

Rapport Technique RT-103

**Modélisations d'un déversement de
pétrole survenant au port de Montréal
dans le but d'établir les stratégies de
déploiement des équipements
d'effarouchement des oiseaux**

Elisabeth Marceau et Jean-François Cantin

Juillet 2000

Pour fins de citation :

Marceau, E. et J.-F. Cantin (2000). Modélisations d'un déversement de pétrole survenant au port de Montréal dans le but d'établir les stratégies de déploiement des équipements d'effarouchement des oiseaux. Rapport technique SMC Québec – Section Hydrologie RT-103, Environnement Canada, Sainte-Foy. 26 pages.

ÉQUIPE DE RECHERCHE

Environnement Canada

Service météorologique du Canada - Hydrologie

Conception et rédaction

Elisabeth Marceau

Supervision

Jean-François Cantin

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1
2.	MÉTHODOLOGIE.....	3
2.1	DESCRIPTION DES MODÈLES	3
2.2	ÉVÉNEMENTS DE RÉFÉRENCE	4
2.3	AUTRES PARAMÈTRES INITIAUX DE MODÉLISATION	6
3.	RÉSULTATS	10
3.1	PARAMÈTRES DÉCISIONNELS.....	11
3.1.1	<i>Événement de référence 1</i>	11
3.1.2	<i>Événement de référence 2</i>	14
3.1.3	<i>Résumé et discussion</i>	15
3.2	AUTRES PARAMÈTRES MODÉLISÉS PAR POSM.....	16
3.2.1	<i>Événement de référence 1</i>	17
3.2.2	<i>Événement de référence 2</i>	20
3.2.3	<i>Résumé et discussion</i>	23
4.	CONCLUSION	25
5.	BIBLIOGRAPHIE	26

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 :	Tronçon du fleuve situé entre Cornwall et Trois-Rivières correspondant au domaine de modélisation.	2
Figure 2.1 :	Localisation du lieu de déversement au nord-ouest de l'île Verte.	9
Figure 3.1 :	Résultats de la modélisation pour l'Événement 1 après un peu moins de 18 heures de simulation : longueur maximale de berges souillées.	12
Figure 3.2 :	Résultats de la modélisation pour l'Événement 1 après 4 heures de simulation : étendue de nappe maximale.	13
Figure 3.3 :	Résultats de la modélisation pour l'événement 2 après un peu plus de 48 heures de modélisation : longueur maximale de berges souillées.	14
Figure 3.4 :	Résultats de la modélisation pour l'événement 2 après 48 heures de simulation : étendue de nappe maximale.	15
Figure 3.5 :	Évolution de la fraction volumique restante : Événement 1_a, essence.	18
Figure 3.6 :	Évolution de l'épaisseur des particules : Événement 1_a, essence.	18
Figure 3.7 :	Évolution de la fraction volumique restante : Événement 1_b, pétrole brut lourd.	19
Figure 3.8 :	Évolution de l'épaisseur des particules : Événement 1_b, pétrole brut lourd.	19
Figure 3.9 :	Évolution de la fraction volumique restante : Événement 2_a, essence.	21
Figure 3.10 :	Évolution de l'épaisseur des particules : Événement 2_a, essence.	21
Figure 3.11 :	Évolution de la fraction volumique restante : Événement 2_b, pétrole brut lourd.	22
Figure 3.12 :	Évolution de l'épaisseur des particules : Événement 2_b, pétrole brut lourd.	22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 :	Définition des événements de référence pour la modélisation.	5
Tableau 2.2 :	Classes de débit à Lasalle correspondant à des simulations HYDROSIM.....	6
Tableau 2.3 :	Caractéristiques des polluants utilisés dans les modélisations.*	7
Tableau 3.1 :	Description sommaire des quatre modélisations.	10
Tableau 3.2 :	Valeurs des paramètres décisionnels calculées à partir des résultats de POSM.....	16
Tableau 3.3 :	Valeurs des paramètres fraction volumique restante et épaisseur des particules telles que modélisées par POSM.*	23

PRÉAMBULE

Le Service canadien de la faune (SCF) a dans son mandat l'objectif de protéger les communautés fauniques du fleuve Saint-Laurent. Lorsque survient un déversement de pétrole sur le fleuve, les communautés atteintes par la nappe, généralement des oiseaux, sont toujours grandement affectées par les caractères persistant et toxique du pétrole.

Une des façons de protéger les oiseaux lors d'un déversement de pétrole consiste à faire fuir ceux qui sont en situation de danger en déployant des équipements d'effarouchement tels des canons au propane et des bouées effarouchantes.

La logistique relative à ces équipements peut être optimisée à l'avance, grâce à la modélisation d'un déversement de pétrole. Afin de déterminer le nombre requis et la distribution géographique des canons et des bouées le long du Saint-Laurent, il faut connaître *a priori* les zones touchées par le pétrole lors du déversement, ainsi que la longueur maximale de berges souillées et la couverture maximale de nappe. De cette façon, lors d'un déversement réel, le temps de réponse des équipes d'urgence du SCF peut être réduit, car les équipements nécessaires pour l'effarouchement seront déjà en place.

Le présent rapport couvre la partie fluviale du fleuve Saint-Laurent, c'est-à-dire entre Cornwall et Trois-Rivières, et se base sur un déversement qui aurait lieu au port de Montréal. Il existe une version complémentaire de ce rapport qui couvre les parties estuarienne et marine du fleuve, donc en aval de Trois-Rivières, et se base sur des déversements qui auraient lieu respectivement à Québec et Sept-Îles. Cette partie de l'analyse a été réalisée par le ministère des Pêches et Océans (MPO) (Plourde *et al.*, 2000).

1. Introduction

Le fleuve Saint-Laurent est un système complexe, composé de plusieurs îles, îlots, bas-fonds, canaux, écluses, revoirs, barrages, etc. De plus, son écosystème est peuplé de plusieurs centaines d'espèces de plantes, poissons, mammifères, oiseaux, crustacés, etc., qui font du fleuve un endroit fragile devant être protégé et valorisé. Parallèlement, le Saint-Laurent est aussi la porte d'entrée d'un commerce international dense qui amène chaque année plus de 20 000 navires de transport. Certains de ces navires transportent des produits dérivés du pétrole, ce qui fait en sorte que le fleuve Saint-Laurent est loin d'être à l'abri des déversements de pétrole. Chaque année, quelque 30 déversements de pétrole surviennent sur le fleuve Saint-Laurent avec en moyenne près de 1 300 litres de polluant par déversement. Cependant, tout incident, si minime soit-il, revêt une importance particulière quand on songe à la fois à la richesse et à la fragilité de son écosystème.

En 1996, le Service météorologique du Canada (SMC) s'est vu confiée, par la Direction de la Protection de l'Environnement (DPE) d'Environnement Canada (EC), la mission de modéliser le transport des produits dérivés du pétrole en cas d'un déversement survenant sur le tronçon situé entre Cornwall et Trois-Rivières (**Figure 1.1**). À cette époque, la division Hydrologie avait déjà réalisé un travail de longue haleine en implantant un modèle hydrodynamique bi-dimensionnel très sophistiqué sur ce tronçon du Saint-Laurent. Depuis 1998, le SMC répond aux urgences en matière de déversement, en fournissant à la DPE et aux autres intervenants une description détaillée de la trajectoire et des caractéristiques du polluant déversé, et ce, sur une période allant de quelques heures à quelques jours. Les résultats de la modélisation sont utilisés directement par les intervenants sur le terrain, afin de définir les actions de récupération prioritaires dans le but de protéger les ressources socio-écologiques du Saint-Laurent.

Le Service canadien de la faune (SCF) a mandaté le SMC pour modéliser les conséquences d'un déversement survenant au port de Montréal. Un déversement majeur à cet endroit de la Voie maritime du Saint-Laurent est de plus en plus probable, compte tenu du grand nombre de navires qui y transitent chaque jour. Les îles et les berges situées en aval du port de Montréal ainsi que le lac Saint-Pierre sont peuplées de communautés animales et végétales devant être protégées, et le

mandat du SCF en matière d'urgence suite à un déversement se traduit principalement par le déploiement de divers équipements d'effarouchement des canards et autres oiseaux situés à proximité de la nappe, que ce soit près des berges ou davantage au large. Le déploiement de ces équipements tiendra compte de la trajectoire de la nappe en termes de **longueur maximale de berges souillées par le polluant** et de **surface maximale de couverture de la nappe** (Lehoux 2000, Comm. pers.).

L'objectif de ce rapport est donc de fournir au SCF une expertise quant à un éventuel déversement survenant au port de Montréal, en interprétant les résultats de modélisation de façon à répondre aux préoccupations propres du SCF.

