



**Rapport final relatif à la modélisation de la dispersion
des boues et des déblais de forage du gisement de
Old Harry**



Soumis à :

Corridor Resources Inc.
#301 - 5475 Spring Garden Road
Halifax, NS, B3J 3T2
Téléphone : (902) 429-4511
Télécopieur : (902) 429-0209

Soumis par :

AMEC Earth & Environmental
Une division d'AMEC Americas Limited
Marine Services Group
50 Troop Ave, Unit 300
Dartmouth, Nova Scotia B3B 1Z1
Tél. : (902) 468-2848
Télécopieur : (902) 468-1314

20 mai 2011

DATE	NUMÉRO DE PROJET	RÉVISION	PRÉPARÉ PAR :	RÉVISÉ PAR
20 mai 2011	TN11203003	Finale	Patrick Roussel 	Bruce Batstone 

CLAUSE DE NON-RESPONSABILITÉ

Durant la préparation de cette étude et du présent rapport, AMEC Earth & Environmental a fait preuve de la diligence raisonnable requise dans le cadre d'un travail scientifique normal d'une telle nature. La société de conseil, ses directeurs, ses représentants, ses employés ou ses agents ne pourront en aucun cas être tenus responsables, par toute partie, d'un quelconque dommage particulier, indirect ou consécutif, y compris un dommage aux biens ou un décès, résultant de l'utilisation, de l'interprétation ou de la mise en œuvre des données ou des renseignements contenus dans le présent rapport. Cela inclut sans toutefois s'y limiter, une perte de bénéfices, de production, d'utilisation, des coûts de financement et la responsabilité envers d'autres en raison d'une violation de contrat.

ÉQUIPE RESPONSABLE DU PROJET

La présente étude a été menée par des membres d'AMEC Earth & Environmental Marine Services Group :

Trajce Alcinov

Sébastien Donnet

John McClintock

Patrick Roussel

Sommaire exécutif

Corridor Resources Inc. entend creuser un puits d'exploration dans le gisement de Old Harry au large de Terre-Neuve-et-Labrador en vertu du permis de prospection (PP) 1105. On prévoit que les activités de forage à court terme se produiront entre le milieu de 2012 et le début de 2014, la date précise du début des activités étant fonction de la disponibilité de l'appareil de forage et des approbations réglementaires. Le forage pourrait avoir lieu efficacement à n'importe quel moment de l'année après la fonte des glaces. Le programme de forage devrait durer entre 20 et 50 jours.

Les activités de forage génèreront :

- 196 m³ de déblais sur le plancher océanique;
- 211 m³ de déblais à la surface;
- 1210 m³ de boues à base d'eau (BBE) de diverses densités et compositions sur le plancher océanique;
- 400 m³ de BBE mélangées à 50 m³ d'eau hypersaline à la surface.

Le rejet de déblais sur le plancher océanique devrait former un dépôt s'étendant jusqu'à 30 m du site de forage, les déblais les plus gros étant concentrés à proximité du puits. L'épaisseur moyenne du dépôt sera d'environ 22 cm à environ 20 m du site de forage, mais pour atteindre environ 4,7 m maximum par ailleurs. Entre 20 et 50 m du site de forage, son épaisseur est inférieure à 1 mm.

En ce qui a trait au rejet de déblais à la surface, les plus gros morceaux tels que gravier et sable devraient, en raison de leur densité, rapidement retomber dans l'eau à proximité du forage pour y former un dépôt d'une épaisseur allant jusqu'à 15 mm. À environ 100 m du site de forage, l'épaisseur du dépôt devrait être de 2 mm en moyenne et pourrait atteindre près de 6 mm maximum. Entre 100 et 200 m, elle devrait être comprise entre 0,5 et 1 mm et atteindre également environ 6 mm maximum.

Si les déblais rejetés par l'appareil de forage contiennent des boues à base de pétrole synthétique (BBPS), au lieu de BBE, entre 0 et 50 m de leur point de rejet, ils devraient avoir une concentration en pétrole synthétique équivalente à environ 25 % de la concentration initiale avant traitement, soit 1,7 % ou 17 000 mg/kg (ou ppm). Entre 50 et 100 m, cette même concentration chutera à nouveau d'un facteur sept, soit à environ 0,24 % ou 2400 mg/kg. À plus de 200 m, elle sera de 44 mg/kg ou moins. À plus de 500 m, elle sera de 3 mg/kg ou moins.

Le rejet en vrac de BBE à la surface à la fin du forage devrait produire un panache de dispersion atteignant une profondeur d'environ 150 m, sans toutefois atteindre le fond marin (470 m). Les concentrations initiales de BBE devraient se diluer de 20 à 30 fois dans les 30 premières minutes suivant leur rejet, et de 60 à 80 fois après une heure. Par la suite, les matières constituant le panache devraient tomber lentement vers le fond marin et atteindre la couche limite de fond après plusieurs jours.

Une simulation du devenir à long terme des boues rejetées au cours de l'ensemble du programme de forage a été réalisée en adoptant un scénario prudent (pire cas) dans lequel toutes les activités de forage seraient ininterrompues entre chaque phase. Dans le scénario modélisé, toutes les boues ont été rejetées sur une période de 15 jours.

Les résultats de cette simulation démontrent que la dispersion des boues par les courants moyens et les marées produit un panache allongé dont la longueur varie de 2 ou 3 km à environ 40 km, selon la vitesse de sédimentation, et dont la largeur varie de moins d'un kilomètre à quelques kilomètres respectivement. Cette variabilité correspond à une dispersion typique des boues de forage et est cohérente avec les résultats d'autres études similaires.

La concentration de matières dans les panaches, dont la moyenne est établie sur une couche de un mètre au fond, varie d'environ 1 g/l initialement dans le cas du scénario à haute vitesse de sédimentation à quelques kilomètres du site de forage à environ 1 mg/l dans le cas du scénario à faible vitesse de sédimentation à quelques dizaines de kilomètres du site de forage. On a constaté que cette concentration varie considérablement (un ordre de grandeur ou plus) à l'intérieur des panaches en raison du cycle de suspension/dépôt induit par les variations normales des courants pendant le cycle des marées.

Dans le cas du scénario à haute vitesse de sédimentation, on retrouve des particules très près du plancher océanique (à moins de 1 m au dessus de celui-ci). Toutefois, en règle générale, elles ne s'y déposent pas complètement. Dans le pire des scénarios, c'est-à-dire si toutes les particules se déposaient sur le plancher océanique, elles formeraient une mince couche de sédiments d'une superficie d'environ 1 km² et d'une épaisseur de 64 µm. Compte tenu de la densité des particules de baryte, la densité moyenne des dépôts de sédiments dans cette zone de 1 km² serait d'environ 0,027 g/cm². Cette densité est comparable au taux annuel de sédimentation naturelle de 0,031 g/cm² calculé par Smith et Schafer (1999) dans leur étude des sédiments océaniques, dans une zone située entre Old Harry et l'île d'Anticosti. Les résultats du modèle coïncident généralement avec ceux d'études similaires portant sur la dispersion des boues de forage dans la couche limite benthique (Thomson et al., 2000, Tedford et al., 2003, et Hannah et al., 2003).

Dans le cas du scénario à faible vitesse de sédimentation, les particules semblent parcourir de grandes distances, de l'ordre de 80 km pendant la simulation de 30 jours. Pour un panache long de 40 km et un courant résiduel de 2,5 cm/s, un point fixe à l'intérieur de la trajectoire du panache subirait une exposition continue maximale aux matières en suspension de l'ordre de 20 jours.

Si au cours d'un programme de forage typique, des interruptions de rejet allant de quelques heures à quelques jours devaient survenir, les panaches seraient plus allongés et plus irréguliers, et leurs concentrations seraient plus variées dans l'espace-temps. Cependant, les concentrations moyennes et les temps d'exposition ne diffèreraient pas beaucoup des résultats de simulation de rejet sans interruption.

Dans l'ensemble, les résultats de simulation de la dispersion des boues présentés dans cette étude sont considérés comme étant cohérents avec les résultats obtenus dans le cadre d'études similaires (Thomson et al. 2000; Hannah et al. 2003; Tedford et al. 2003).

