	M	E	M	D	S	C,GA
DC	2.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-	M	D	S	C,GA
DC	3.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
DC	4.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
DC	5.0	1 000	1 000	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA,S
DC	5.1	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
DC	5.2	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
DC	5.3	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
DC	6.0	1 000	1 000	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
DC	7.0	300	300	1	0,5	5	CH	RB	TL	TF	M	D	IS	B
DC	7.1	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	M	D	S	B,C,GA
DC	8.0	1 200	1 200	200	2	5	TA	RS	TL	TF	M	D	IS	B,C
DC	9.0	500	500	60	5	15	TA	RS	M	F	M	D	IS	B,C,GA
DC	10.0	900	900	0	0	0	-	AO	-	-	M	D	S	C,GA
DC	11.0	1 500	1 500	900	5	15	TA	RS	M	F	F	D	IS	B,C
DC	12.0	2 000	2 000	0	0	0	-	AO	-	-				
DC	13.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
DC	14.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
DC	15.0	1 000	1 000	200	2	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
DC	16.0	400	400	100	2	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
DC	17.0	2 500	2 500	600	2	5	TA	RS	TL	TF	F	D	S	B,C,GA
DC	17.1	-	-	100	3	5	CV	RB	TL	F	F	D	IS	C,GA,GR
DC	17.2	-	-	1	0,5	30	CV	RB	TL	F	F	D	S	B,C,GA
DC	18.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
DC	19.0	900	800	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	IS	C,GA
DC	20.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	IS	C,GA,GR
DC	20.1	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
DC	21.0	750	750	400	2	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	B,C,GA
DC	22.0	300	300	150	2	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
DC	23.0	500	500	150	2	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	B,C,GA
DC	23.1	-	-	1	0,5	5	CV	RB	TL	F	F	D	IS	B,C,GA
DC	24.0	650	650	200	2	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
DC	25.0	2 500	2 500	1 500	2	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	B,C,GA
DC	26.0	1 500	1 500	0	0	0	-	AO	-	-				
DC	27.0	1 200	1 200	0	0	0	-	AO	-	-				
DC	28.0	1 000	0											
DC	29.0	3 000	3 000	0	0	0	-	AO	-	-				
DC	30.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
GY	1.0	1 500	0											
GY	2.0	1 700	1 700	0	0	0	-	AO	-	-				
GY	3.0	3 000	0											
GY	4.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
GY	5.0	4 400	2 000	0	0	0	-	AO	-	-				

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
GY	6.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
GY	7.0	1 100	1 100	0	0	0	-	AO	-	-				
GY	8.0	500	500	300	5	60	CH	RS	F	M	M	M	IS	B,C
GY	9.0	350	350	100	5	60	CH	RS	F	M	M	M	IS	B,C
GY	10.0	600	600	1	2	10	CH	RS	TL	TF	M	D	IS	GR,GA
GY	11.0	1 200	0											
GY	12.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	IS	C,GA
GY	12.1	-	-	100	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
GY	13.0	1 200	1 200	5	0,5	5	CV	RB	TL	F	F	D	S	GR,S
GY	13.1	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	IS	?
GY	14.0	1 000	800	400	2	20	TA	RS	L	TF	F	?	?	?
GY	15.0	1 200	1 200	0	0	0								
GY	16.0	1 500	1 500	0	0	0								
GY	17.0	300	300	0	0	0								
GY	18.0	2 000	1 500	30	2	5	TA	RS	TL	TF	F	?	IS	?
GY	19.0	2 000	2 000	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,G,A,S
GY	19.1	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
GY	19.2	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
GY	20.0	3 000	3 000	0	0	0	-	AO	-	-		D	S	C,G,A,S
GY	20.1	-	-	0	0	0	-	AO	-	-		D	S	C,G,A,S
GY	20.2	-	-	0	0	0	-	AO	-	-		D	S	C,G,A,S
GY	21.10	800	800	0	0	0	-	AO	-	-	F	M	S	B,C,GA
GY	21.11	-	-	3	2	30	TA	RS	L	TF	F	M	IS	R,C,GA
GY	21.12	-	-	2,5	2	30	TA	RS	L	TF	F	M	IS	R,C,GA
GY	21.20	1 200	1 200	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,G,A,S
GY	21.21	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
GY	22.0	2 000	2 000	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
GY	22.1	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
GY	23.0	800	800	0	0	0	-	AO	-	-				
GY	24.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
GY	25.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
GY	26.0	1 100	1 100	0	0	0	-	AO	-	-				
GY	27.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
GY	28.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
GY	29.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
GY	30.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	IS	B,C
HH	1.0	1 000	1 000	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	2.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	3.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	4.0	800	800	30	0,5	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
HH	5.0	800	800	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	6.0	400	400	25	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
HH	7.0	1 100	1 100	150	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
HH	8.0	900	900	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	9.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	10.0	600	600	100	1	15	TA	RS	L	TF	F	D	IS	C,GA
HH	11.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	12.0	200	200	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	13.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	13.1	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	14.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	15.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	16.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	17.0	300	0											
HH	18.0	500	0											
HH	19.0	500	0											
HH	20.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	21.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	22.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	23.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	24.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	25.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	26.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	27.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	28.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	29.0	900	900	75	0,5	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
HH	30.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	31.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	31.1	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	32.0	1 000	1 000	3	0,75	15	CV	RB	L	M	F	D	IS	GA,S