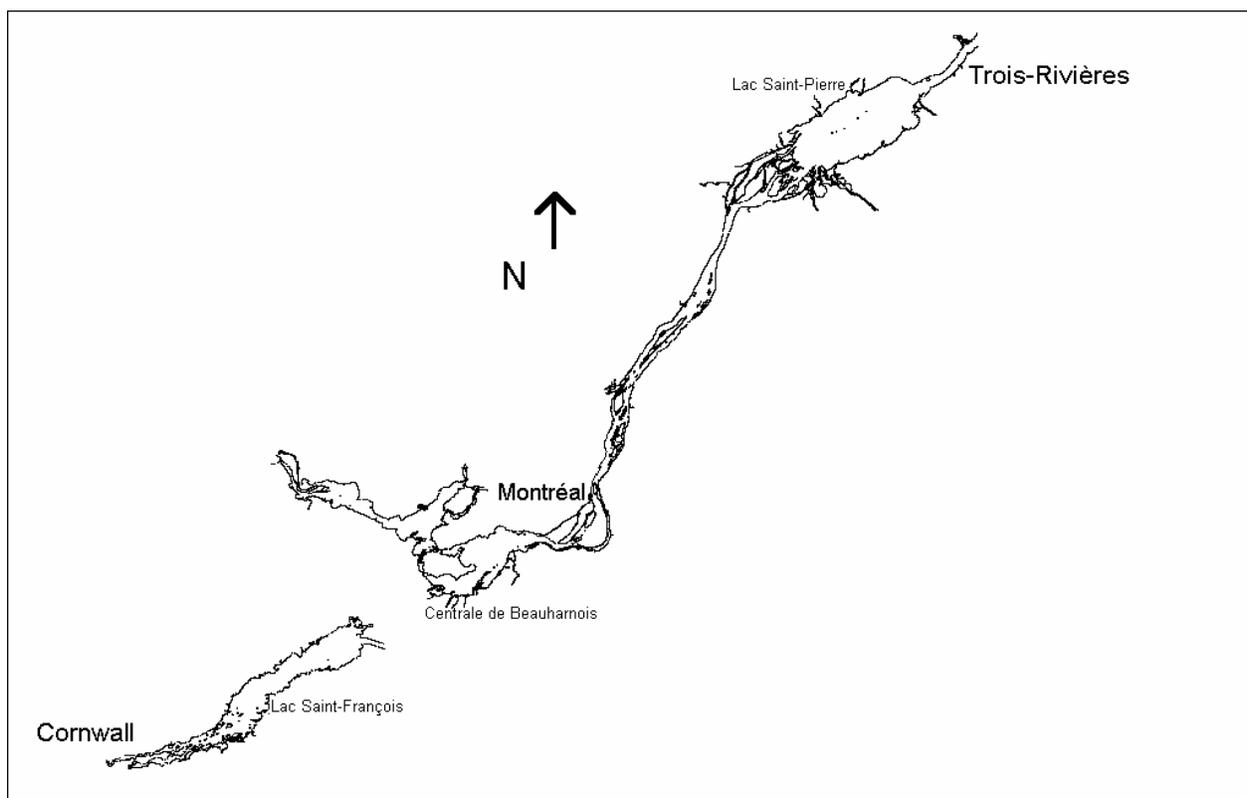


Figure 1.1 : Tronçon du fleuve situé entre Cornwall et Trois-Rivières correspondant au domaine de modélisation.

2. Méthodologie

2.1 Description des modèles

Le **modèle hydrodynamique** bi-dimensionnel utilisé sur le tronçon Cornwall-Trois-Rivières, appelé HYDROSIM, a été développé à l'INRS-Eau (Roy, Secretan *et al.*, 1999), et est appliqué au tronçon Cornwall-Trois-Rivières par le SMC depuis plusieurs années déjà (**Figure 1.1**). Ce modèle est constitué à la base par un maillage couvrant tout le domaine de simulation, et sur lequel les paramètres *vitesse* et *niveau d'eau* sont résolus par la méthode des éléments finis. Les principales données requises pour l'exploitation du modèle sont la topométrie du domaine, les coefficients de frottement ainsi que les conditions aux limites en amont et en aval du domaine. Ce travail de longue haleine a exigé plusieurs années de travail aux spécialistes de l'INRS-Eau et au SMC, et les résultats obtenus sont uniques. Il n'existe en effet aucune autre méthode pour évaluer de façon aussi raffinée et précise les conditions hydrodynamiques du Saint-Laurent, et ce, pour différents scénarios d'apports hydrologiques. Une description davantage détaillée de ce modèle n'est pas pertinente à présenter dans cet ouvrage, compte tenu des objectifs qu'il poursuit.

Le **modèle de transport de pétrole** utilisé, appelé *Parcel Oil Spill Model* (POSM) a été développé par le Centre national de recherche du Canada (CNRC) sur mandat du SMC (Serrer *et al.* 1996 ; Serrer *et al.* 1998). La plupart des équations appliquées dans le code du CNRC ont été tirées de Cantin 1992. Le modèle, de type Lagrangien, est parti intégrante d'une plate-forme de modélisation appelée HYDA, d'où peuvent être exécutés plusieurs modèles distincts. Pour tous ces modèles, HYDA permet entre autres de définir les paramètres de modélisation, de lancer la simulation, de visualiser les résultats, et dans une certaine mesure, de les interpréter. Les divers phénomènes pris en compte dans le transport du pétrole sont l'advection du polluant par les courants et le vent, la dispersion turbulente par les courants, l'étalement de la nappe ainsi que l'évaporation. Le type et la quantité du polluant déversé ainsi que la durée du déversement sont aussi pris en compte.

Les courants et les vents revêtent une importance particulière dans la modélisation du transport de pétrole, vu l'échelle à laquelle leur influence peut être observée. Les courants de surface qui alimentent POSM sont estimés *a priori* à partir des résultats de HYDROSIM, et les prévisions de

la vitesse et de la direction des vents proviennent du Modèle de circulation générale (GEM) du SMC. Différentes conditions de courant et vent détermineront des événements ou scénarios distincts, pour lesquels les trajectoires de pétrole risqueront d'être divergentes. La problématique posée ici et l'interprétation qui en sera faite dépendent grandement du scénario qui sera choisi pour la modélisation. Pour cette raison, il est important de définir des événements de référence appropriés.

2.2 Événements de référence

Un événement ou un scénario de référence, au sens de la modélisation, est défini par des conditions ou des paramètres particuliers qui rendront la modélisation représentative d'une situation spécifique. Par exemple, en utilisant des conditions de courant maximales et des vents extrêmes pour effectuer une simulation de transport de pétrole, on obtiendra des résultats de simulation représentatifs des cas de débits extrêmes et de vents frôlant la tempête. De façon alternative, en utilisant des conditions moyennes de courant et vent, on risque d'obtenir des résultats davantage probables. La « probabilité » d'observer telle ou telle trajectoire de nappe modélisée est directement reliée à la probabilité de réalisation des conditions qui ont été utilisées.

Rappelons que la problématique qui nous intéresse présentement est de modéliser le transport du pétrole dans les buts d'identifier les zones potentiellement affectées et d'évaluer la longueur maximale de berge souillée par le polluant et la surface maximale de couverture de la nappe. Les décisions qui seront prises quant au déploiement des équipements d'effarouchement seront basées sur deux scénarios : 1) le scénario le plus probable et 2) le scénario le plus dramatique.

Il est aisé de comprendre que l'événement le plus probable de se réaliser sera défini par des conditions moyennes de vent et courant. Le scénario le plus dramatique pour sa part sera celui occasionnant à la fois une longueur de berge souillée la plus élevée ainsi qu'une nappe de pétrole la plus étendue. Ce deuxième événement de référence correspond à des conditions de courant extrêmes et à un vent nul. Nous verrons en effet que le vent a pour conséquence de dévier le pétrole et de le fixer aux berges plus rapidement selon son intensité et sa direction ; à l'inverse, l'absence de vent favorise un parcours de polluant plus long dans le temps, augmentant ainsi la surface de la nappe et l'étendue des berges potentiellement souillées. Le **Tableau 2.1** résume les deux scénarios choisis pour modéliser le transport d'un polluant pour le SCF.

Tableau 2.1 : Définition des événements de référence pour la modélisation.

	<i>Événement 1 :</i> <i>Scénario le plus probable</i>	<i>Événement 2 :</i> <i>scénario le plus dramatique</i>
Courant	Moyen	Extrême
Vent	Moyen	Nul

Dans le but de modéliser le transport du pétrole avec POSM, les **courants** ont été définis en six classes différentes, chaque classe étant associée à un résultat hydrodynamique provenant d'HYDROSIM. Les classes de courant ont été déterminées en fonction du débit observé à la station hydrométrique de Lasalle (# PQ-02OA016). Le **Tableau 2.2** contient la description des classes de débit à Lasalle. Le courant moyen (événement 1) correspond au scénario III ou IV, alors que le courant extrême (événement 2) correspond au scénario VI. L'intensité et la direction du courant doivent être fournis à POSM sous forme de fichier ASCII ; les fichiers correspondant à chacun des six scénarios ont été créés *a priori* à partir des résultats du modèle HYDROSIM.

Cependant, comme nous le verrons plus tard à la section 3, on a remarqué que les particules de pétrole voyageaient plus rapidement avec des courants provenant du scénario III plutôt qu'avec le scénario VI lorsqu'elles atteignaient le lac Saint-Pierre. Cette observation peut être due à la morphologie particulière du lac Saint-Pierre ; en effet, à cet endroit le chenal est étroit (≈ 250 m) et profond (≈ 11 mètres) alors que le reste du lac (≈ 12 km) est très peu profond (une moyenne d'environ 4 m). Cette caractéristique a pour effet de concentrer les courants dans le chenal. Lors d'un événement correspondant au scénario VI cependant, les eaux se distribuent généreusement de part et d'autre du chenal, augmentant ainsi la surface mouillée et diminuant les vitesses moyennes d'écoulement.

Cette observation conduit à l'utilisation du scénario III pour représenter l'événement extrême, qui représente, pour notre analyse, le scénario le plus contraignant en termes de dispersion du pétrole. L'événement le plus dramatique est donc associé, tout comme l'événement moyen, à des conditions hydrodynamiques moyennes, la différence entre les deux événements de référence se situant au niveau du vent.

Tableau 2.2 : Classes de débit à Lasalle correspondant à des simulations HYDROSIM.