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
1.0 INTRODUCTION.....	1
2.0 PROGRAMME DE FORAGE.....	2
3.0 DONNÉES UTILISÉES DANS LES MODÈLES RELATIFS AUX COURANTS ET À LA STRATIFICATION	5
3.1 CHAMPS DE COURANTS DE MARÉE TIRÉS DE WEBTIDE	5
3.2 CHAMPS DE COURANTS MOYENS SAISONNIERS TIRÉS DE WEBDROGUE	5
3.3 STRATIFICATION.....	6
4.0 DISPERSION DES DÉBLAIS	7
4.1 DESCRIPTION DU MODÈLE D'ADVECTION-DISPERSION	7
4.2 DONNÉES DU MODÈLE	8
4.2.1 Caractérisation des particules de déblais	8
4.2.2 Courants océaniques	10
4.3 REJET DE DÉBLAIS SUR LE PLANCHER OCÉANIQUE (phase I).....	10
4.3.1 Mise en œuvre du modèle	10
4.3.2 Résultats du modèle	10
4.4 REJET DES DÉBLAIS DE FORAGE À LA SURFACE (phase II)	13
4.4.1 Mise en œuvre du modèle	13
4.4.2 Résultats du modèle	13
5.0 DEVENIR À COURT TERME DES REJETS DE BOUES DE FORAGE	17
5.1 SUR LE PLANCHER OCÉANIQUE (phase III)	17
5.2 REJET DE BOUES À LA SURFACE (phase IV)	17
5.2.1 Données du modèle.....	18
5.2.2 Résultats obtenus à l'aide du modèle STFATE	19
6.0 DISPERSION À LONG TERME DES BOUES DE FORAGE REJETÉES (PHASES III ET IV).....	23
6.1 DESCRIPTION DU MODÈLE DE DISPERSION DES PARTICULES EN SUSPENSION DANS LA COUCHE LIMITE BENTHIQUE.....	23
6.2 IMPLÉMENTATION DU MODÈLE : DONNÉES SUR LE REJET DE BOUES....	23
6.3 IMPLÉMENTATION DU MODÈLE : CHAMPS DE VITESSES DES COURANTS	26
6.4 IMPLÉMENTATION DU MODÈLE : VITESSE DE SÉDIMENTATION DES PARTICULES.....	26
6.5 RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION DE LA DISPERSION DES BOUES	26
6.6 CONCLUSIONS DE LA MODÉLISATION DE LA DISPERSION DES BOUES ..	32
7.0 RÉFÉRENCES.....	34

LISTES DES FIGURES

Figure 4.1	Sédimentation des déblais après le forage des trous d'interconnexion et de surface, en hiver, vue de 1 km.	12
Figure 4.2	Sédimentation des déblais à la suite du forage des sections principale et intermédiaire, en hiver, vue de 25 km, avec un encart offrant une échelle de 500 m centrée sur le puits	15
Figure 4.3	Sédimentation des déblais à la suite du forage des sections principale et intermédiaire, en hiver, vue du golf du Saint-Laurent, contours à 200 et à 400 m de profondeur	16
Figure 5.1	Diagramme illustrant la descente et l'effondrement du panache pendant le scénario printanier de jusant en eaux vives	22
Figure 6.1	Série chronologique des rejets de baryte du modèle BBLT	25
Figure 6.2	Série chronologique des rejets de bentonite du modèle BBLT	25
Figure 6.3	Concentration en baryte du panache à la fin de la mise en œuvre du modèle, vitesse de sédimentation élevée, scénario hivernal	29
Figure 6.4	Concentration en baryte du panache à la fin de la mise en œuvre du modèle, faible vitesse de sédimentation, scénario estival	29
Figure 6.5	Série temporelle des concentrations moyennes de matières dans le panache, vitesse élevée de sédimentation, scénario hivernal	
Figure 6.6	Série temporelle des concentrations moyennes de matières dans le panache à certaines profondeurs, faible vitesse de sédimentation, scénario estival.....	30
Figure 6.7	Série temporelle des concentrations moyennes de matières dans le panache à certaines profondeurs, faible vitesse de sédimentation, scénario estival, agrandissement.....	32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Calendrier du programme de forage et volumes combinés de boues et de déblais	4
Tableau 3.1	Courants de marées au site de forage tirés du modèle de Webtide	5
Tableau 3.2	Courants résiduels au site de forage tirés du modèle de WebDrogue	6
Tableau 3.3	Propriétés physiques de la colonne d'eau du site de décharge.....	6
Tableau 4.1	Répartition des particules de déblais par taille	9
Tableau 4.2	Caractérisation de la taille des particules de déblais	9
Tableau 4.3	Résumé des modèles de sédimentation des déblais rejetés sur le plancher océanique.....	11
Tableau 4.4	Résumé des modèles de sédimentation des déblais rejetés à la surface	14
Tableau 5.1	Caractéristiques des BBE saisies dans le modèle STFATE.....	19
Tableau 5.2	Résultats de la modélisation du devenir à court terme	21
Tableau 6.1	Résumé dde l'implémentation du modèle BBLT	27

LISTE DES ANNEXES

Annexe A	Courants de marée régionaux pendant un cycle
Annexe B	Circulation moyenne saisonnière

1.0 INTRODUCTION

Corridor Resources Inc. entend creuser un puits d'exploration dans le prospect de Old Harry au large de Terre-Neuve-et-Labrador en vertu du permis de prospection (PP) 1105. On prévoit que les activités de forage à court terme se produiront entre le milieu de 2012 et le début de 2014, la date précise du début des activités étant fonction de la disponibilité de l'appareil de forage et des approbations réglementaires. Le prospect de Old Harry se situe dans le golf du Saint-Laurent et le centre de cette zone se trouve à environ 80 km à l'ouest-nord-ouest du cap Anguille, à Terre-Neuve-et-Labrador. Le PP 1105 est situé dans le chenal Laurentien où la profondeur est d'environ 470 m.

Le site de forage proposé se trouve aux coordonnées suivantes :

48°03'05,294" de latitude nord;
60°23'39,385" de longitude ouest (NAD83)

Ce document présente les résultats des modèles de dispersion des boues et des déblais de forage rejetés pendant la durée du programme de forage. La section 2.0 présente, pour chaque section du puits, un résumé du programme de forage, ainsi que les volumes et la composition des boues et des déblais rejetés sur le plancher ou à la surface de l'océan. La section 3.0 présente les données utilisées dans les modèles en ce qui a trait aux courants de marée et aux courants moyens saisonniers. La section 4.0 porte sur la dispersion des déblais rejetés sur le plancher océanique et de ceux provenant de la chute à déblais, sous l'appareil de forage. La section 5.0 porte sur le devenir à court terme des boues de forage rejetées sur le plancher océanique et par l'appareil de forage. La section 6.0 examine la dispersion à long terme des boues rejetées dans la couche limite du fond marin et depuis la chute à déblais située 30 m sous l'appareil de forage.

2.0 PROGRAMME DE FORAGE

Le calendrier du programme de forage dépend de la disponibilité de l'appareil de forage et des approbations réglementaires, de sorte que les activités de forage peuvent être menées efficacement à tout moment de l'année après la fonte des glaces. Le programme de forage devrait durer entre 20 et 50 jours. Le puits d'exploration sera creusé en quatre étapes.

Corridor a inclus un exemple de conception de puits envisageable dans sa description du projet. Les détails du programme de forage seront parachevés peu de temps avant le début des travaux. Le forage comporte quatre phases qui provoquent le rejet de boues et de déblais dans l'environnement. La première section, trou d'interconnexion, sera forée ou creusée par lancement en vue d'atteindre une profondeur d'environ 90 m sous le plancher océanique. La deuxième section, le trou de surface, sera forée sur 240 m supplémentaires pour atteindre une profondeur d'environ 330 m sous le plancher océanique (une distance totale de 800 – 470 m au Tableau 2.1). La profondeur de l'ensemble des sections est approximative. Des dragues flottantes, contenant essentiellement de l'eau de mer et de la bentonite, seront utilisées pour forer les deux sections, puis seront rejetées sur le plancher océanique avec les déblais. Le rejet de déblais de forage et de BBE sur le plancher océanique constitue respectivement les phases I et III des scénarios de modélisation présentés ci-dessus. Afin de cimenter le coffrage de ces deux sections du puits d'exploration il sera nécessaire d'utiliser des boues à base d'eau (BBE) plus denses qui seront également rejetées sur le plancher océanique.