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
HH	32.1	-	-	150	3,5	85	CV	RB	F	E	F	D	IS	S,V
HH	33.0	1 200	1 200	100	2	70	CV	RB	M	E	F	D	IS	GR,S
HH	34.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	35.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
HH	36.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	1.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	2.0	500	500	50	2	15	TA	RS	L	TF	F	D	IS	B,C,GA
IN	2.1	-	-	40	2	25	TA	RS	L	TF	F	D	IS	B,C
IN	2.2	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	M	S	R,B
IN	3.0	1 200	1 200	10	1	4	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	B,C,GA
IN	3.1	-	-	20	2	15	TA	RS	L	TF	F	D	IS	B,C
IN	4.0	2 000	1 500	100	0,3	2	TA	RS	TL	TF	M	D	IS	B,C
IN	5.0	1 300	1 300	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	B,C,GA
IN	6.0	1 600	1 600	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	7.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	B,C,GA
IN	8.0	800	800	0	0	0	-	AO	-	-	F	M	S	B,C,GA
IN	9.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	10.0	1 000	1 000	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
IN	10.1	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	IS	C,GA
IN	11.0	1 100	1 100	30	2	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	B,C
IN	12.0	300	0											
IN	13.0	250	0											
IN	14.0	400	0											
IN	15.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	16.0	800	800	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	17.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	18.0	800	0											
IN	19.0	300	0											
IN	20.0	400	0											
IN	21.0	600	0											
IN	22.0	500	0											
IN	23.0	500	0											
IN	24.0	400	0											
IN	25.0	900	900	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	26.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
IN	27.0	250	0											
IN	28.0	150	0											
IN	29.0	800	800	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	30.0	1 100	1 100	125	2	5	TA	RS	TL	TF	F	D	S	C,GA
IN	31.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	IS	GA,S
IN	31.1	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
IN	31.2	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	IS	GA,S
IN	32.0	900	900	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	IS	C,GA
IN	33.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	IS	GA,S,V
IN	33.1	-	-	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	S	C,GA
IN	34.0	1 000	1 000	0	0	0	-	AO	-	-	F	D	IS	C,GA,S
IN	35.0	500	0											
IN	36.0	300	0											
IN	37.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	38.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	39.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	40.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	41.0	1 500	1 500	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	42.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	43.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	44.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	45.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	46.0	700	700	75	2	20	TA	RS	L	TF	F	D	IS	B,C,GA
IN	47.0	800	800	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	48.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	49.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	50.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	51.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	52.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	53.0	800	800	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	54.0	600	600	200	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	B,C,GA
IN	55.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	56.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	56.1	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	57.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
IN	58.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	59.0	1 100	1 100	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	60.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	61.0	600	600	150	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	B,C,GA
IN	62.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	62.1	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	63.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	64.0	350	350	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	65.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	66.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	67.0	900	900	300	1	4	TA	RS	TL	TF	F	D	S	C,GA
IN	68.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	69.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	69.1	600	600	150	3,5	60	CV	RB	F	E	F	D	IS	GA,S
IN	70.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	71.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	72.0	900	900	75	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
IN	73.0	250	250	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	74.0	900	900	0	0	0	-	AO	-	-				
IN	75.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	1.0	700	700	30	8	80	CV	RB	F	E	F	?	?	GR,S
JN	1.1	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	2.0	900	900	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	3.0	800	800	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	4.0	900	900	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	5.0	800	800	120	1,5	15	TA	RS	L	TF	F	D	S,IS	C,GA
JN	5.1	-	-	20	1	5	CV	RB	TL	F	F	D	S	C,GA
JN	6.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	7.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	8.0	1 000	1 000	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	9.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	10.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	11.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	12.0	1 200	1 200	25	2	5	TA	RS	TL	TF	M	D	IS	B,C
JN	12.1	-	-	10	1	5	TA	RS	TL	TF	M	D	IS	B,C

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
JN	13.0	300	300	20	2	5	TA	RS	TL	TF	E	D	IS	R,B
JN	13.1	800	800	0	0	0	-	AO	-	-	M			C,GA
JN	14.0	800	800	50	2	5	TA	RS	TL	TF	M	D	IS	B,C
JN	15.0	800	800	30	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	B,C
JN	16.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	17.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	18.0	750	750	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	19.0	500	0											
JN	20.0	600	0											
JN	21.0	900	900	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	22.0	800	800	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	23.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	24.0	150	150	30	2	4	TA	RS	TL	TF	M	M	IS	B,C,GA
JN	24.1	75	75	60	5	80	CV	RB	F	E	F	D	IS	S,V
JN	25.0	1 000	1 000	0	0	0	-	AO	-	-				
JN	26.0	1 600	1 600	50	1,5	5	TA	RS	TL	TF	M	D	IS	B,C
LN	1.0	1 000	1 000	50	2	30	TA	RS	L	TF	F	D	S	C,GA
LN	1.1	-	-	60	1,5	60	CV	RB	M	E	F	D	S	C,GA
LN	2.0	200	200	70	1,5	60	CV	RB	M	E	F	D	S,IS	C,GA
LN	3.0	300	300	50	1	60	CV	RB	M	E	F	?	?	C,GA
LN	4.0	500	500	50	2	40	CV	RB	L	M	F	D	IS	R,C,GA
LN	4.1	-	-	60	1	20	TA	RS	L	TF	F	D	S	R,C,GA
LN	5.0	400	400	50	1	40	CV	RB	L	M	F	D	IS	C,GA
LN	6.0	900	900	60	2	60	CV	RB	M	E	F	D	S	S,V
LN	6.1	-	-	40	1	40	CV	RB	L	M	F	D	S	C,GA
LN	6.2	-	-	100	2	60	CV	RB	M	E	F	D	S	C,GA
LN	6.3	-	-	20	1	15	CV	RB	L	M	F	D	S	C,GA
LN	7.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	8.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	9.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	10.0	800	800	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	11.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	12.0	900	900	30	2	75	CV	RB	M	E	F	D	IS	R,C,GA
LN	12.1	-	-	40	2	40	CV	RB	L	M	F	D	S	R,C,GA
LN	13.0	300	300	20	4	15	CV	RB	M	E	F	D	S	C,GA