<i>Id. du scénario</i>	<i>Classe de débit à Lasalle ($Q_{Lasalle}$)</i>
I	$Q_{Lasalle} \leq 6739 \text{ m}^3/\text{s}$
II	$6739 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{Lasalle} \leq 7509 \text{ m}^3/\text{s}$
III	$7509 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{Lasalle} \leq 8440 \text{ m}^3/\text{s}$
IV	$8440 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{Lasalle} \leq 9500 \text{ m}^3/\text{s}$
V	$9500 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{Lasalle} \leq 10\,597 \text{ m}^3/\text{s}$
VI	$10597 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{Lasalle}$

L'étude (Morin et Bouchard, 2000) présente une analyse de la rose des **vents** à la station de Saint-Hubert, située sur la rive sud de Montréal. Nous avons basé notre choix de vent sur cette analyse, et dans le cadre de la présente étude, nous avons utilisé un vent moyen d'Automne ayant une intensité de 10 km/h et provenant généralement du sud-ouest, plus précisément 235°. Ces valeurs constituent le vent utilisé pour définir l'événement 1. Le vent de l'événement 2 est nul comme nous l'avons mentionné auparavant.

2.3 Autres paramètres initiaux de modélisation

D'autres paramètres que les conditions de courant et vent sont nécessaires *a priori* pour modéliser le transport du pétrole. Les plus importants sont la quantité et la durée du déversement, le type de pétrole, le type de berges, le lieu du déversement, la durée de la modélisation et le nombre de particules.

Les données sur **la quantité et la durée du déversement** qui ont été utilisées dans les modélisations correspondent à celles d'un cas réel, soit celui du pétrolier polonais Czantoria, qui a heurté le quai Ultramar à Lévis, vis-à-vis Québec, le 8 mai 1988. Au cours de ce déversement, 400 tonnes d'huile brut légère (Rodrigue et Desgranges, 1990) se sont déversées en 50 minutes (Plourde *et al.*, 2000). Ce poids correspond à un débit d'environ 160 l/s en considérant que la

densité d'un pétrole brut léger est de 0.832 g/ml (Environnement Canada, 1996). Pour toutes les modélisations présentées dans ce rapport, nous avons donc utilisé un débit de déversement de 160 l/s ayant une durée de 50 minutes.

Nous avons utilisé deux **types de produit pétrolier** dans les modélisations : 1) un pétrole brut lourd et 2) de l'essence. De tous les dérivés du pétrole susceptibles d'être transportés par navire sur le Saint-Laurent, nous avons choisi les deux polluants dont les densités et les caractéristiques d'évaporation sont les plus opposées afin que notre analyse couvre un large spectre de déversements. Le **Tableau 2.3** contient les caractéristiques des polluants qui sont utilisées par le modèle POSM.

Tableau 2.3 : Caractéristiques des polluants utilisés dans les modélisations.*

<i>Caractéristique du polluant</i>	<i>Pétrole brut lourd</i>	<i>Essence</i>
Densité (g/ml)	0.974	0.710
Température initiale d'ébullition (°K)	1029	603
Gradient de la courbe de distillation (°K)	532	317
Tension de surface en eau douce (mN/m)	0.034	0.050

* Source : Environnement Canada, 1996.

Le **type de berges** influe sur la rétention du pétrole aux berges. En effet, une berge constituée de sable retient différemment le pétrole qu'une berge constituée de graviers, et également, le volume absorbé par la berge sera différent selon le type de polluant déversé. Parallèlement, on doit définir un indice de « persistance aux berges » qui tient compte aussi de la capacité tampon de cette dernière, car la capacité de rétention de la berge diminue en fonction du volume de pétrole qui est déjà retenu. En d'autres mots, on peut dire que la capacité de rétention d'un segment de berge n'est pas constante dans le temps et l'espace. La détermination de l'indice de persistance est une tâche très complexe, vu la grande variété de berges dans le Saint-Laurent et celle aussi des types de polluants pouvant être déversés. Des travaux pour ce faire sont présentement en

cours à la DPE et au SMC.

De plus, un modèle de persistance aux berges doit être calibré et validé, ce qui n'est pas évident à réaliser car il faudrait théoriquement déverser volontairement un polluant puis observer son comportement aux berges. La méthode de calibration/validation du modèle de persistance des berges demeure la plus réaliste sans aucun doute l'observation et le monitoring rigoureux des paramètres lors des déversements qui surviennent de façon involontaire, permettant ainsi de tirer profit de ces malencontreux accidents.

Pour les besoins de l'étude présente, nous nous limiterons à inclure aux berges une rétention totale (Probabilité = 1) constante pour la durée de la simulation. Ceci permettra de reconnaître d'un seul coup d'œil tous les segments où le polluant est entré en contact avec la berge. Notons qu'une fois la particule de pétrole retenue à la berge, elle y demeure jusqu'à la toute fin de la simulation. Un algorithme de relargage des particules est présentement à l'étude, et sera incorporé dans la prochaine version du modèle de transport de pétrole.

Le **lieu du déversement** est défini par ses coordonnées. Ce dernier se situe près des quais du port de Montréal, plus précisément au nord-ouest de l'île Verte, où de nombreux pétroliers accostent de façon régulière. La **Figure 2.1** montre le lieu exact du déversement modélisé. Les coordonnées du lieu de déversement dans la projection MTM zone 8 sont $X = 304015.0$ m et $Y = 5047912.0$ m.

La **durée de la modélisation** a été définie en fonction du domaine de simulation. Celui-ci se termine en aval vis-à-vis Trois-Rivières, ce qui nous force à simuler au maximum deux (2) jours de transport des particules. Cette durée a été déterminée à l'aide d'une première modélisation de 5 jours, où l'on a remarqué qu'au bout de deux jours, les particules les plus rapides avaient rejoint la limite aval du domaine.

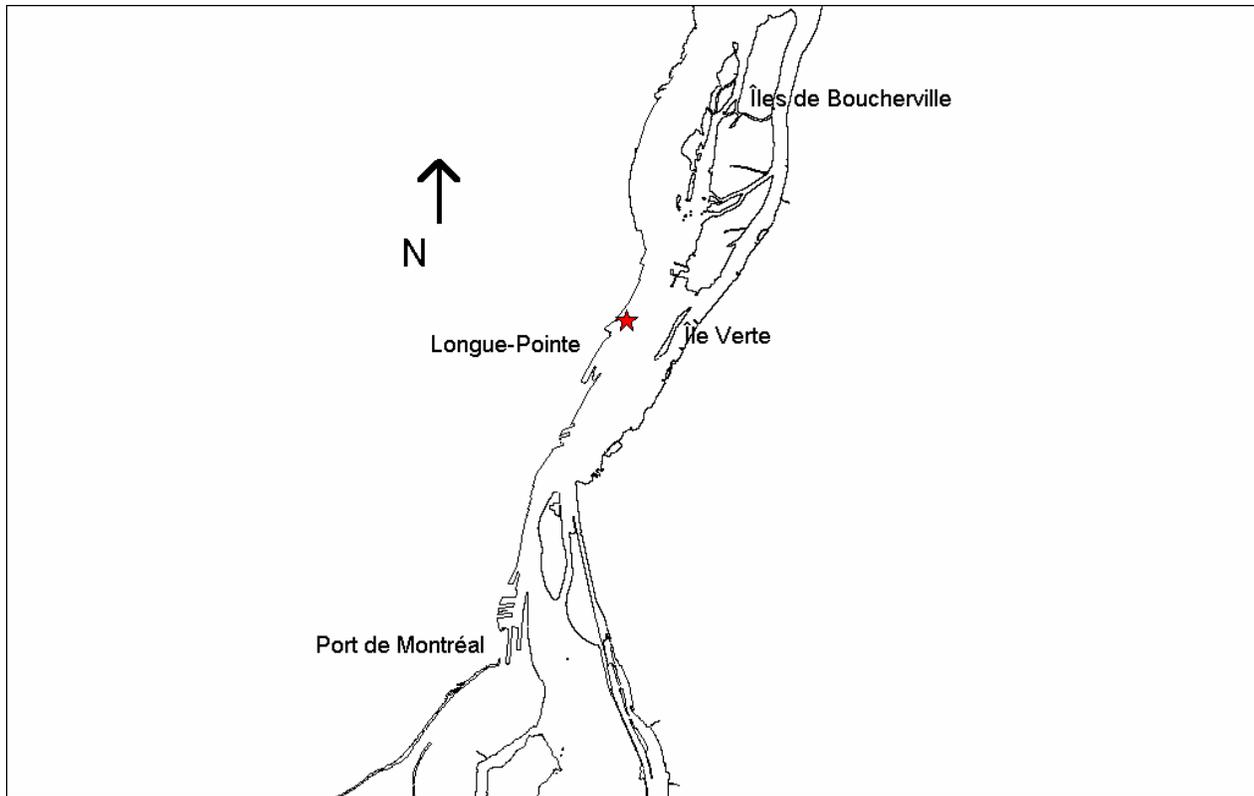


Figure 2.1 : Localisation du lieu de déversement au nord-ouest de l'île Verte.

Le **nombre de particules** de pétrole dont le transport sera simulé est défini indirectement par le volume d'une particule. Dans notre cas, nous avons utilisé des particules de 500 litres, ce qui porte le nombre de particules à 961. Ce choix est basé sur plusieurs facteurs : 1) compte tenu que plusieurs particules seront retenues aux berges, il faut modéliser un nombre assez grand de particules pour que certaines d'entre elles continuent d'être entraînées sous forme de nappe le plus longtemps possible ; 2) de plus, un trop grand nombre de particules ralentit la modélisation et alourdit le traitement des résultats. Ce nombre de particules, 961, est un bon compromis entre les deux facteurs : il permet de conserver un grand nombre de particules en mouvement même après 48 heures et n'alourdit pas inutilement la charge de calculs. Sans entrer davantage dans les détails, ce nombre de particules nous apparaît comme approprié et il sera le même pour toutes les modélisations qui seront présentées dans cet ouvrage.