Un tube goulotte sera installé une fois les deux sections supérieures du puits achevées, ce qui conservera les boues de forage dans un circuit fermé et renverra les déblais et les boues de forage vers l'appareil de forage lorsque l'on forera les deux sections inférieures du puits (sections intermédiaire et principale). Il est possible, pour forer les sections intermédiaire et principale, d'utiliser de la BBE ou de la BBPS. Les déblais sont traités à bord de l'appareil de forage pour récupérer une grande partie de la boue à réutiliser. Toutefois, une partie de celle-ci restera mélangée aux déblais et sera rejetée avec eux. Ce scénario a été modélisé en tant que phase II. Si l'on utilise des BBE, celles qui resteront après la fin des opérations de forage du puits seront rejetées par l'entremise d'une chute à déblais située sous l'appareil de forage. Ce processus a été modélisé en tant que phase IV des activités de forage. Si l'on utilise des BBPS, les déblais seront traités avant d'être déchargés afin de satisfaire aux lignes de conduites du traitement des déchets en mer (NEB et al. 2010) concernant le contenu en hydrocarbure, et les BBPS seront conservées sur l'appareil de forage ou expédiées sur la côte pour être réutilisées.

Le Tableau 2.1 présente un résumé du programme de forage, indique les volumes de boues et de déblais, la composition et la densité des boues utilisées à chaque étape des activités de forage. La durée approximative de chaque phase est également précisée. Le programme devra être interrompu au cours des différentes phases ou entre celles-ci. Voilà pourquoi sa durée totale est supérieure à la somme de la durée de chaque phase. Toutefois, le scénario le plus prudent (pire cas) en ce qui a trait à la dispersion des boues serait un programme ininterrompu.

L'étude de la dispersion nécessite par conséquent de tenir compte des rejets suivants pendant les différentes phases de forage du puits :

- Phase I : 196 m³ de déblais sur le plancher océanique;
- Phase II : 211 m³ de déblais à la surface;
- Phase III : 1210 m³ de rejet sur le plancher océanique de BBE de densités et de compositions différentes;
- Phase IV : 400 m³ de BBE mélangées à 50 m³ d'eau hypersaline à la surface.

La dispersion des déblais est abordée à la section 4.3 en ce qui a trait au rejet sur le plancher océanique (phase I), et à la section 4.4 pour ce qui est des rejets à la surface (phase II). Le devenir à court terme des boues est présenté à la section 5.1 en ce qui a trait au rejet sur le plancher océanique (phase III) et à la section 5.2 pour ce qui est des rejets à la surface (phase IV).

Enfin, la section 6.0 présente les résultats de la modélisation de la dispersion à long terme, dans la couche limite, des boues rejetées pendant l'ensemble du programme de forage (phases III et IV).

Tableau 2.1 Calendrier du programme de forage et volumes combinés de boues et de déblais

Section du puits	Durée du rejet (jours)	De (m)	À (m)	Grandeur du puits (mm)	Taille du tubage (mm)	% du calibre	Volumes de déblais		
							Volume de déblais <i>in situ</i> (m ³)	Coefficient de dilatation de la roche	Volume apparent des déblais (m ³)
Trou d'interconnexion	1.5	470	560	914.4	762.0	50	89	2.1	186
Boue de tampon pour le trou d'interconnexion	1	470	560	914.4	762.0	50			
Trou de surface	1	560	800	660.4	508.0	30	107	2.1	224
Boue de tampon pour le trou de surface	1	560	800	660.4	508.0	30			
Section intermédiaire	3	800	1300	444.5	339.7	25	97	2.1	204
Section principale	7.5	1300	2600	311.2	244.5	15	114	2.1	239
Volume total							406		853

Section du puits	Durée du rejet (jours)	De (m)	À (m)	Nouveau volume ajouté (m ³)	Volume rejeté (m ³)	Densité des boues (kg/m ³)	% de solides de faible gravité (déblais seulement)	Baryte ajoutée au système (t)	Bentonite ajoutée au système (t)
Trou d'interconnexion	1.5	470	560	340	340	1060	~0	0	20
Boue de tampon pour le trou d'interconnexion	1	470	560	130	130	1440	~0	110	20
Trou de surface	1	560	800	530	530	1060	~0	0	60
Boue de tampon pour le trou de surface	1	560	800	210	210	1440	~0	140	40
Section intermédiaire	3	800	1300	765	0*	1100	7	15	0
Section principale	7.5	1300	2600	250	0*	1200	7	20	0
Rejet à l'extrémité du puits				0	450**	1200	7	0	0
Volume total				2225	1660***			285	140

Notes : *Seules les boues fixées aux déblais seront rejetées.

**Composées de 50 m³ d'eau hypersaline et de 400 m³ de boues pour une densité de 1200 kg/m³.

***Le volume restant (soit 2225-1660=565 m³) résulte de la dilution, principalement des boues fixées aux déblais

**** masse de la baryte et de la bentonite en tonnes

3.0 DONNÉES UTILISÉES DANS LES MODÈLES RELATIFS AUX COURANTS ET À LA STRATIFICATION

Les champs de vitesses des courants utilisés pour le modèle de dispersion des particules en suspension dans la couche limite benthique (modèle BBLT) ont été tirées de deux bases de données accessibles au public : les modèles WebTide (DFO, 2011a) et WebDrogue (DFO, 2011b).

3.1 CHAMPS DE COURANTS DE MARÉE TIRÉS DE WEBTIDE

À l'origine, WebTide est une interface utilisateur conçue pour établir des prévisions de marées (élévation et vitesses) en un endroit particulier (choisi par l'utilisateur). Cet outil s'appuie sur les résultats des études de modélisation effectuées au fil des ans par les scientifiques et le personnel du ministère des Pêches et Océans (MPO). Le modèle à éléments finis utilisé dans le cadre de cette étude est celui de l'Atlantique Nord-Ouest décrit par Dupond et coll. en 2002.

Les données sur les marées (élévation et courants) tirées de Tidecor, le programme principal de WebTide, ont été interpolées sur une grille régulière afin d'obtenir une série temporelle des champs spatiaux de vitesses de courants de marées.

Afin d'obtenir un cycle de marées représentatif, les données des simulations correspondant à un cycle lunaire complet (30 jours) ont été extraites à intervalles d'une heure, et sauvées toutes les heures sur une grille couvrant approximativement les coordonnées suivantes : 46,05 à 50,05 degrés de latitude nord et 62,39 à 58,39 degrés de longitude ouest (deux degrés autour du site de forage proposé). Des séries temporelles des courants de marées et des élévations de la surface de la mer sont présentées dans l'annexe A.

Les vitesses et les directions des courants de marées pour toutes les phases du cycle de marées sont résumées au Tableau 3.1. Les courants circulent dans la direction donnée relativement au nord géographique.

Tableau 3.1 Courants de marées au site de forage tirés du modèle de Webtide

	Flot en mortes-eaux	Jusant en mortes-eaux	Flot en eaux vives	Jusant en eaux vives	Étale
Courant de marées	0,07 m/s (direction) 320° N	0,08 m/s (direction) 140° N	0,21 m/s (direction) 320° N	0,17 m/s (direction) 140° N	0 m/s

Notes : Les magnitudes sont arrondies à 1 cm/s et la direction est arrondie au secteur de 10 degrés le plus proche.

3.2 CHAMPS DE COURANTS MOYENS SAISONNIERS TIRÉS DE WEBDROGUE

WebDrogue est une autre interface utilisateur développée par le MPO. Elle offre des résultats de modélisation numérique relatifs à la circulation générale dans la région est du Canada dans le nord-ouest de l'océan Atlantique. Le domaine utilisé pour cette étude, qui couvre le golf du Saint-Laurent, a été élaboré aux fins du modèle opérationnel du MPO en vue de prédire les

courants, la température, la salinité et les champs de glace sur la côte est du Canada (DFO, 2011c).

Les champs de courants saisonniers à la surface et au fond ont été extraits de la grille du domaine du modèle pour l'hiver, le printemps, l'été et l'automne, puis interpolés sur la même grille que les courants de marées (section 3.1). Dans WebDrogue, la couche du fond marin est définie comme étant « la moyenne sur les 10 mètres au dessus du fond » (DFO, 2011c), et est, par conséquent, représentative de la couche limite benthique. Les champs de courants saisonniers sur le fond marin sont présentés dans l'annexe B.

Les courants moyens saisonniers sont résumés au Tableau 3.2.

Tableau 3.2 Courants résiduels au site de forage tirés du modèle de WebDrogue

	Hiver	Printemps	Été	Automne
Surface	0,04 m/s (direction) 130° N	0,04 m/s (direction) 110° N	0,06 m/s (direction) 150° N	0,08 m/s (direction) 160° N
Fond	0,025 m/s (direction) 310° N	0,05 m/s (direction) 300° N	0,05 m/s (direction) 310° N	0,03 m/s (direction) 330° N

Notes : Les magnitudes sont arrondies à 0,01 m/s et la direction est arrondie au secteur de 10 degrés le plus proche.