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
LN	13.1	-	-	30	1,5	30	CV	RB	L	M	F	D	IS	C,GA
LN	14.0	1 200	1 200	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	15.0	1 500	1 500	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	16.0	1 100	1 100	100	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	R,B,C
LN	17.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	18.0	800	800	150	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	S	R,B,C
LN	19.0	900	900	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	20.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	21.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	22.0	800	800	30	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	R
LN	23.0	600	600	150	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	S	R
LN	24.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	25.0	350	350	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	26.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	27.0	800	800	80	2	20	TA	RS	L	TF	F	D	IS	C,GA
LN	28.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	29.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	30.0	550	550	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	31.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	32.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	33.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	34.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	35.0	250	250	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	36.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	37.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	38.0	300	300	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	39.0	900	900	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	40.0	600	600	100	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	S	B,C,GA
LN	41.0	500	500	120	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
LN	42.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
LN	43.0	800	800	150	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
LN	44.0	400	400	50	1	4	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
PD	1.0	500	500	30	2	15	TA	RS	L	TF	M	M	S	R
PD	1.1	-	-	10	1	15	CV	RB	L	M	M	M	S	R
PD	2.0	750	0											

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
PD	3.0	800	0											
PD	4.0	500	0											
PD	5.0	500	0											
PD	6.0	400	0											
PD	7.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
PD	8.0	500	500	15	1	5	TA	RS	TL	TF	M	M	S	B,C,GA
PD	8.1	-	-	10	2	15	CV	RB	L	M	M	M	S	B,C,GA
PD	9.0	300	300	150	4	30	TA	RS	M	F	M	M	S	R,B,C
PD	10.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-	M	D	S	C,GA
PD	10.1	-	-	10	4	40	CV	RB	M	E	M	D	S	C,GA
PD	10.2	-	-	150	2,5	15	TA	RS	L	TF	M	D	S	R,C,GA
PD	11.0	750	750	0	0	0	-	AO	-	-				
PD	12.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
PD	13.0	500	500	50	1	5	CV	RB	TL	F	F	D	S	R,B,C
PD	13.1	-	-	50	1,5	5	CV	RB	TL	F	F	D	S	R,B,C
PD	14.0	700	0											
PD	15.0	1 300	0											
PD	16.0	800	0											
PD	17.0	2 000	0											
PD	18.0	500	0											
PM	1.0	500	500	20	2	5	TA	RS	TL	TF	M	D	IS	B,C,GA
PM	2.0	900	900	0	0	0	-	AO	-	-				
PM	3.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
PM	4.0	800	800	0	0	0	-	AO	-	-				
PM	5.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
PM	6.0	1 100	0											
PM	7.0	900	900	20	2	20	TA	RS	L	TF	M	D	S	B,C,GA
PM	8.0	400	400	15	2	20	TA	RS	L	TF	M	D	S	B,C,GA
PM	9.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
PM	10.0	600	0											
PM	11.0	900	0											
PM	12.0	750	0											
PM	13.0	300	300	30	5	30	TA	RS	M	F	M	D	IS	R
PM	14.0	800	800	20	0,75	5	CV	RB	TL	F	M	D	S	R,C,GA
PM	14.1	-	-	15	1	5	TA	RS	TL	TF	M	D	S	R,C,GA

Secteur	Segment	Longueur	Longueur reconnue	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Converture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
PM	14.2	-	-	30	4	30	CV	RB	M	E	M	D	S	R,C,GA
PM	14.3	-	-	25	2	5	TA	RS	TL	TF	M	D	S	R,C,GA
PM	15.0	600	600	30	2,5	15	CV	RB	L	M	M	M	S	R,C,GA
PM	15.1	-	-	25	1,5	5	CV	RB	TL	F	M	M	S	R,C,GA
PM	15.2	-	-	40	1,5	5	CV	RB	TL	F	M	M	S	R,B
PM	15.3	-	-	40	1,5	5	TA	RS	TL	TF	M	M	S	R,B
PM	16.0	2 000	2 000	0	0	0	-	AO	-	-				
PM	17.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
PM	18.0	400	0											
PM	19.0	600	0											
PT	1.0	500	0											
PT	2.0	600	0											
PT	3.0	1 500	0											
PT	4.0	500	0											
PT	5.0	600	0											
PT	6.0	700	0											
PT	7.0	800	0											
PT	8.0	500	0											
PT	9.0	600	0											
PT	10.0	400	400	25	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	B,C,GA
PT	11.0	300	300	20	1	5	TA	RS	TL	TF	F	M	IS	R,C,GA
PT	12.0	350	350	0	0	0	-	AO	-	-				
PT	13.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
PT	14.0	250	250	20	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
PT	15.0	500	500	15	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
PT	16.0	300	300	50	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
PT	17.0	750	750	30	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
PT	18.0	400	400	0	0	0	-	AO	-	-				
PT	19.0	500	0											
PT	20.0	500	500	75	1	20	TA	RS	L	TF	F	D	IS	C,GA
PT	21.0	700	700	20	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
PT	22.0	400	400	20	1	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
PT	23.0	300	300	25	1,5	5	TA	RS	TL	TF	F	D	IS	C,GA
PT	24.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
PT	25.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				