3. Résultats

Selon les informations qui furent présentées dans les sections précédentes, on note que quatre modélisations différentes ont été effectuées pour analyser l'impact d'un déversement au port de Montréal. Le **Tableau 3.1** présente brièvement ces modélisations. Tous les autres paramètres que ceux indiqués dans ce tableau sont demeurés constants pour les quatre modélisations.

Dans la version actuelle du modèle de transport de polluant, le type de polluant n'a pas d'influence marquée sur la position des particules, ce qui fait que les paramètres décisionnels longueur maximale de berges souillées et étendue maximale de nappe seront les mêmes pour les deux types de polluant. En pratique cependant, le type de polluant a une influence sur son transport (via son évaporation et sa viscosité), et cette particularité sera prise en compte dans la version subséquente du modèle.

Tableau 3.1 : Description sommaire des quatre modélisations.

<i>Vent</i>	<i>Courant</i>	<i>Type de pétrole</i>	<i>Identification de la modélisation</i>
Vent moyen d'automne	Scénario HYDROSIM III	Essence	1_a
Vent moyen d'automne	Scénario HYDROSIM III	Pétrole brut lourd	1_b
Vent nul	Scénario HYDROSIM III	Essence	2_a
Vent nul	Scénario HYDROSIM III	Pétrole brut lourd	2_b

Rappelons que les modélisations 1_X représentent le scénario le plus probable (événement de référence 1), alors que les modélisations 2_X représentent le scénario le plus dramatique (événement de référence 2).

Avec la plate-forme HYDA, il est possible de créer des animations de la modélisation et ainsi d'apercevoir le déplacement des particules en évolution dans le temps. Pour chaque événement est fourni un fichier en format .mpg qui pourra être visualisé avec un outil de QuickTime usuel. Les fichiers .mpg joints avec ce rapport sont respectivement Evenement_1.mpg et Evenement_2.mpg.

3.1 Paramètres décisionnels

Les paramètres **zones affectées**, **longueur maximale de berges souillées** et **étendue maximale de nappe** sont à la base des décisions qui seront prises quant au déploiement des dépôts d'équipements d'effarouchement.

3.1.1 Événement de référence 1

L'animation (*Evenement_1.mpg*) montre que les particules se fixent toutes aux berges en moins de 18 heures, et qu'elles ne s'éloignent pas beaucoup du lieu de déversement. Également, on peut brièvement apercevoir que la nappe atteint une surface maximale après 4 heures environ. Les **Figure 3.2** et **Figure 3.1** montrent les résultats de modélisation de l'Événement 1 de façon statique et présentent aussi les paramètres étendue de nappe maximale et longueur maximale de berges souillées. Les valeurs obtenues ont été calculées avec divers outils du logiciel MapInfo ; elles sont respectivement de **5.2 km²** et **55.0 km**.

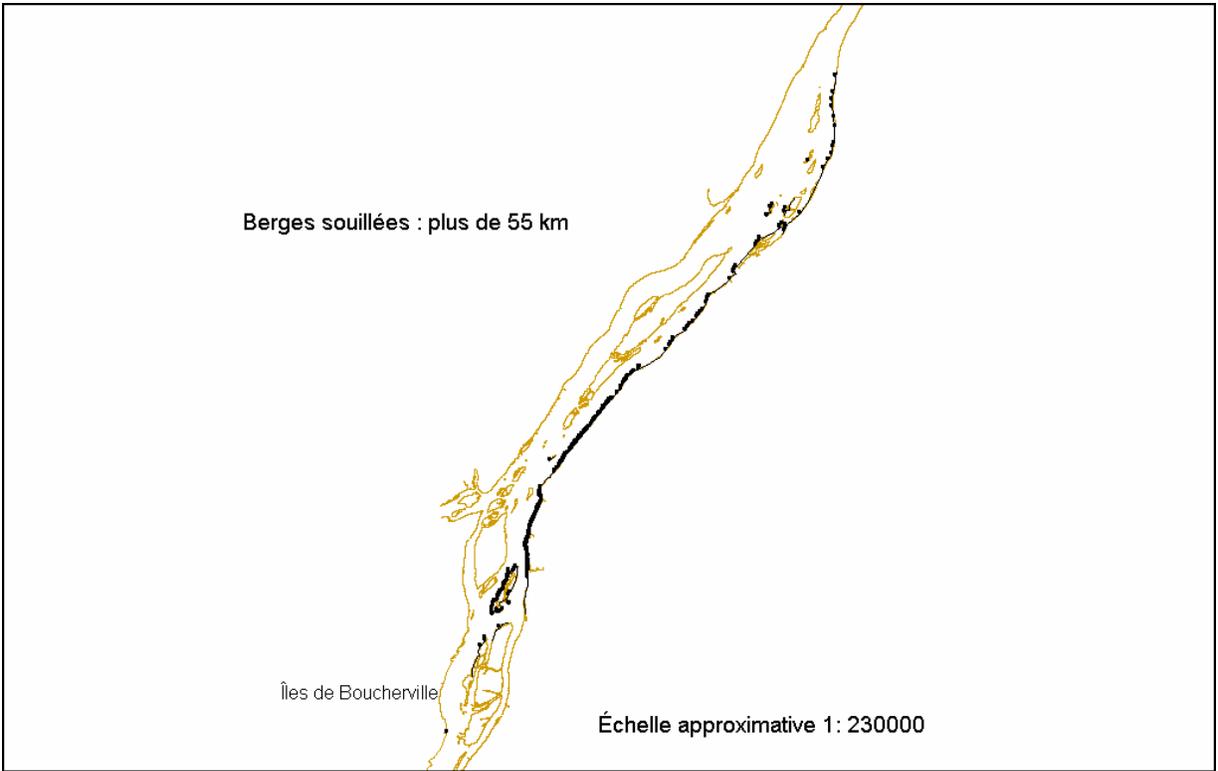


Figure 3.1 : Résultats de la modélisation pour l'Événement 1 après un peu moins de 18 heures de simulation : longueur maximale de berges souillées.

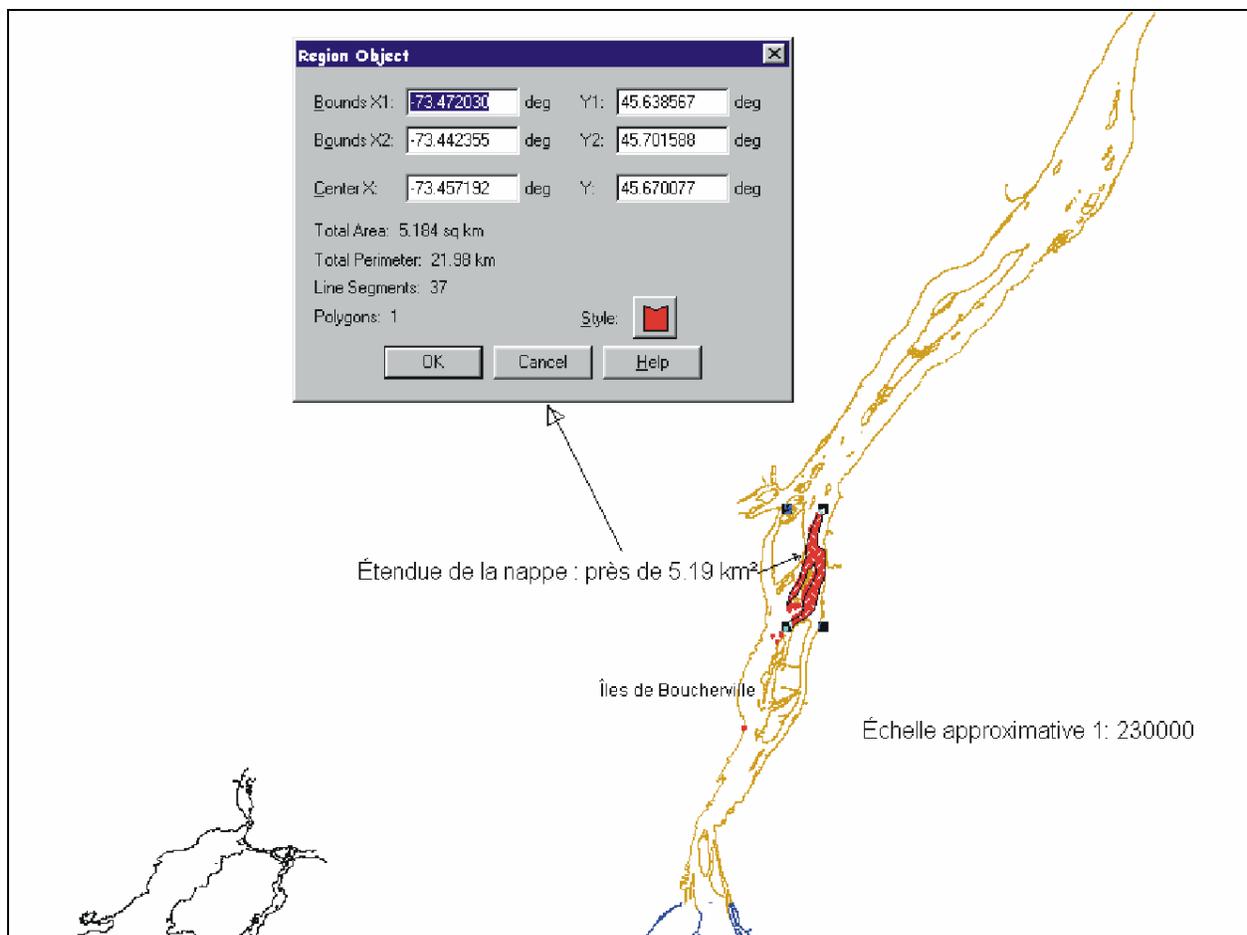


Figure 3.2 : Résultats de la modélisation pour l'Événement 1 après 4 heures de simulation : étendue de nappe maximale.