3.3 STRATIFICATION

La stratification verticale de la colonne d'eau a été établie à partir des données climatologiques mensuelles de températures et de salinité du MPO pour la région du golf du Saint-Laurent (DFO 2011d) dans le prospect de Old Harry. La stratification de la densité qui résulte de la stratification des températures et de la salinité est résumée pour chaque saison au Tableau 3.3.

Tableau 3.3 Propriétés physiques de la colonne d'eau du site de décharge

Profondeur (M)	Densité (kg/m ³)			
	Hiver	Printemps	Été	Automne
0	1025.7	1025.5	1023.6	1024.3
200	1027.9	1028.0	1028.0	1027.8
400	1029.4	1029.4	1029.4	1029.4

4.0 DISPERSION DES DÉBLAIS

Afin d'estimer les dépôts des déblais de forage, principalement leur épaisseur et leur distance par rapport au site de forage, un modèle numérique a été utilisé qui tient compte du programme proposé pour le forage des sections du puits et des rejets de déblais qui leur sont associés au fil du temps. La trajectoire subséquente des déblais rejetés (l'advection des particules résultant du courant océanique ambiant) jusqu'à leur sédimentation finale sur le plancher océanique a été prédite au moyen d'un modèle informatique de sédimentation en trois dimensions.

La modélisation de la dispersion des déblais permet uniquement de prédire leur sédimentation initiale sur le plancher océanique, mais pas leur altération, leur érosion ou leur devenir sur une longue période.

4.1 DESCRIPTION DU MODÈLE D'ADVECTION-DISPERSION

Les rejets de déblais de forage ont été analysés à l'aide d'un modèle informatique numérique élaboré par AMEC afin de déterminer leur sédimentation pendant les activités de forage. Le logiciel utilisé par AMEC pour mettre sur pied son modèle d'advection-dispersion fait appel au langage Visual Fortran. Il a été développé en tenant compte de l'expérience de l'entreprise et d'algorithmes de modélisation tels que ceux utilisés dans l'étude de modélisation du devenir des déblais du projet Hibernia (Hodgins, 1993). Le modèle a également été utilisé dans le cadre du projet Hebron (AMEC, 2010).

En vue d'étayer les résultats obtenus grâce à ce modèle, une description de ce dernier, des techniques utilisées et des observations relatives à la modélisation sont également fournies.

Dans ce modèle, l'advection-dispersion des particules de déblais de forage a été simulée en trois dimensions au moyen de calculs relatifs à leur transport dans la colonne d'eau après leur rejet dans la mer, et jusqu'à ce que les particules se déposent sur le fond marin. Afin de prédire la sédimentation des déblais sur le plancher océanique, on a considéré que ces derniers étaient composés de particules de quatre types ou tailles différentes : les gros morceaux de déblais, les cailloux, le sable grossier et les particules fines. On a supposé que ces tailles de particules étaient généralement représentatives de celles que l'on pourrait rencontrer pour ce type de puits.

On a supposé que chacune des particules pouvait, en tout temps, être soumise à des forces de déplacement indépendantes liées au courant océanique et à une vitesse de sédimentation constante. Un terme de diffusion turbulente a été ajouté à ces déplacements. Les déplacements ont été calculés sur la durée du pas de temps des données de courants océaniques, puis ont été ajoutés en vue de déterminer le nouvel emplacement des particules. Des vecteurs séquentiels ont été ainsi calculés pour chacun des pas de temps jusqu'à la fin de la simulation qui s'achève par la sédimentation sur le plancher océanique (ce qui peut se produire pas mal de temps après la fin du forage du puits).

La couverture de la grille du modèle a été déterminée pour inclure le site de forage et le comaine où pourraient se déposer les déblais. Le modèle a effectué le suivi du devenir des

particules et leur sédimentation. Outre leur trajectoire, il a également permis de relever le poids des particules, soit leur principale caractéristique. Une fois le modèle mis en œuvre et toutes les particules sédimentées, ou après qu'elles aient atteint les limites des mailles du modèle (auquel cas elles étaient considérées comme ayant dérivées hors du domaine et consignées comme « perdues »), chaque particule a été placée dans une cellule correspondant à une maille du modèle, et leur poids total, noté W , a été calculé. De plus, on a également calculé les paramètres suivants pour chaque maille :

$$C = W \times 1000 / A \quad (1)$$

$$T = C / \gamma \quad (2)$$

$$OC = OC_{initial} \times W / (A \times h \times (1 - n) \times \gamma_s) \quad (3)$$

où

- W = poids des déblais (kg)
- C = densité des déblais (g/m²)
- T = épaisseur des déblais (mm)
- OC = concentration en huile des déblais (mg/kg)
- A = superficie d'une maille (m²)
- γ = masse volumique *in situ* (1,850 kg/m³)
- OC_{initial} = concentration initiale en huile
- h = profondeur de brassage des sédiments (0,08 m)
- n = porosité du plancher océanique (0,4)
- γ_s = poids spécifique des déblais (2,596 kg/m³)

La concentration en huile est pertinente uniquement si l'on utilise des BBPS pour le forage des deux sections inférieures du puits d'exploration. On suppose également que tous les déblais sont traités adéquatement afin d'en extraire l'huile comme l'exigent les règlements actuels. OC_{initial}, la concentration en huile des déblais rejetés pendant un forage réalisé au moyen de BBPS, a été fixée à 7,4 g / 100 g, ce qui équivaut à 6,9 g / 100 g d'huile sur des solides secs, conformément aux Lignes directrices relatives au traitement des déchets dans la zone extracôtière (ONÉ et al., 2010).

4.2 DONNÉES DU MODÈLE

4.2.1 Caractérisation des particules de déblais

Le forage du puits (PP 1105) n'offre aucun renseignement sur les différentes tailles des particules de déblais qui permettrait de quantifier la composition des matières minérales en fonction de la profondeur où elles se trouvent.

Globalement, on estime que les déblais et les sédiments du puits se composent à 38 % de grès, à 49 % de schiste et à 13 % de siltite. En tenant compte de ces connaissances limitées et de la taille des déblais que pourrait rejeter le forage, on a supposé que la plupart (environ 75 %) des déblais seront volumineux, soit de 1 à 3 cm, qu'environ 20 % feront entre 0,5 et 1 cm, et que ceux qui restent seront inférieurs à 0,5 cm.

En ce qui concerne les deux sections supérieures du puits dont les déblais sont rejetés sur le plancher océanique, cette répartition a été appliquée au volume total des déblais *in situ*, soit 196 m³ (Tableau 2.1). Pour les déblais rejetés par l'appareil de forage après le forage des deux sections inférieures, on a adopté une répartition similaire, légèrement améliorée, pour un volume total *in situ* de 211 m³. Afin de tenir compte des particules très fines que pourrait générer le forage de ces deux sections du puits, on a transféré une petite quantité (5 %) des grosses particules aux particules fines (Tableau 4.1).

On suppose que les déblais se seront subdivisés en tombant dans l'eau. On a considéré, dans ce modèle, que les particules volumineuses, les cailloux et les particules de sable resteraient subdivisés pendant leur sédimentation sur le plancher océanique. On a également supposé que toutes les particules fines s'agrégeraient en floccs d'environ 0,1 mm et se sédimenteraient à une vitesse constante.

Tableau 4.1 Répartition des particules de déblais par taille

Section du puits	Pourcentage massique mesuré des particules			
	Déblais grossiers	Cailloux	Sable grossier	Particules fines
Scénario 1 : Trous d'interconnexion et de surface	75	20	5	0
Scénario 2 : Sections principale et intermédiaire	70	20	5	5

Les vitesses de sédimentation des particules, notées w , ont été estimées à partir du diamètre de ces dernières et à l'aide des relations établies par Sleath (1984) :

$$w = 4.2\sqrt{D}, D > 0.0001m \quad (4)$$

$$w = 12 \times 10^4 D^2, D \leq 0.0001m \quad (5)$$

où w exprime la vitesse de sédimentation en m/s et D le diamètre en mm.

Les résultats obtenus pour les quatre types de particules sont présentés au Tableau 4.2.