Secteur	Segment	Longueur	Longueur recommé	Longueur mazoutée	Largeur mazoutée	Distribution	Épaisseur	Aspect	Couverture	Degré de mazoutage	Exposition aux vagues	Pente	Zone	Sédiments
PT	26.0	750	750	0	0	0	-	AO	-	-				
SP	1.0	600	600	10	2,5	20	TA	RS	L	TF	M	M	S	R,C,GA
SP	2.0	1 000	1 000	0	0	0	-	AO	-	-				
SP	3.0	700	700	0	0	0	-	AO	-	-				
SP	4.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
SP	5.0	600	600	0	0	0	-	AO	-	-				
SP	6.0	1 400	0											
SP	7.0	1 100	1 100	50	1,5	5	TA	RS	TL	TF	M	D	S	B,C,GA
SP	8.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
SP	9.0	750	0											
SP	10.0	1 800	0											
SP	11.0	800	0											
SP	12.0	1 200	1 200	0	0	0	-	AO	-	-				
SP	13.0	500	500	0	0	0	-	AO	-	-				
SP	14.0	1 200	1 200	0	0	0	-	AO	-	-				
SP	15.0	500	500	100	4	5	TA	RS	L	TF	M	D	IS	B,C,GA

## Paramètres de l'analyse des échantillons de sédiments

La présente annexe décrit les paramètres mesurés pendant l'analyse des échantillons de sédiments. Les données présentées dans les tableaux qui suivent ont été fournies directement par le Centre de technologie environnementale. Les numéros des échantillons sont identiques à ceux utilisés dans le texte du rapport. On ne devrait pas tenir compte de l'échantillon 10, car il n'a pas été prélevé pour le projet mais a été inclus dans le lot d'échantillons envoyés pour analyse.

Les paramètres suivants ont été mesurés pendant l'analyse des échantillons de sédiments :

**MET** (matières extractibles totales) - On peut extraire un large éventail de matières à l'aide d'un mélange de solvants comme l'hexane et le dichlorométhane : les composants du pétrole, tels que les hydrocarbures, ainsi que des éléments polaires, des résines et des asphaltènes. Beaucoup de produits naturels peuvent aussi être extraits.

**HP** (hydrocarbures pétroliers) - Après nettoyage et extraction sur colonne, on combine une partie de chacune des deux fractions pour calculer la quantité d'hydrocarbures pétroliers, qui se divisent en deux catégories. Les composés aliphatiques sont des hydrocarbures à chaîne droite ou ramifiée, dont les plus

petits sont volatils et la plupart sont biodégradables. Les composés aromatiques ont une structure fondée sur un noyau benzénique, et les plus petits d'entre eux sont volatils. Ces derniers composés peuvent avoir une solubilité dans l'eau relativement élevée et ne sont pas très biodégradables; ils sont également les composés les plus toxiques des deux catégories. Les composés polaires, les résines et les asphaltènes ne font pas partie des hydrocarbures pétroliers.

**HP/MET** - Ce rapport donne une indication de l'origine des matières extractibles ou du degré de dégradation d'un hydrocarbure. Les hydrocarbures frais ont un rapport HP/MET élevé, contrairement aux hydrocarbures dégradés et aux matières naturelles. Un mazout lourd apparaît comme un hydrocarbure très dégradé, la plupart des hydrocarbures pétroliers ayant été éliminés lors du traitement.

**HAP** (hydrocarbures aromatiques polycycliques) - Ce sont les composés identifiables dans la fraction aromatique de l'extrait.

**Ts** [18a(H),21b(H)-22,29,30-trisnorhópáne], **Tm** [17a(H),21b(H)-22,29,30-trisnorhópáne], hópánes en C<sub>29</sub> et en C<sub>30</sub>, triterpanes en C<sub>23</sub> et C<sub>24</sub> : ces terpanes sont relativement non dégradables, non volatils et insolubles. Ils peuvent servir de

marqueurs à long terme aux produits pétroliers. Ce modèle de composition est utile pour déterminer si un hydrocarbure est le même qu'un autre.

Un autre indicateur utile de la présence d'un hydrocarbure est le tracé de composition obtenu par CG/DIF (chromatographie gazeuse avec détecteur à ionisation de flamme). Les hydrocarbures frais ont un modèle de distribution très distinct de celui des hydrocarbures aliphatiques, et les matières naturelles ont un modèle également distinct mais différent. Lorsque les hydrocarbures sont altérés, le modèle ressemble de plus en plus à celui des matières naturelles. Le

mazout lourd (type d'hydrocarbure déversé par l'Arrow) ressemble à un hydrocarbure très altéré, car, d'après son tracé, il contient de plus faibles quantités d'alcanes identifiables que les hydrocarbures frais, comparativement aux matières non identifiables. Lorsque du mazout lourd se dégrade dans l'environnement, les alcanes qui restent se dégradent biologiquement, laissant un mélange complexe non séparable qui ressemble beaucoup à des matières naturelles. Afin de permettre des comparaisons, les tracés produits par chromatographie gazeuse ont été numérisés et les échelles ont été ajustées en vue d'une comparaison visuelle.