Les vents sud-ouest qui ont été utilisés pour la modélisation de l'Événement 1, orientés vers le nord-est, expliquent le fait que les particules se fixent aux berges du côté droit du fleuve. Point important à considérer : pour ces conditions de vent sud-ouest, les îles de Varennes sont touchées par le polluant. Ces îles représentent un habitat clé pour la reproduction de la sauvagine, notamment pour les canards barboteurs nicheurs, et pour au moins deux espèces d'oiseaux considérées comme rares. Pour cette raison et bien d'autres, une nappe de pétrole passant à proximité de ces îles occasionnerait une perturbation importante du milieu et aurait des conséquences évidemment néfastes sur la faune qu'on y retrouve (Lehoux 2000, comm. pers.).

3.1.2 Événement de référence 2

L'animation (*Evenement_2.mpg*) montre que les particules rejoignent la limite du domaine de modélisation, située près de Trois-Rivières, après 2 jours environ (48 heures). C'est également à ce moment que la nappe atteint son étendue maximale. Encore une fois, les **Figure 3.4** et **Figure 3.3** montrent les résultats de modélisation de l'Événement 2 de façon statique. Les valeurs obtenues sont respectivement de **156.2 km²** et **135.0 km**.

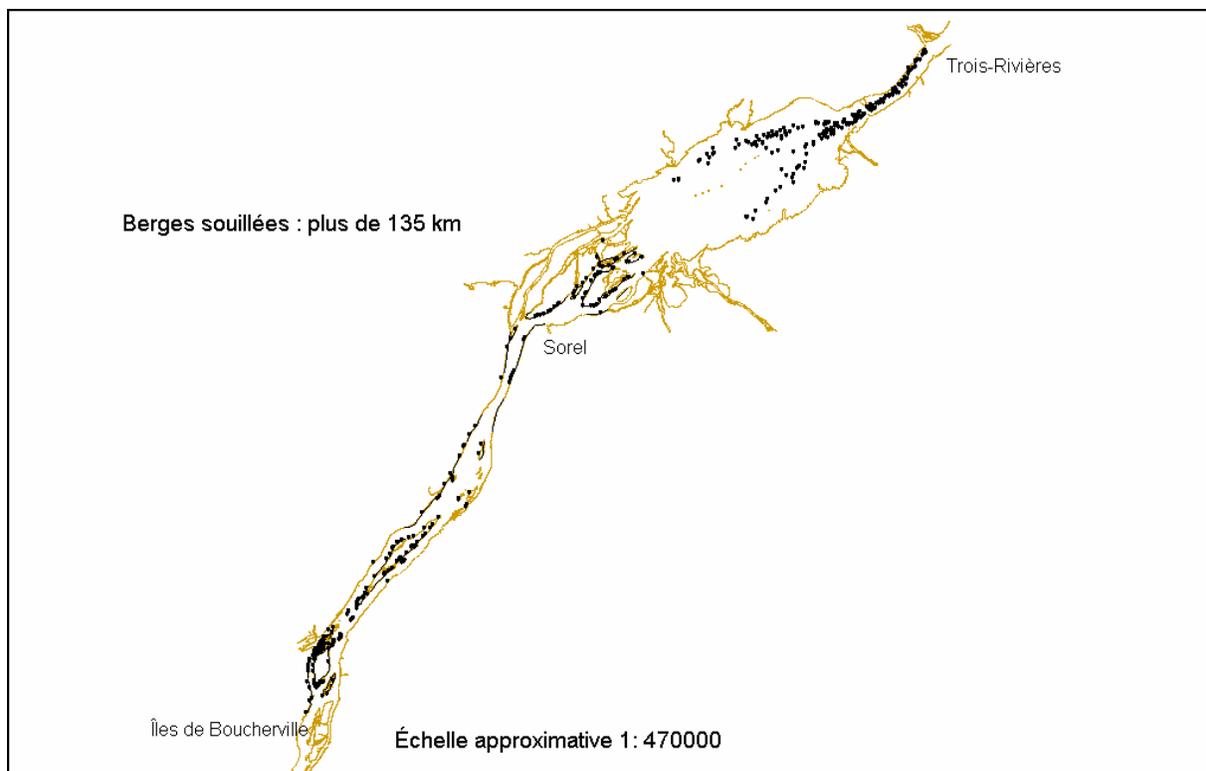


Figure 3.3 : Résultats de la modélisation pour l'événement 2 après un peu plus de 48 heures de modélisation : longueur maximale de berges souillées.

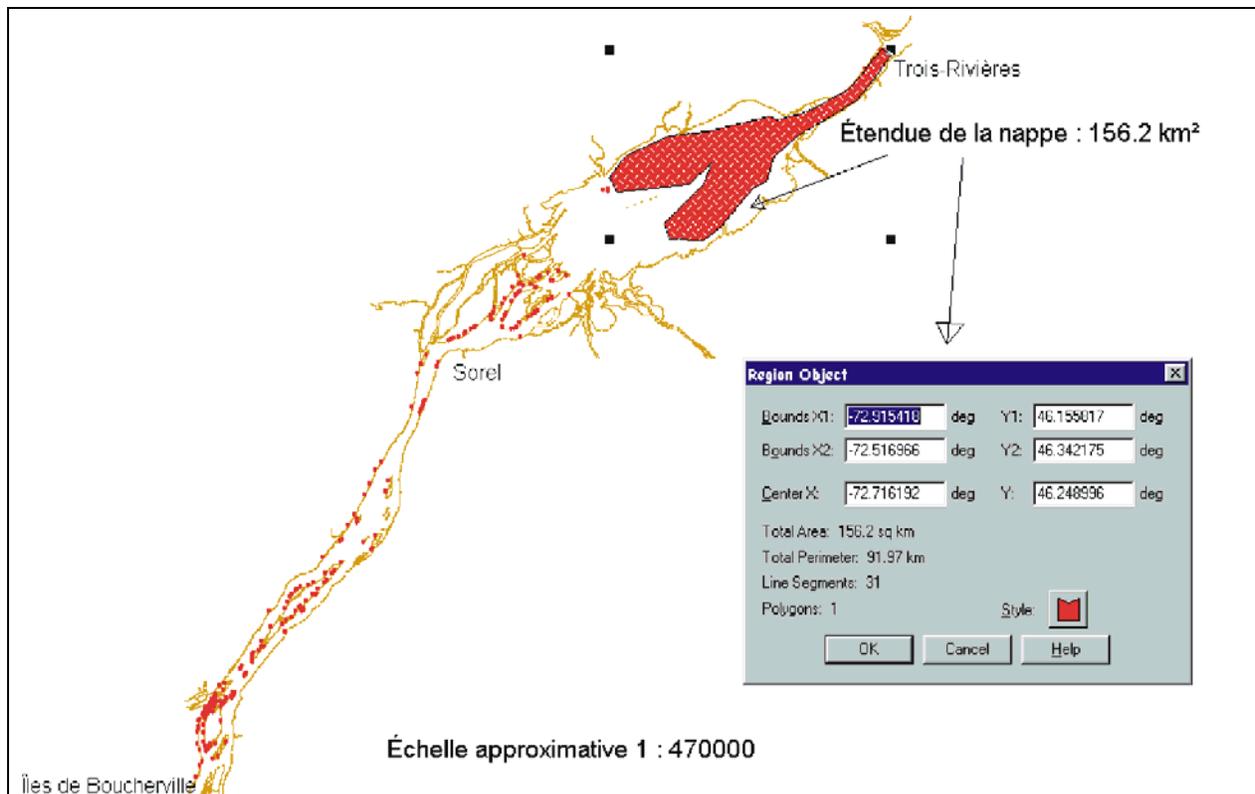


Figure 3.4 : Résultats de la modélisation pour l'événement 2 après 48 heures de simulation : étendue de nappe maximale.

3.1.3 Résumé et discussion

Les résultats du modèle POSM ont été interprétés pour en tirer une évaluation réaliste des paramètres décisionnels, qui sont présentés au **Tableau 3.2**. Il faut donc interpréter les valeurs indiquées comme approximatives, et la comparaison des valeurs d'un événement à l'autre permet de tirer des conclusions intéressantes.

Tableau 3.2 : Valeurs des paramètres décisionnels calculées à partir des résultats de POSM.

<i>Numéro de l'événement de référence</i>	<i>Zones affectées par le polluant</i>	<i>Longueur maximale de berges souillées (km)</i>	<i>Étendue de nappe maximale (km²)</i>
1	Port de Montréal jusqu'à Contrecoeur	55.0	5.2
2	Port de Montréal jusqu'en aval de Trois-Rivières	135.0	156.2

Les décisions quant au déploiement des équipements d'effarouchement pourront être basées sur ces valeurs. Si l'on désire mettre en place un système d'effarouchement minimal, on tiendra compte des résultats de l'événement de référence 1 exclusivement ; cette configuration sera peu sécuritaire cependant. Si l'on désire obtenir la configuration la plus sécuritaire qui soit, on se basera sur les résultats de l'événement 2 seulement ; cette dernière couvrira une fourchette d'événements très large car elle représente les conditions les plus critiques pouvant être rencontrées. On peut aussi établir une configuration des équipements qui tienne compte des résultats des deux événements ; il suffit d'appliquer un coefficient de proportion aux valeurs calculées pour chaque événement.

Également, il est important de noter qu'il existe une multitude d'événements différents, définis par les courants et le vent, qui auraient pu être modélisés et se traduire en des trajectoires de particules et des valeurs de paramètres différentes que celles présentées. Cependant, il est impossible de les modéliser tous, et alternativement, nous avons tenté de couvrir le plus grand spectre d'événements possibles en modélisant seulement deux événements de référence.