Tableau 4.2 Caractérisation de la taille des particules de déblais

	Type de déblais			
	Déblais grossiers	Cailloux	Sable grossier	Particules fines
Diamètre des particules (mm)	20	7	1	0.1
Vitesse de sédimentation des particules (m/s)	0.594	0.351	0.133	0.0012

4.2.2 Courants océaniques

Les champs de courants saisonniers des fonds marins de WebDrogue (section 3.2) ont été combinés aux champs de courants des marées (section 3.1) afin d'être utilisés dans le modèle de dispersion des particules en suspension dans la couche limite benthique. Les courants de marées ont été synthétisés pour chaque saison sur une durée de trente jours. La vitesse du courant résiduel saisonnier a ensuite été ajoutée aux courants de marée afin d'établir des séries temporelles composites distinctes reflétant les conditions hivernales, printanières, estivales et automnales. Dans les modèles de devenir à court terme, on a supposé que les courants sont constants sur tout le domaine de faible étendue. Dans le modèle de dispersion des particules en suspension dans la couche limite benthique, on a supposé, que les courants varient dans le temps et l'espace afin de représenter les variations des courants saisonniers sur toute l'étendue de la région de dispersion..

4.3 REJET DE DÉBLAIS SUR LE PLANCHER OCÉANIQUE (phase I)

4.3.1 Mise en œuvre du modèle

Pour le rejet de déblais sur le plancher océanique, le modèle d'advection-dispersion a été implémenté sur d'une grille cartésienne de 500 x 500 cellules de 2 m de côté chacune centrée à 48,0515°N, 060,3943°O . Cette grille couvre le site de forage ± 1 km. On suppose que la profondeur y est uniforme (470 m). Le volume total des déblais de forage rejetés s'élève à 196 m³.

4.3.2 Résultats du modèle

La figure 4.1 illustre la prédiction de la sédimentation des déblais en hiver une fois les trous d'interconnexion et de surface achevés. Des épaisseurs de 1 mm, 1 et 2 cm, 10 et 20 cm, et de 1 et 2 m y sont présentées. On constate très peu de différence entre le printemps, l'été et l'automne, le site de rejet se trouvant à environ 10 m au dessus du plancher océanique.

Le Tableau 4.3 présente, pour les quatre saisons, un résumé statistique des modèles de sédimentation des déblais sur le plancher océanique. Les résultats des modèles indiquent que les déblais formeront un dépôt sur environ 30 m à partir du site de forage. L'épaisseur du dépôt sera plus importante aux abords du site de forage et pourrait atteindre environ 4,7 m. Du centre du puits à environ 20 m de celui-ci, on prévoit qu'elle sera d'environ 220 mm en moyenne, et de 1 mm entre 20 et 50 m.

Tableau 4.3 Résumé des modèles de sédimentation des déblais rejetés sur le plancher océanique

Hiver		Proximité par rapport au point d'origine (km)		Zone (km ²)	# de cellules de grille	Poids total (tonnes)	Densité moyenne (g/m ²)	Épaisseur moyenne (mm)	Épaisseur maximum (mm)	Concentration moyenne d'hydrocarbures (mg/kg)
Région	R1 < Région ≤ R2									
1	0	0.001	3.14E-06	1	34	8490582.0	4589.50	4589.50	0	
2	0.001	0.02	1.26E-05	287	474.7	413503.0	223.52	4862.72	0	
3	0.02	0.05	0.01	36	0.2	1049.7	0.57	2.64	0	
4	0.05	0.1	0.03	0	0	0.0	0.00		0	
5	0.1	0.2	0.13	0	0	0.0	0.00		0	
6	0.2	0.5	0.79	0	0	0.0	0.00		0	
Total	0	0.5	0.95	324	508.8					
Printemps										
1	0	0.001	3.14E-06	1	32.8	8152870.5	4406.96	4406.96	0	
2	0.001	0.02	1.26E-05	299	475.1	388055.4	215.16	4677.04	0	
3	0.02	0.05	0.01	34	0.1	952.8	0.51	1.86	0	
4	0.05	0.1	0.03	0	0	0.0	0.00		0	
5	0.1	0.2	0.13	0	0	0.0	0.00		0	
6	0.2	0.5	0.79	0	0	0.0	0.00		0	
Total	0	0.5	0.95	334	508.8					
Été										
1	0	0.001	3.14E-06	1	32.4	8111157.0	4384.41	4384.41	0	
2	0.001	0.02	1.26E-05	298	475.3	399577.6	215.99	4732.22	0	
3	0.02	0.05	0.01	24	0.1	777.0	0.42	1.33	0	
4	0.05	0.1	0.03	0	0	0.0	0.00		0	
5	0.1	0.2	0.13	0	0	0.0	0.00		0	
6	0.2	0.5	0.79	0	0	0.0	0.00		0	
Total	0	0.5	0.95	323	508.8					
Automne										
1	0	0.001	3.14E-06	1	32.9	8225540.0	4446.24	4446.24	0	
2	0.001	0.02	1.26E-05	288	475.8	413033.6	223.26	4716.83	0	
3	0.02	0.05	0.01	27	0.1	908.8	0.49	1.33	0	
4	0.05	0.1	0.03	0	0	0.0	0.00		0	
5	0.1	0.2	0.13	0	0	0.0	0.00		0	
6	0.2	0.5	0.79	0	0	0.0	0.00		0	
Total	0	0.5	0.95	316	508.8					

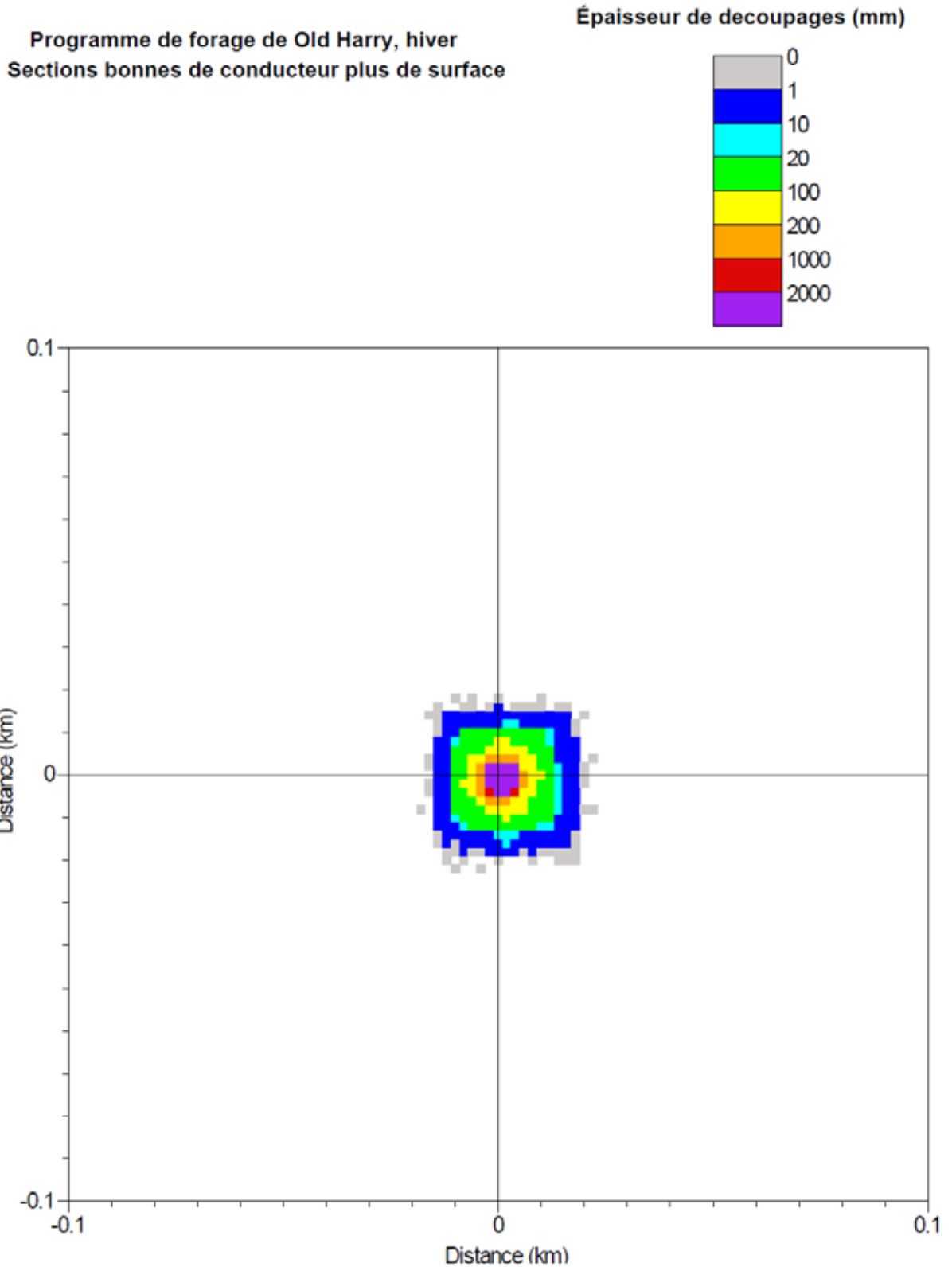


Figure 4.1 Sédimentation des déblais après le forage des trous d'interconnexion et de surface, en hiver, vue de 1 km.