**Tableau B.1 Résultats de l'analyse des échantillons présumés d'hydrocarbures de l'Arrow par gravimétrie et par chromatographie gazeuse avec détecteur à ionisation de flamme (CG/DIF)**

Échantillon	Matières extractibles totales (MET), en milligrammes par gramme d'échantillon	Hydrocarbures pétroliers (HP), en milligrammes par gramme d'échantillon	Composés aliphatiques dans les HP (%)	Composés aromatiques dans les HP (%)	HP/MET
Mazout de l'Arrow	825	424	56	44	0,51
A	100	33,3	72	28	0,33
2	194	51,0	74	26	0,26
3	124	50,6	72	28	0,41
4	73,0	33,1	60	40	0,45
5	5,20	2,21	51	49	0,43
6	500	229	64	36	0,46
7	76,0	31,6	62	38	0,42
8	295	12,8	64	36	0,43
9	34,6	9,00	42	38	0,26
1	3,02	0,452	73	27	0,15
10	1,00	0,177	50	50	0,18

Tableau B.2 Résultats de l'analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Composé	Concentration, en milligrammes par gramme de matières extractibles totales					
	Mazout de l'Arrow	Échantillon A	Échantillon 1	Échantillon 2	Échantillon 3	Échantillon 4
Naphtalène	1,350	1,119	0,963	0,006	1,610	1,157
2-Méthylnaphtalène	123,650	0,522	0,448	0,312	1,435	0,843
1-Méthylnaphtalène	92,050	0,371	0,274	0,190	1,855	1,091
Biphényle	15,950	2,071	0,528	0,294	1,160	0,554
2,6-Diméthylnaphtalène	145,900	0,619	0,153	0,106	5,050	1,400
Acénaphthalène	2,550	0,138	0,361	0,012	0,155	0,243
Acénaphène	13,300	1,280	N.D.	0,044	0,665	1,157
2,3,5-Triméthylnaphtalène	116,000	14,175	0,110	0,156	18,950	29,716
Fluorène	29,250	3,946	0,085	0,082	5,055	4,437
Phénanthrène	81,100	1,033	0,346	0,222	22,375	1,451
Anthracène	50,000	1,590	0,108	0,058	1,200	2,183
1-Méthylphénanthrène	93,450	2,171	0,270	0,304	78,000	79,282
Fluoranthène	9,300	14,075	0,304	0,702	3,300	4,146
Pyrène	18,350	18,564	0,460	5,926	14,630	13,685
Benzo[b]fluoranthrène et benzo[k]fluoranthrène	14,200	15,575	1,692	6,674	7,630	7,282
Benzo[e]pyrène	18,150	25,171	24,913	12,350	28,135	27,713
Benzo[a]pyrène	8,000	8,554	3,669	2,532	6,345	0,500
Pérylène	7,450	8,373	5,831	3,036	0,075	6,243
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	3,050	1,885	0,927	1,078	0,075	0,211
Dibenz[a,h]anthracène	4,600	5,074	3,976	1,760	1,600	1,320
Benzo[g,h,i]pérylène	5,800	8,854	10,110	3,756	0,265	3,140
<b>HAP totaux</b>	<b>809,050</b>	<b>135,170</b>	<b>55,318</b>	<b>39,600</b>	<b>199,540</b>	<b>187,753</b>
	<b>Récupération des analogues, en pourcentage</b>					
D <sub>10</sub> -Acénaphène	S.O.	39,70	42,68	58,90	57,90	59,80
D <sub>10</sub> -Phénanthrène	S.O.	51,00	54,05	69,78	73,18	62,24
D <sub>12</sub> -Benz[a]anthracène	S.O.	140,00	98,45	134,48	135,00	118,57
D <sub>12</sub> -Pérylène	S.O.	121,70	119,80	103,00	125,13	106,00

N.D. : non détectable; S.O. : sans objet.