3.2 Autres paramètres modélisés par POSM

En plus de la position des particules qui est calculée tout au long de la modélisation, le modèle POSM calcule également la **fraction volumique restante** ainsi que l'**épaisseur des particules** du polluant. Ces paramètres ont une influence directe sur le comportement du polluant en surface du fleuve, compte tenu du fait, entre autres, que sa viscosité varie en fonction de l'évaporation.

En effet, un polluant sera plus visqueux en fin de simulation qu'en début de simulation car les composés les plus volatiles et donc plus fluides se seront évaporés. Il sera plus collant et agglutiné. Rappelons que la prise en compte de la viscosité dans le modèle lui-même sera incluse dans la version subséquente du modèle.

De plus, l'épaisseur aura une influence sur les méthodes de récupération du polluant, mises en place par les équipes d'urgence sur le terrain. Bref, les résultats de POSM nous permettent d'interpréter les résultats et d'en connaître davantage sur le comportement du polluant. C'est pour cette raison que pour chaque événement, nous avons effectué une modélisation pour un polluant lourd et une autre pour un polluant plus léger.

Notons que les épaisseurs des particules présentées dans ce rapport ont été calculées individuellement par POSM à l'aide d'un algorithme de lissage dans lequel le volume et la localisation des particules voisines influencent l'épaisseur de chaque particule.

3.2.1 Événement de référence 1

Les **Figure 3.5** à **Figure 3.8** montrent l'évolution des paramètres fraction volumique restante et épaisseur pour les deux polluants avec une modélisation de l'Événement 1. Nous comparerons ces résultats avec ceux de l'Événement 2 à la section 3.2.3.

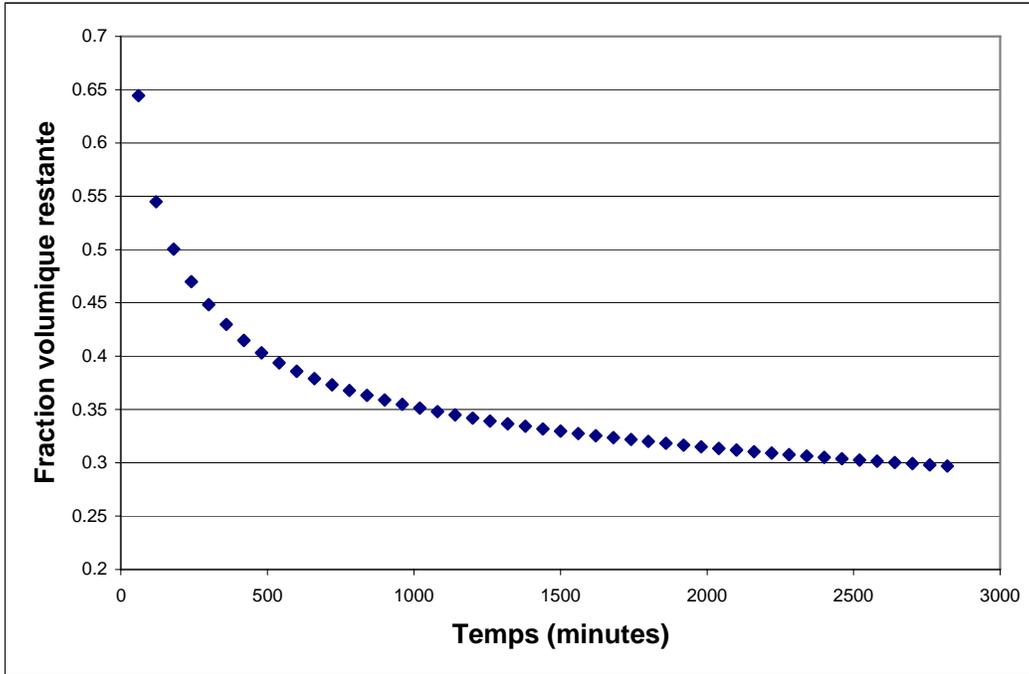


Figure 3.5 : Évolution de la fraction volumique restante : Événement 1_a, essence.

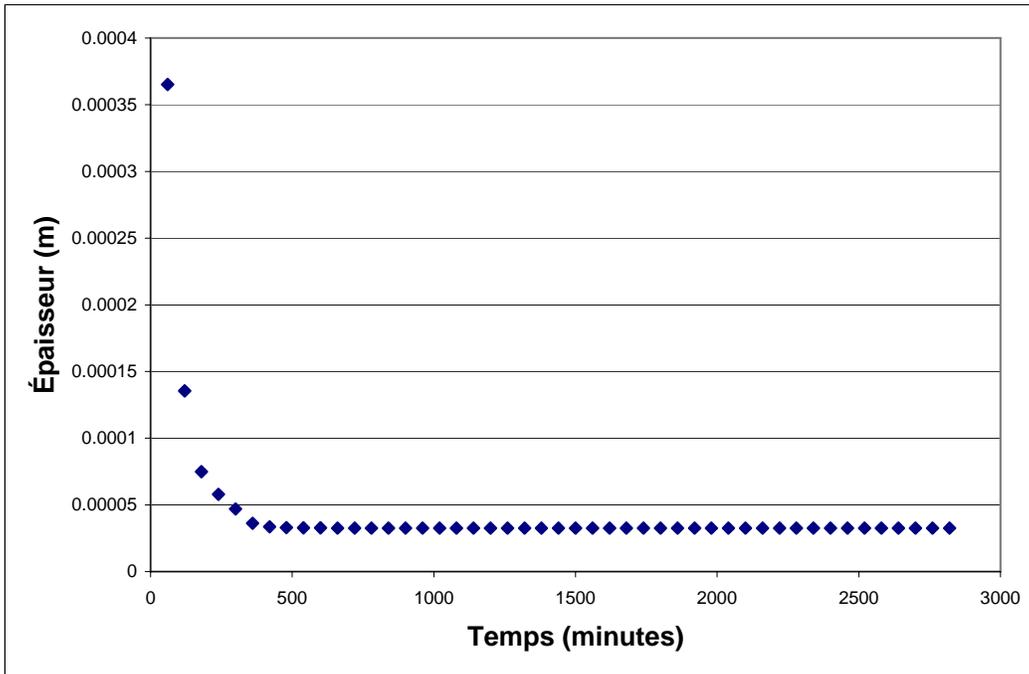


Figure 3.6 : Évolution de l'épaisseur des particules : Événement 1_a, essence.

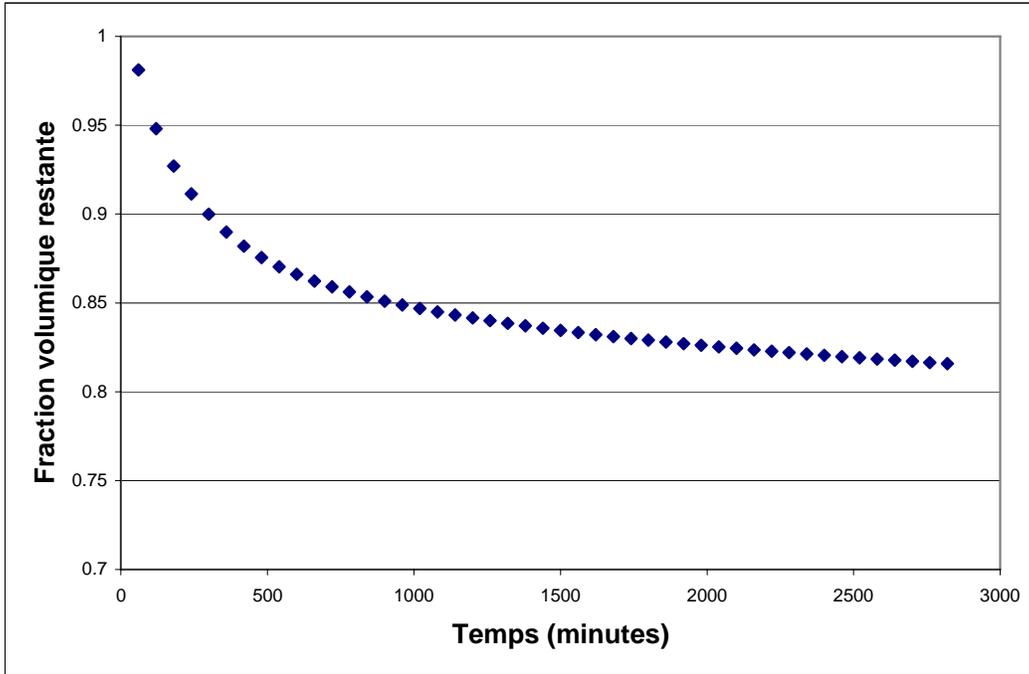


Figure 3.7 : Évolution de la fraction volumique restante : Événement 1_b, pétrole brut lourd.