4.4 REJET DES DÉBLAIS DE FORAGE À LA SURFACE (phase II)

4.4.1 Mise en œuvre du modèle

Pour le rejet de déblais à la surface le modèle d'advection-dispersion a été implémenté sur une grille cartésienne de 500 x 500 cellules de 100 m de côté chacune centré à 48,0515°N, 060,3943°O. Cette grille couvre le site de forage ± 25 km. On suppose que la profondeur est uniforme (470 m) pour l'ensemble du modèle. Le volume total des déblais de forage rejetés s'élève à 211 m³.

4.4.2 Résultats du modèle

Le Tableau 4.4 présente, pour les quatre saisons, un résumé statistique des modèles de sédimentation sur le plancher océanique des déblais rejetés à la surface. En raison de la chute plus rapide des particules de déblais plus volumineuses et plus lourdes, l'épaisseur du dépôt de déblais est plus importante à proximité du centre du puits et peut atteindre 15 mm. Du centre du puits à environ 100 m de celui-ci, elle pourrait atteindre environ 6 mm, mais sera de 2 mm en moyenne. Entre 100 et 200 m, l'épaisseur du dépôt pourrait atteindre 6 mm, mais oscillera en moyenne entre 0,5 et 1 mm.

La concentration en huile des déblais est présentée au Tableau 4.4 en mg/kg (ou ppm) et équivaut environ à une ou deux fois l'épaisseur de l'huile en microns (p. ex., si l'épaisseur est égale à 1 000 microns [1 mm], la concentration en huile sera d'environ 1 000 à 2 000 mg/kg). On prévoit qu'à 50 m du point de rejet, la concentration en huile des déblais, calculée pour l'une des cellules de la grille du modèle située aux abords immédiats du puits, sera d'environ trois quarts inférieure à ce qu'elle était au moment du rejet, soit 17 000 mg/kg. Entre 50 et 100 m du site de forage, la concentration en huile chute à 2 400 mg/kg, soit une réduction supplémentaire d'un facteur sept. Au-delà de 200 m, la concentration en huile des déblais est inférieure ou égale à 44 mg/kg. On prévoit une concentration inférieure ou égale à 3 mg/kg au-delà de 500 m.

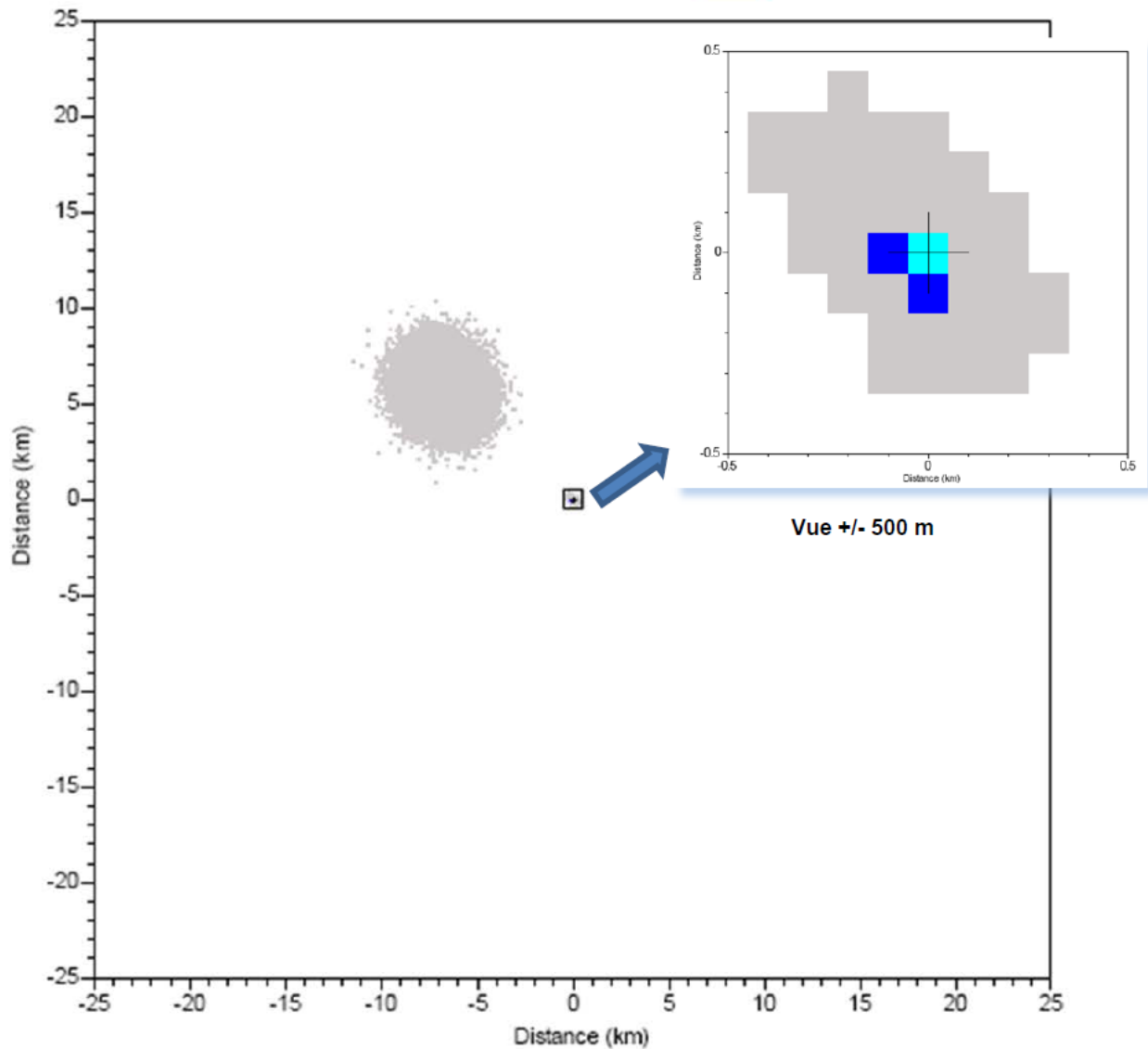
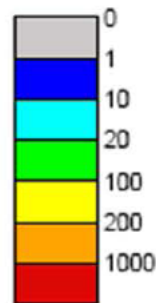
La Figure 4.2 illustre le modèle de sédimentation des déblais sur une grille de 25 km x 25 km. L'encart offre une vue plus précise (échelle de 500 m) afin d'observer la sédimentation plus rapide des particules plus volumineuses. La Figure 4.3 présente une observation de la sédimentation dans région du golf du Saint-Laurent.