**Tableau B.2 Résultats de l'analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**  
(suite)

Composé	Concentration, en milligrammes par gramme de matières extractibles totales					
	Échantillon 5	Échantillon 6	Échantillon 7	Échantillon 8	Échantillon 9	Échantillon 10
Naphtalène	1,872	0,120	0,500	0,122	0,395	4,555
2-Méthylnaphtalène	1,067	12,440	0,377	0,085	0,308	10,800
1-Méthylnaphtalène	2,536	12,040	0,234	0,047	0,186	15,465
Biphényle	0,778	7,440	0,690	0,051	0,643	16,715
2,6-Diméthylnaphtalène	0,441	37,400	0,330	0,015	0,130	14,210
Acénaphthalène	0,142	0,680	0,060	0,003	0,018	4,012
Acénaphène	0,244	2,320	0,263	0,257	0,095	N.D.
2,3,5-Triméthylnaphtalène	6,724	67,880	8,779	0,433	0,088	N.D.
Fluorène	0,320	22,480	0,487	0,025	0,071	N.D.
Phénanthrène	0,760	99,520	0,550	0,008	0,129	5,130
Anthracène	1,433	2,920	0,333	0,062	0,079	N.D.
1-Méthylphénanthrène	5,052	217,680	1,110	0,649	5,961	4,368
Fluoranthène	5,196	5,520	5,606	0,544	0,319	3,122
Pyrène	15,784	18,760	11,959	1,870	9,396	3,777
Benzo[b]fluoranthrène et benzo[k]fluoranthrène	6,648	7,120	10,329	0,763	6,951	3,632
Benzo[e]pyrène	27,312	28,120	16,892	0,049	21,428	6,015
Benzo[a]pyrène	0,786	0,840	4,460	2,548	5,325	6,725
Pérylène	6,036	6,200	4,746	0,648	6,558	3,973
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	1,172	0,360	1,320	0,065	1,598	3,959
Dibenz[a,h]anthracène	0,965	2,640	2,743	0,063	3,945	7,670
Benzo[g,h,i]pérylène	0,400	3,480	4,666	0,570	5,929	15,670
<b>HAP totaux</b>	<b>85,666</b>	<b>555,960</b>	<b>78,539</b>	<b>8,877</b>	<b>69,549</b>	<b>129,797</b>
<b>Récupération des analogues, en pourcentage</b>						
D <sub>10</sub> -Acénaphène	43,65	43,54	59,52	49,06	66,88	73,60
D <sub>10</sub> -Phénanthrène	39,93	51,14	57,55	59,40	60,89	67,85
D <sub>12</sub> -Benz[a]anthracène	77,75	104,80	114,28	122	92,56	84,75
D <sub>12</sub> -Pérylène	62,63	89,42	95,38	108,55	82,81	82,25

N.D. : non détectable; S.O. : sans objet.

**Tableau B.3** Triterpanes et stéranes identifiés dans les échantillons présumés d'hydrocarbures de l'Arrow

TRITERPANES	STÉRANES
<b>1. Triterpanes tricycliques</b>	$C_{20}H_{34}$
$C_{20}H_{36}$	$C_{21}H_{36}$
$C_{21}H_{38}$	$C_{22}H_{38}$
$C_{22}H_{40}$	
$C_{23}H_{42}$	$C_{27}H_{48}$ (20S-aaa)
$C_{24}H_{44}$	$C_{27}H_{48}$ (20R-abb)
$C_{25}H_{46}$	$C_{27}H_{48}$ (20S-abb)
$C_{26}H_{48}$	$C_{27}H_{48}$ (20R-abb)
<b>2. Triterpanes tétracycliques</b>	$C_{28}H_{50}$ (20S-aaa)
$C_{27}H_{48}$ (I)	$C_{28}H_{50}$ (20R-abb)
$C_{27}H_{48}$ (II)	$C_{28}H_{50}$ (20S-abb)
$C_{28}H_{50}$ (I)	$C_{28}H_{50}$ (20R-aaa)
$C_{28}H_{50}$ (II)	
	$C_{29}H_{52}$ (20S-aaa)
<b>3. Triterpanes pentacycliques</b>	$C_{29}H_{52}$ (20R-abb)
$C_{27}H_{46}$ (Ts)	$C_{29}H_{52}$ (20S-abb)
$C_{27}H_{46}$ (Tm)	$C_{29}H_{52}$ (20R-aaa)
$C_{27}H_{46}$ (25-Trisnorhopane)	
$C_{28}H_{48}$ (aab-28,30-Bisnorhopane)	
$C_{28}H_{48}$ (baa-28,30-Bisnorhopane)	
$C_{28}H_{48}$ (25-Bisnorhopane)	
$C_{29}H_{50}$ (ab-30-Norhopane)	
$C_{29}H_{50}$ (ba-30-Norhopane)	
$C_{30}H_{52}$ (ab-Hopane)	
$C_{30}H_{52}$ (ba-Hopane)	
$C_{31}H_{54}$ (22S-ab-30-Homohopane)	
$C_{31}H_{54}$ (22R-ab-30-Homohopane)	
$C_{32}H_{56}$ (22S-ab-30,31-Bishomohopane)	
$C_{32}H_{56}$ (22R-ab-30,31-Bishomohopane)	
$C_{33}H_{58}$ (22S-ab-30,31,32-Trishomohopane)	
$C_{33}H_{58}$ (22R-ab-30,31,32-Trishomohopane)	
$C_{34}H_{60}$ (22S-ab-30,31,32,33-Tétrakishomohopane)	
$C_{34}H_{60}$ (22R-ab-30,31,32,33-Tétrakishomohopane)	
$C_{35}H_{62}$ (22S-ab-30,31,32,33,34-Pentakishomohopane)	
$C_{35}H_{62}$ (22R-ab-30,31,32,33,34-Pentakishomohopane)	

**Tableau B.4 Résultats de l'analyse de certains composés biomarqueurs représentatifs dans les échantillons présumés d'hydrocarbures de l'Arrow par chromatographie gazeuse et spectrométrie de masse (CG/SM)**