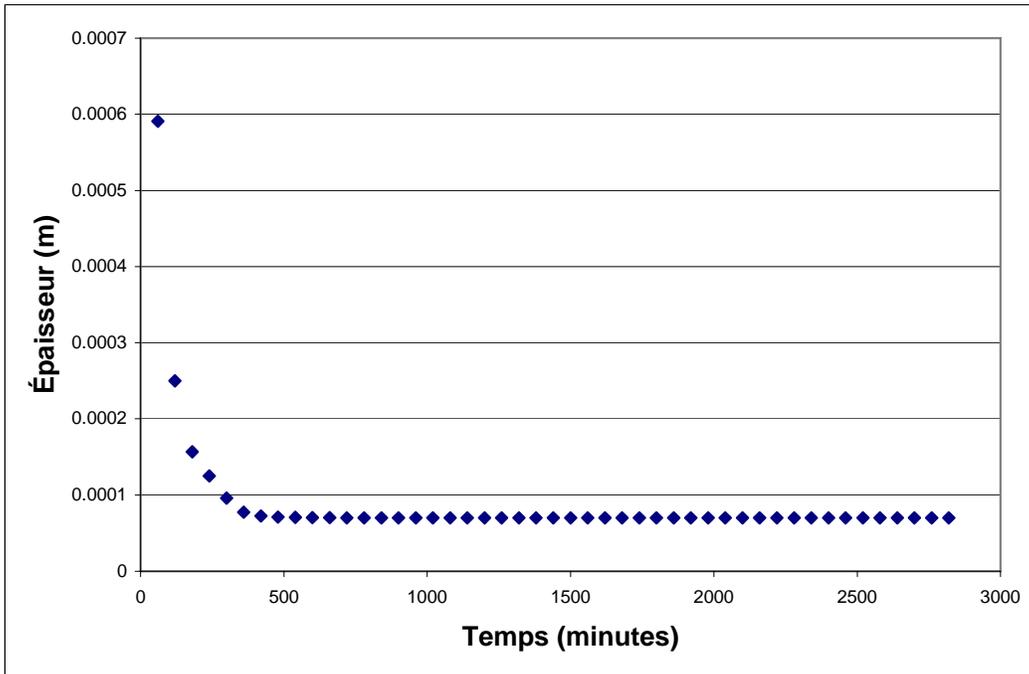


Figure 3.8 : Évolution de l'épaisseur des particules : Événement 1_b, pétrole brut lourd.

3.2.2 Événement de référence 2

Les **Figure 3.9** à **Figure 3.12** montrent l'évolution des paramètres fraction volumique restante et épaisseur pour chaque polluant au cours d'une modélisation de l'Événement 2. Nous comparerons ces résultats avec ceux de l'Événement 1 à la section 3.2.3.

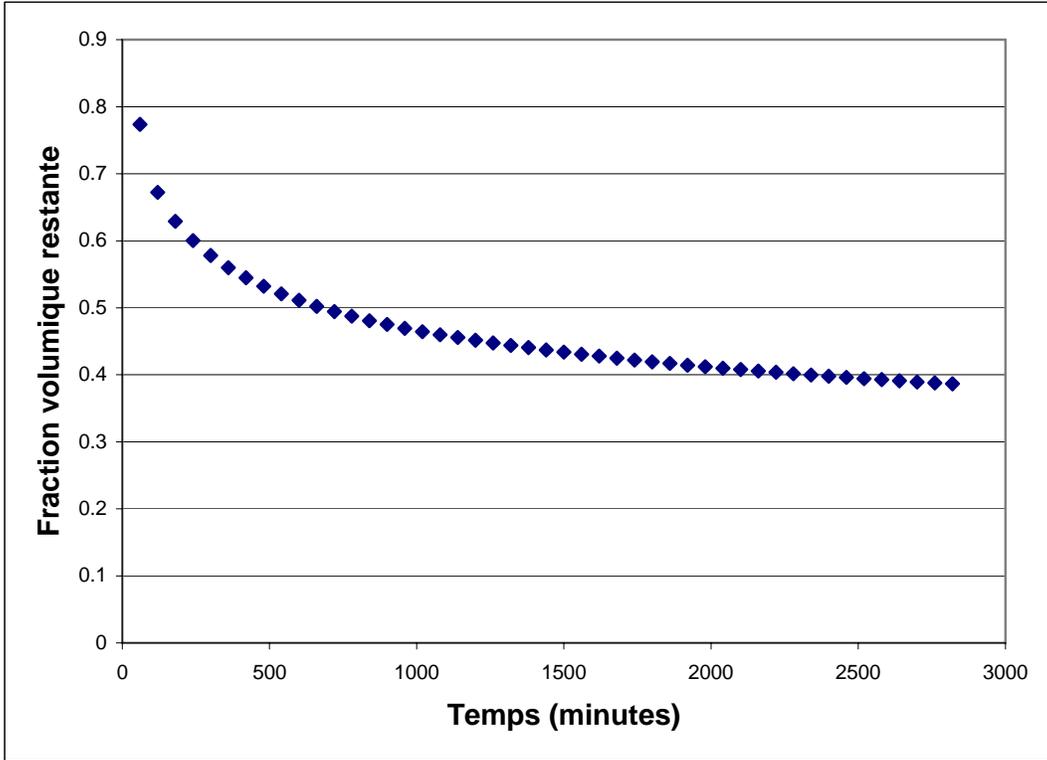


Figure 3.9 : Évolution de la fraction volumique restante : Événement 2_a, essence.

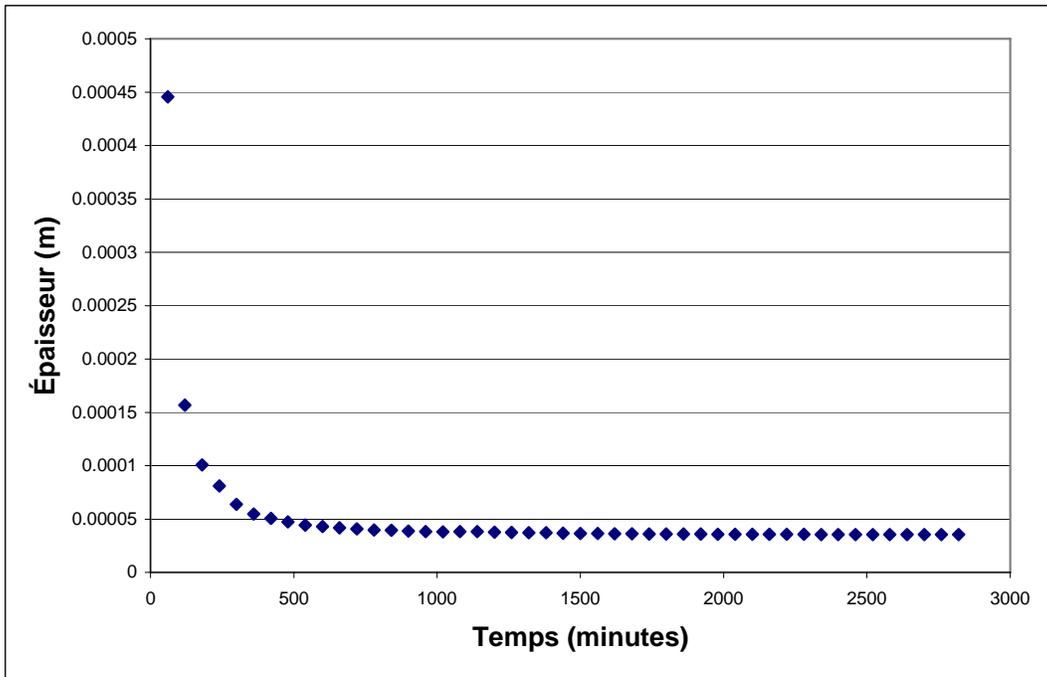


Figure 3.10 : Évolution de l'épaisseur des particules : Événement 2_a, essence.

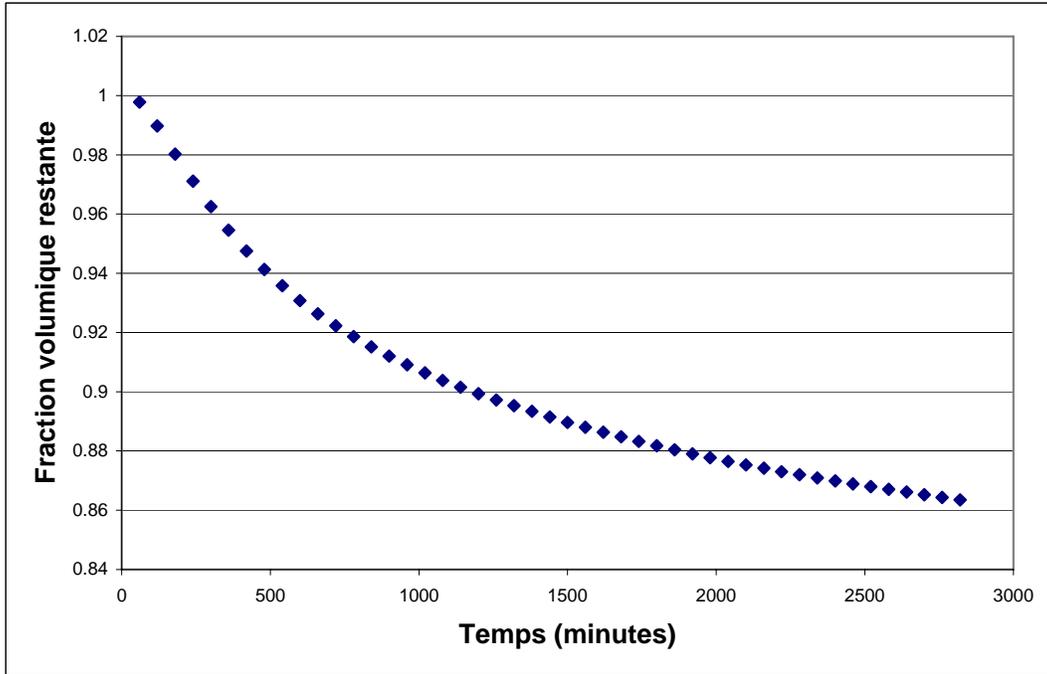


Figure 3.11 : Évolution de la fraction volumique restante : Événement 2_b, pétrole brut lourd.