Tableau 4.4 Résumé des modèles de sédimentation des déblais rejetés à la surface

Hiver		Proximité par rapport au point d'origine (km)		Zone (km ²)	# de cellules de grille	Poids total (tonnes)	Densité moyenne (g/m ²)	Épaisseur moyenne (mm)	Épaisseur maximum (mm)	Concentration moyenne d'hydrocarbures (mg/kg)
Région		R1 < Région ≤ R2								
1	0	0.05	7.85E-03	1	285.7	28555.2	15.44	15.44	16963.8	
2	0.05	0.1	0.03	4	154.9	3873.5	2.09	4.59	2300.3	
3	0.1	0.2	0.13	8	82.9	785.1	0.43	2.85	486.8	
4	0.2	0.5	0.79	31	16.9	54.4	0.03	0.19	32.3	
5	0.5	1	3.14	3	0	0.1	0	0	0.1	
6	1	2.5	19.63	0	0	0	0	0	0	
7	2.5	25	1963.5	3132	27.4	0.9	0	0	0.5	
Total	0	2.5	1987.21	3179	547.7					
Printemps										
1	0	0.05	7.85E-03	1	242.4	24238.9	13.1	13.1	14394.8	
2	0.05	0.1	0.03	4	134.4	3360.3	1.82	3.15	1995.6	
3	0.1	0.2	0.13	7	122.8	1753.7	0.95	6.22	1041.4	
4	0.2	0.5	0.79	28	20.8	73.5	0.04	0.22	43.8	
5	0.5	1	3.14	7	0.3	3.9	0	0.01	2.3	
6	1	2.5	19.63	0	0	0	0	0	0	
7	2.5	25	1963.5	3188	27.4	0.9	0	0	0.5	
Total	0	2.5	1987.21	3235	547.8					
Été										
1	0	0.05	7.85E-03	1	249.6	24959	13.49	13.49	14822.2	
2	0.05	0.1	0.03	4	130.4	3260.2	1.76	3.88	1936.1	
3	0.1	0.2	0.13	7	118.8	1697.4	0.92	6.07	1008	
4	0.2	0.5	0.79	31	21.3	68.6	0.04	0.32	40.8	
5	0.5	1	3.14	6	0.3	5.4	0	0.01	3.2	
6	1	2.5	19.63	0	0	0	0	0	0	
7	2.5	25	1963.5	3183	27.4	0.9	0	0	0.5	
Total	0	2.5	1987.21	3232	547.8					
Automne										
1	0	0.05	7.85E-03	1	279.6	27950.2	15.11	15.11	16604.8	
2	0.05	0.1	0.03	4	162.3	4058.1	2.19	5.44	2409.9	
3	0.1	0.2	0.13	8	80.6	758.1	0.41	2.69	450.2	
4	0.2	0.5	0.79	30	17.8	59.2	0.03	0.2	35.1	
5	0.5	1	3.14	4	0	1	0	0	0.4	
6	1	2.5	19.63	0	0	0	0	0	0	
7	2.5	25	1963.5	3145	27.4	0.9	0	0	0.5	
Total	0	2.5	1987.21	3192	547.8					

Programme de forage de Old Harry, hiver
Sections bonnes de force plus d'intermédiaire

Épaisseur de coupages (mm)



Prepared by AMEC
Thu Mar 31 21:19:38 2011

Figure 4.2 Sédimentation des déblais à la suite du forage des sections principale et intermédiaire, en hiver, vue de 25 km, avec un encart offrant une échelle de 500 m centrée sur le puits

Programme de forage de Old Harry, hiver
Sections bonnes de force plus d'intermédiaire

Épaisseur de découpages (mm)

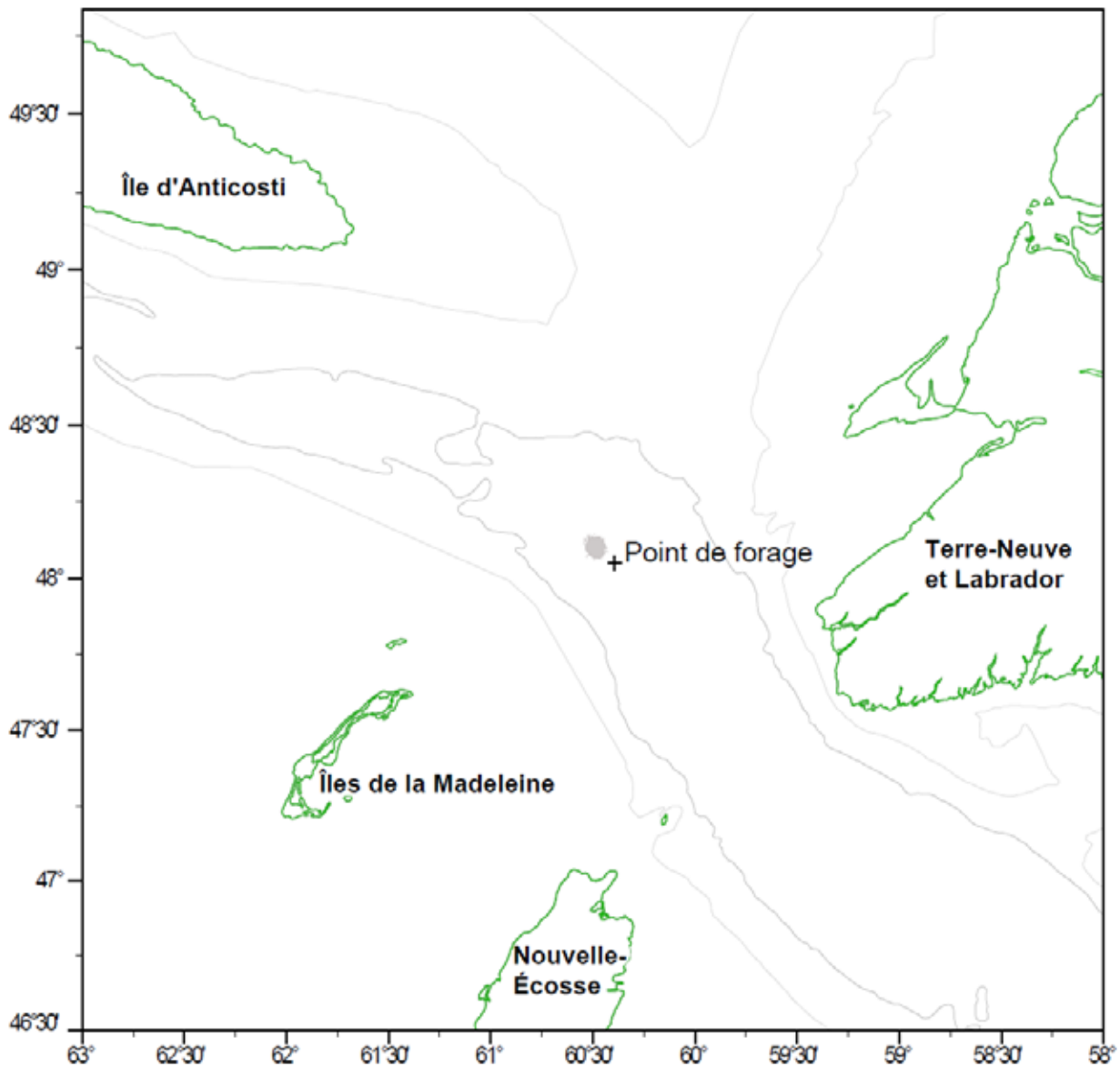
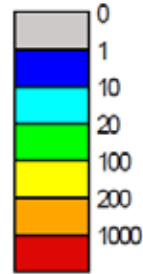


Figure 4.3 Sédimentation des déblais à la suite du forage des sections principale et intermédiaire, en hiver, vue du golf du Saint-Laurent, contours à 200 et à 400 m de profondeur

5.0 DEVENIR À COURT TERME DES REJETS DE BOUES DE FORAGE

5.1 SUR LE PLANCHER OCÉANIQUE (phase III)

Les boues en suspension se dilueront tout en remontant sous forme d'un panache turbulent. On considère que des activités de forage en continu engendrent une succession de nuages de matières d'un volume total de 1210 m³. La dilution de chacun des nuages intervient d'abord sous l'effet du mélange de leur quantité de mouvement initiale avec les courants locaux plus lents, et ensuite sous les effets combinés de la turbulence océanique et de la dispersion par cisaillement alors que les courants ambiants les éloignent du site de forage.

Il est difficile de quantifier exactement la trajectoire de dispersion d'un nuage particulier, mais il est possible d'en décrire le processus en termes généraux en se fondant sur les processus physiques connus et le courant ambiant. Aux fins de cette évaluation, on suppose que les BBE sont expulsées du puits à des vitesses de l'ordre de 1 m/s, alors que les courants océaniques ambiants varient entre 3 et 26 cm/s (section 5.2.1.2). Ainsi, sur la base du principe de conservation de la quantité de mouvement, la dilution initiale est comprise entre 4:1 et 33:1, selon la phase de la marée. Sa densité étant supérieure à celle de l'eau de mer ambiante, une fois dilué le nuage aura tendance à tomber dans la couche limite benthique. Dans les grands fonds marins, cette couche présente habituellement une épaisseur d'environ 1 m (Wimbush et Munk, 1970). En raison du cisaillement des courants et de la turbulence dans la couche limite, le nuage aura tendance à rester en suspension au-dessus du plancher océanique. En supposant que le panache initial ait la forme simplifiée d'un cylindre aplati, un volume de 15 m³ au moment du rejet (volume typique de balayage), et une dilution initiale de 4:1, le nuage aura un diamètre d'environ 9 m à ce moment. En raison de l'advection, son diamètre continuera à croître alors que les concentrations de boues diminueront à cause de la dispersion et du brassage. En s'appuyant sur une diffusivité horizontale typique à petite échelle de 0,01 m²/s (Okubo, 1971), une dilution supplémentaire d'un facteur deux demandera environ deux heures. À ce moment le nuage aura été déplacé par les courants ambiants sur une distance comprise entre 200 et 1700 m. D'autres facteurs non pris en compte ici, tels que les effets de la rugosité du plancher océanique et la topographie, augmenteront probablement la dispersion. Bien qu'elle ne soit pas strictement rigoureuse, la description ci-dessus offre une idée raisonnable du processus par lequel les rejets de boue sur le plancher océanique qui se produisent lors du lançage et du forage des sections supérieures du puits produisent, dans un premier temps, des petits nuages de fines particules dans la couche limite benthique. Ces nuages continueront à se diluer sous l'effet de la turbulence, puis seront dispersés au nord-ouest du site de forage en raison de l'advection occasionnée par le courant ambiant.