Échantillon	Ts/Tm*	C <sub>29</sub> - <i>ab</i> -Hopane		C <sub>30</sub> - <i>ab</i> -Hopane		C <sub>29</sub> / C <sub>30</sub>	C <sub>23</sub> H <sub>42</sub> Triterpane		C <sub>24</sub> H <sub>44</sub> Triterpane		C <sub>23</sub> / C <sub>24</sub>
		µg/g (échantillon)	µg/g (MET)	µg/g (échantillon)	µg/g (MET)		µg/g (échantillon)	µg/g (MET)	µg/g (échantillon)	µg/g (MET)	
Mazout de l'Arrow	0,42	86,5	104,8	90,5	109,7	0,96	225	272,7	105	127,5	2,13
A	0,40	17,1	171,4	20,8	207,8	0,87	27,3	273,0	13,0	129,8	2,09
2	0,40	23,6	121,6	26,4	135,1	0,90	58,6	302,0	28,8	148,5	2,04
3	0,41	18,5	149,2	20,6	165,7	0,90	38,0	306,0	18,1	143,6	2,10
4	0,40	10,7	148,4	11,8	164,3	0,90	24,5	340,0	12,0	166,7	2,04
5	0,39	0,666	128,2	0,75	144,2	0,89	1,79	344,0	0,866	166,7	2,07
6	0,39	75,0	150,0	78,4	156,8	0,96	193	386,2	92,7	185,3	2,08
7	0,42	13,2	173,6	15,6	204,8	0,85	37,5	493,0	18,2	239,0	2,06
8	0,41	4,98	168,8	5,57	188,8	0,89	13,0	440,7	6,15	208,5	2,12
9	0,44	3,54	101,9	4,13	119,2	0,85	13,5	390,8	6,63	191,4	2,04
1	0,45**	0,056 8	18,8	0,069 6	23,1	0,82	0,015 1	5,00	0,024 4	8,08	0,62
10	***	0,025 0	25,0	0,035 0	35,0	0,71	0,050 6	50,6	0,045 6	45,6	1,11

\* Ts : 18*a*(H),21*b*(H)-22,29,30-trisnoméohopane; Tm : 17*a*(H),21*b*(H)-22,29,30-trisnorhopane.

\*\* 0,45 : valeur estimative à partir de la mesure de la hauteur des pics, en raison du faible rapport signal/bruit.

\*\*\* Étant donné la faible teneur de l'échantillon 10 en Ts et en Tm, les concentrations de ces composés et leur rapport ne peuvent être quantifiés de façon précise.

**Tableau B.5 Comparaison de la distribution des *n*-alcanes entre du mazout vieilli de l'Arrow et l'échantillon 6**

<i>n</i> -Alcane	Mazout vieilli de l'Arrow		Échantillon 6		Rapport des <i>n</i> -alcanes des deux échantillons
	µg/g (mazout)	µg/g (MET)	µg/g (mazout)	µg/g (MET)	
<i>n</i> -C <sub>8</sub>	Non détecté	Non détecté	Non détecté	Non détecté	
<i>n</i> -C <sub>9</sub>	48,8	59,2	4,62	9,24	0,156
<i>n</i> -C <sub>10</sub>	122	148	13,6	27,1	0,183
<i>n</i> -C <sub>11</sub>	206	249	28,3	56,6	0,227
<i>n</i> -C <sub>12</sub>	281	341	51,4	103	0,302
<i>n</i> -C <sub>13</sub>	352	426	84,5	169	0,397
<i>n</i> -C <sub>14</sub>	449	544	120	240	0,441
<i>n</i> -C <sub>15</sub>	573	694	149	299	0,431
<i>n</i> -C <sub>16</sub>	705	854	219	440	0,515
<i>n</i> -C <sub>17</sub>	842	1 020	280	560	0,549
Pristane	507	615	205	409	0,665
<i>n</i> -C <sub>18</sub>	861	1 044	273	547	0,524
Phytane	584	708	273	546	0,771
<i>n</i> -C <sub>19</sub>	913	1 107	284	567	0,512
<i>n</i> -C <sub>20</sub>	992	1 202	301	603	0,502
<i>n</i> -C <sub>21</sub>	1 068	1 295	322	643	0,587
<i>n</i> -C <sub>22</sub>	1 197	1 451	341	682	0,470
<i>n</i> -C <sub>23</sub>	1 089	1 320	334	669	0,507
<i>n</i> -C <sub>24</sub>	1 078	1 307	336	672	0,514
<i>n</i> -C <sub>25</sub>	930	1 127	309	617	0,547
<i>n</i> -C <sub>26</sub>	855	1 036	299	598	0,577
<i>n</i> -C <sub>27</sub>	818	991	290	581	0,586
<i>n</i> -C <sub>28</sub>	756	917	276	552	0,602
<i>n</i> -C <sub>29</sub>	698	846	248	495	0,585
<i>n</i> -C <sub>30</sub>	623	755	214	428	0,567
<i>n</i> -C <sub>31</sub>	497	602	187	374	0,621
<i>n</i> -C <sub>32</sub>	418	506	160	320	0,630
<i>n</i> -C <sub>33</sub>	295	358	132	265	0,740
<i>n</i> -C <sub>34</sub>	244	296	111	222	0,750
<i>n</i> -C <sub>35</sub>	128	155	75,9	152	0,980
<i>n</i> -C <sub>36</sub>	93,0	113	53,2	106	0,938

**Tableau B.5** Comparaison de la distribution des *n*-alcane entre du mazout vieilli de l'Arrow et l'échantillon 6 (suite)