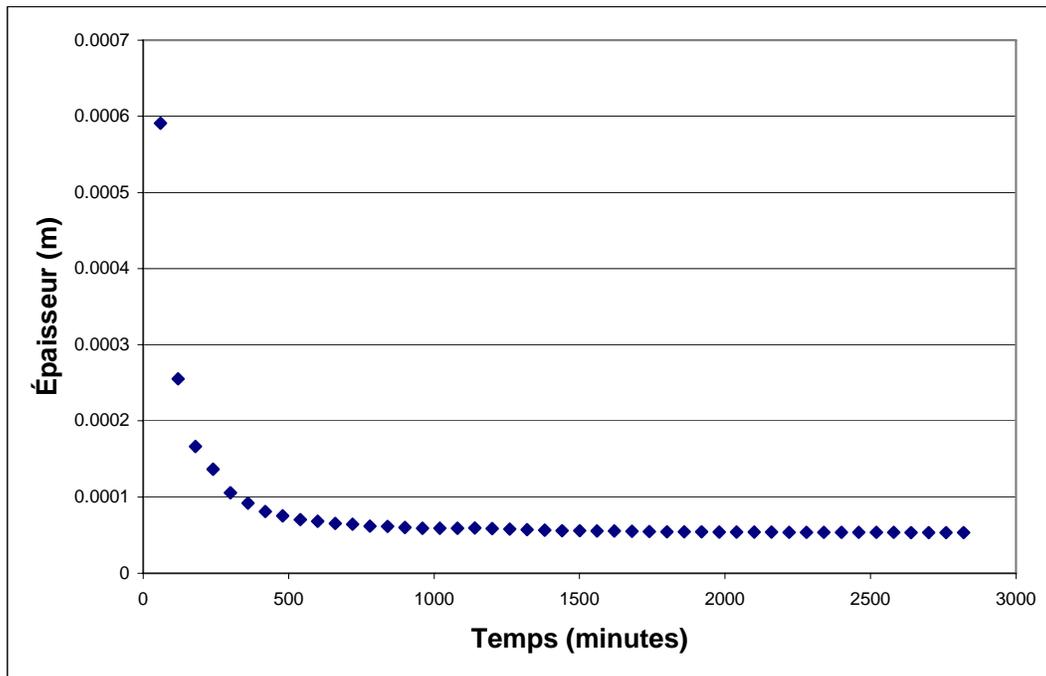


Figure 3.12 : Évolution de l'épaisseur des particules : Événement 2_b, pétrole brut lourd.

3.2.3 Résumé et discussion

Tout d'abord, on remarque que les processus d'évaporation et de dispersion du polluant à la surface de l'eau sont des phénomènes logarithmiques ; les courbes présentent toutes un comportement asymptotique. Le **Tableau 3.3** présente les valeurs des paramètres *fraction volumique restante* et *épaisseur des particules* telles que modélisées par POSM, après 48 heures de modélisation.

Tableau 3.3 : Valeurs des paramètres fraction volumique restante et épaisseur des particules telles que modélisées par POSM.*

<i>Numéro de l'événement de référence</i>	<i>Polluant</i>	<i>Fraction volumique restante</i>	<i>Épaisseur moyenne des particules (mm)</i>
1_a	Essence	0.30	0.035
1_b	Pétrole brut lourd	0.82	0.080
2_a	Essence	0.39	0.040
2_b	Pétrole brut lourd	0.86	0.050

* Les valeurs sont approximatives et lues directement sur les figures correspondantes.

Le pétrole brut lourd est composé de fractions légères et lourdes, alors que l'essence est un produit pétrolier raffiné composé de fractions plus légères du pétrole. Les fractions légères du pétrole s'évaporent rapidement alors que les fractions lourdes sont moins volatiles. L'évaporation des deux polluants durant la simulation est donc très différente, tel que le montrent les figures des sections 3.2.1 et 3.2.2 et le **Tableau 3.3**. Tel qu'attendu, **la fraction volumique restante du pétrole brut lourd est nettement supérieure à celle de l'essence**, et ce, lors des deux événements (0.30 versus 0.82 et 0.39 versus 0.86).

Les deux polluants sont nécessairement plus visqueux à la fin de la simulation. À titre de référence, (Cantin 1992) présente à la page 141 la courbe d'évolution de la viscosité d'un polluant de type Norman Wells, un pétrole brut léger. La viscosité dynamique de ce polluant varie de façon exponentielle en fonction de la fraction volumique évaporée. Nous n'entrons pas

dans les détails d'une telle analyse pour les polluants considérés dans cette étude, mais l'important est de savoir que le polluant restant en surface du fleuve a évolué au cours du temps et que ces propriétés ne sont plus les mêmes que lors du déversement.

De plus, lors de l'événement 1, les fractions volumiques restantes de chaque polluant sont plus faibles que lors de l'événement 2 (0.30 versus 0.39 et 0.82 versus 0.86). Ce comportement peut être attribué au vent, qui influence fortement l'évaporation. Le vent de l'événement 1 est plus élevé que celui de l'événement 2, où il est d'ailleurs inexistant.

L'épaisseur des particules change aussi durant la modélisation. On remarque que sa variation est plus rapide que celle de la fraction volumique restante, et que généralement, l'atteinte de la valeur asymptotique de l'épaisseur se fait après 400 minutes de modélisation environ pour les deux polluants, ce qui est très rapide. Dans le cas de la fraction volumique restante, il n'est pas aussi évident que dans le cas de l'épaisseur qu'il y aura atteinte d'une valeur asymptotique, et ce, même après 48 heures.

De plus, lors de l'événement 1, les épaisseurs des particules de pétrole brut lourd sont plus grandes que lors de l'événement 2 (0.08 versus 0.05 mm). Cette variation de l'épaisseur, pour le pétrole brut lourd, peut être expliquée par le fait que les particules s'entassent rapidement le long de la berge lors de l'événement 1, augmentant ainsi leur épaisseur, alors que les particules sont davantage dispersées lors de l'événement 2 ; la nappe occupe une plus grande surface (156.2 versus 5.2 km²) à la fin de l'événement 2 pour un volume à peu près égal.

Pour l'essence, ce phénomène semble avoir beaucoup moins d'influence que l'évaporation, car l'épaisseur des particules est plus faible au cours de l'événement 1 (0.035 versus 0.040 mm).

4. Conclusion

La modélisation du transport de contaminant pétrolier sur le fleuve Saint-Laurent, avec le modèle Lagrangien POSM, est un outil très performant qui peut facilement être utilisé pour établir des stratégies pratiques directement sur le terrain. Entre autres, ce modèle est présentement utilisé lors des urgences environnementales en cas de déversement d'un produit pétrolier entre Cornwall et Trois-Rivières. Également, tel que démontré dans ce rapport, POSM permet d'établir les valeurs de certains paramètres décisionnels qui seront utilisés par le Service canadien de la faune pour définir les stratégies de déploiement des équipements d'effarouchement des oiseaux en cas de déversement survenant au port de Montréal.

Dans le présent rapport, deux événements ont été modélisés à l'aide de POSM, soit un événement moyen (Événement 1) et un événement critique (Événement 2), afin de déterminer les valeurs des paramètres décisionnels *longueur maximale de berges souillées* et *étendue maximale de nappe*. Les valeurs qui ont été calculées à l'aide des résultats de modélisation permettront avec assurance d'établir les stratégies dont il est question. Également, deux polluants différents ont été testés, soit un pétrole brut lourd et de l'essence.

Certaines caractéristiques varient considérablement selon le type de polluant. Nous présentons dans ce rapport des comportements modélisés qui pourraient être attendus en considérant ces cas particuliers. Il est important de garder à l'esprit que d'autres produits déversés dans des conditions de vent/courants différentes présenteraient des résultats différents, surtout en termes de localisation des particules et de zones affectées. Les valeurs des paramètres décisionnels demeurent réalistes bien sûr, mais elles doivent être considérées avec un facteur de sécurité pour demeurer conservateur.

5. Bibliographie

- Cantin, J.-F. (1992). Modélisation de processus physiques affectant les pétroles déversés en milieu fluvial. Mémoire de maîtrise. INRS-Eau, Université du Québec. 166 p.
- Environnement Canada, collaborateurs multiples (1996). A catalogue of crude oil and oil product properties. Volume 1 (A-J) ET Volume 2 (J-Z). Report series no EE-157. Environmental technology center, Emergencies science division, Environnement Canada.
- Plourde, J., D. Gilbert, K. Drinkwater, L. Petrie, D. Lefaiivre, F. Saucier, F. Roy et J.-C. Therriault. (2000). Oceanographic conditions in the Gulf of St. Lawrence during 1999. DFO Can. Stock Asses. Sec. Res. Doc. 2000/4, 10 p.
- Morin, J. et A. Bouchard (2000). Les bases à la modélisation du tronçon Montréal/Trois-Rivières. Rapport technique no 101, Service météorologique du Canada-Hydrologie, Environnement Canada.
- Rodrigue, J. et J.-L. Desgranges (1990). Conséquences sur les canards d'une exposition chronique aux résidus de pétrole dans leurs marais d'élevage: le cas du Czantoria. Rapport technique no 107. Service canadien de la faune, Région du Québec, Environnement Canada. 26 p.
- Roy, Y., Secretan, Y. & coll. (1999). Guide d'utilisation de Modeleur/Hydrosim. Document Modeleur 1.0a06. Rapport INRS-Eau R482-G1.
- Serrer, M., Sayed, M., Crookshank, N. (1996). A HYDA oil-spill fate model for the HYFO decision support environment. Technical report HYD-TR-010. Centre hydraulique canadien, Conseil national de recherches du Canada. 46 p.
- Serrer, M., Sayed, M., Crookshank, N. (1997). POSM Version 3.2. An integrated oil spill fate model for the EPDSS decision support environment. Technical report HYD-TR-027. Version révisée datée d'août 1998. Centre hydraulique canadien, Conseil national de recherches du Canada. 18 p. + annexes.