<i>n</i> -Alcane	Mazout vieilli de l'Arrow		Échantillon 6		Rapport des <i>n</i> -alcane des deux échantillons
	µg/g (mazout)	µg/g (MET)	µg/g (mazout)	µg/g (MET)	
<i>n</i> -C <sub>37</sub>	81,8	99,2	45,8	91,5	0,922
<i>n</i> -C <sub>38</sub>	71,4	86,5	32,9	65,9	0,762
<i>n</i> -C <sub>39</sub>	62,6	75,9	24,0	48,1	0,634
<i>n</i> -C <sub>40</sub>	45,5	55,1	21,1	42,2	0,764
<b>Total</b>	<b>18 484</b>	<b>22 403</b>	<b>6 098</b>	<b>12 200</b>	
Pristane / phytane		0,87		0,75	
$\frac{(C_{10} + C_{12} + C_{14})}{(C_{22} + C_{24} + C_{26})}$		0,272 3		0,189 6	
$\frac{(C_{10} + C_{12} + C_{14} + C_{16})}{(C_{22} + C_{24} + C_{26} + C_{28})}$		0,400 7		0,322 7	

## Photographies



- 1** Partie est de l'île Rabbit. Reste d'un revêtement bitumineux dans la zone intertidale supérieure, près de l'emplacement où l'on a prélevé l'échantillon 9 (cf. figure 6) (11 septembre 1992).



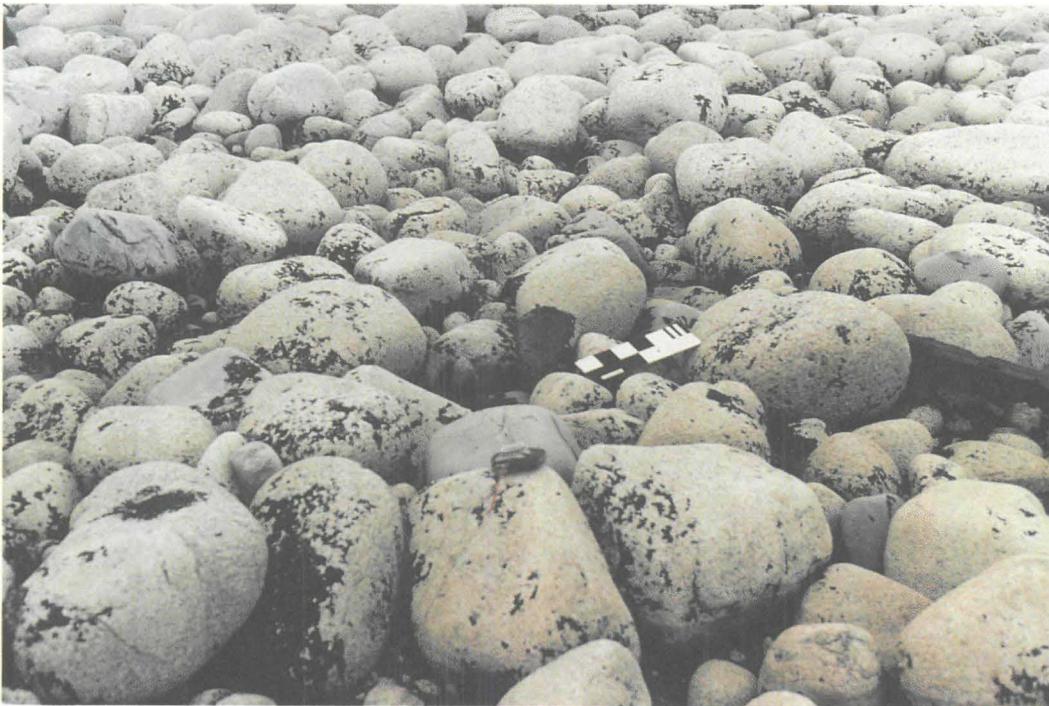
- 2** Partie est de l'île Rabbit. Reste d'un revêtement bitumineux dans la partie inférieure de la zone intertidale supérieure, près de l'emplacement où l'on a prélevé l'échantillon 8 (cf. figure 6). Les hydrocarbures de surface semblent frais, mais l'analyse de l'échantillon a indiqué qu'ils étaient composés d'un mélange complexe très altéré, non séparable.



- 3** Flèche Black Duck. Emplacement, dans la section supérieure de l'estran, du puits où l'on a prélevé l'échantillon 1 (cf. figure 7) (9 septembre 1992). Des hydrocarbures résiduels ont été trouvés sous une couche de surface propre. Les carrés de l'échelle de la photographie ont 5 cm de côté.



- 4** Flèche Black Duck. Revêtement bitumineux résiduel dans la zone intertidale supérieure de la flèche, du côté de la lagune, dans lequel on a prélevé l'échantillon 4 (cf. figure 8) (9 septembre 1992).



**5** Flèche Black Duck. Vue latérale à angle faible. L'échantillon 6 (cf. figure 8) a été prélevé dans le puits situé à gauche de l'échelle de la photographie, dont les carrés ont 5 cm de côté (9 septembre 1992).



**6** Flèche Black Duck. Gros plan du puits dans lequel on a prélevé l'échantillon 6 (cf. figure 8) (9 septembre 1992). Les carrés de l'échelle de la photographie ont 5 cm de côté.



**7** Lagune Black Duck. Vue en direction du nord-est vers la zone à l'étude, dans la zone intertidale supérieure (cf. figure 9) (9 septembre 1992).



**8** Lagune Black Duck. Vue en direction du sud-ouest au profil 7 (cf. figure 4), dans la zone intertidale supérieure (9 septembre 1992).



**9** Arichat Harbour. Gros plan de sédiments dans la zone intertidale supérieure. Les flèches indiquent deux «boulettes de bitume» (13 septembre 1992).



**10** Arichat Harbour. Gros plan de deux «boulettes de bitume». L'échelle de la photographie a une longueur totale de 30 cm (13 septembre 1992).