5.2 REJET DE BOUES À LA SURFACE (phase IV)

Le rejet prévu de 400 m³ de BBE à la fin du programme de forage entraînera la présence de sédiments en suspension dans la colonne d'eau. Le rejet en vrac de BBE est prévu à environ 30 m sous la surface et devrait être relativement court (environ quelques secondes). Les matières devraient d'abord tomber dans la colonne d'eau sous la forme d'une coulée bien

définie avec une densité supérieure à la densité ambiante. Ainsi, le comportement et le devenir à court terme des boues rejetées peuvent être modélisés à l'aide du modèle ADDAMS-STFATE (Short Term FATE), qui a été élaboré par Brandsma et Divoky (1976), et qui s'appuie sur les travaux de Koh et Chang (1973). Le modèle STFATE permet de décrire le comportement à court terme des sédiments rejetés dans un chenal ou une étendue d'eau libre, en isolant trois phases du comportement du panache de sédiments après son rejet :

- **Descente convective** : Le nuage de sédiments tombe rapidement sous l'influence de la gravité.
- **Effondrement dynamique** : Étape où, pendant sa descente, le nuage atteint le fond marin ou arrive à un niveau de flottabilité neutre (même densité que l'eau ambiante).
- **Transport-Dispersion passif** : Étape où le transport et la dispersion des matières sont déterminés par les courants ambiants et la turbulence, plutôt que par la dynamique du rejet.

Le modèle comprend les équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement, de la flottabilité, des particules solides et de la vorticité. Au moment du rejet, le déplacement des sédiments vers le fond est modélisé comme celui d'un nuage dont les composants solides affichent une concentration qui respecte la loi normale. Les concentrations maximales se retrouvent au centre du nuage. À chaque pas de temps, le modèle évalue le processus d'entraînement du fluide ambiant et le détachement des particules solides du nuage. Enfin, le modèle ajuste constamment la vitesse de sédimentation des fragments de sédiments cohésifs. La diminution progressive de leur concentration entraîne généralement une réduction de la vitesse de sédimentation.

5.2.1 Données du modèle

5.2.1.1 Caractéristiques des rejets de boues à base d'eau

Les scénarios modélisés incluent le rejet de 450 m³ de matières composées de 50 m³ d'eau hypersaline de densité 1 060 kg/m³ et de 400 m³ de BBE. La BBE contient 35,25 m³ d'argile d'une densité de 2 700 kg/m³, 3,45 m³ de baryte d'une densité de 4 200 kg/m³ et 361,3 m³ d'eau de mer de densité 1 025 kg/m³. Ainsi, les données saisies dans le modèle STFATE représentent les fractions solides et 411,3 m³ d'eau de mer de densité 1 029,3 kg/m³ (mélange de 361,3 m³ de densité 1 025 kg/m³ et de 50 m³ de densité 1 060 kg/m³). On considère que la baryte et l'argile sont cohésives, et qu'elles représentent 0,77 % et 7,83 % du volume des BBE respectivement (Tableau 5.1). Les vitesses de sédimentation initiales s'appuyaient sur les valeurs nominales médianes (Niu et coll., 2008) et, étant donné que les sédiments cohésifs peuvent former des floes de plusieurs tailles, leur vitesse de sédimentation dépend par conséquent de la concentration dans le temps. Les boues seront rejetées pendant cinq secondes par une chute d'environ 0,5 m de largeur.

Tableau 5.1 Caractéristiques des BBE saisies dans le modèle STFATE

Description	% de l'échantillon total (sec)	Gravité spécifique	Volume de BBE (en %)	Vitesse de sédimentation (mm/s)	Aspect
Baryte	9	4.2	0.77	5	Cohésif
Argile	91	2.7	7.83	0.6	Cohésif
Densité supposée de l'eau interstitielle : 1 025 kg/m ³					

5.2.1.2 *Caractéristiques océanographiques ambiantes*

Les simplifications et les hypothèses suivantes ont été élaborées pour les besoins du modèle STFATE :

- On émet l'hypothèse que la profondeur du site est de 470 m et qu'elle demeure constante pour tous les scénarios.
- On suppose que la colonne d'eau est stratifiée, et comportera plusieurs profils de densité pour les quatre saisons énoncés au Tableau 3.3 (section 3.3).
- On tient compte de cinq scénarios différents de marée dans chaque saison, soit 20 scénarios au total :
 - flot en mortes-eaux;
 - jusant en mortes-eaux;
 - flot en vives-eaux;
 - jusant en vives-eaux;
 - étale.
- Le profil de la vitesse de courant a été schématisé dans le modèle STFATE par deux points sur la verticale et grille de profondeur constante. Il tient également compte des courants résiduels (Tableau 3.2) et des courants de marée (Tableau 3.1). Les données sur les courants résiduels saisonniers de surface et du fond marin ont été extraites des résultats de la modélisation effectuée à l'aide de WebDrogue, et les courants de marée ont été obtenus à l'aide du modèle WebTide du MPO (section 3.0).

5.2.2 **Résultats obtenus à l'aide du modèle STFATE**

Le modèle STFATE a été utilisé pour cinq phases de marée différentes dans chacune des quatre saisons, en appliquant à chaque fois leurs profils de courants résiduels et de densité respectifs. Cela a permis de simuler le devenir à court terme des panaches de BBE pendant l'heure suivant leur rejet, période au cours de laquelle on a supposé que les courants demeureraient relativement constants. Le panache n'a atteint le plancher océanique dans aucun des scénarios, mais a atteint une flottabilité neutre avant d'arriver à mi profondeur. Par

conséquent, les résultats du modèle (Tableau 5.2) incluent le diamètre et la position du panache à la fin de la phase de descente convective, ainsi que la largeur horizontale et l'épaisseur verticale du nuage ellipsoïdale à la fin de la phase d'effondrement pour chacun des scénarios.

L'évolution du panache entre son rejet et son effondrement est illustrée par la Figure 5.1, qui s'appuie sur une simulation de jusant en eaux vives effectuée au printemps. La phase de descente convective et la phase d'effondrement sont représentées dans les vues latérale et du dessus du nuage. Le rejet de BBE est centré sur les coordonnées du point d'origine du système. Il semble que le panache descende d'abord verticalement, puis qu'il prenne de l'expansion et entraîne de plus en plus d'eau de mer ambiante. À la fin de la phase de descente, la partie inférieure du nuage atteint une profondeur d'environ 185 m. Les sédiments s'effondrent alors en un nuage plat, généralement ellipsoïdal, qui s'équilibre à une profondeur d'environ 150 m au sud-est du point de rejet.

Les résultats du Tableau 5.2 montrent que la durée des phases de descente et d'effondrement du nuage, la profondeur atteinte par celui-ci et sa taille étaient semblables pour toutes les phases de marée au cours d'une saison donnée. Ainsi, le centroïde du nuage atteint la profondeur maximale (151 m) dans les scénarios hivernaux et la profondeur minimale (124 m) dans les scénarios estivaux, ce qui reflète une stratification plus importante de l'eau ambiante pendant les mois d'été. L'effondrement du nuage s'est achevé à des profondeurs similaires dans toutes les phases de descente convective de chaque scénario, ce qui indique qu'une fois l'état de flottabilité neutre atteint à une profondeur donnée, le nuage a eu tendance à rester proche de cette profondeur. La largeur horizontale maximale (210 m) à la fin de la phase d'effondrement du nuage a été relevée durant les scénarios hivernaux, et la plus petite (170 m) au cours des scénarios estivaux. Le nuage a atteint sa superficie extérieure maximale après effondrement (425 m à partir du point d'origine) au cours des scénarios hivernaux. Les différents scénarios de marée ont montré qu'en général, les nuages se sont déplacés vers le sud-est (marée descendante) et vers le nord-ouest (marée montante) du point de rejet, avec des déplacements plus longs pendant les marées de vives eaux que pendant les marées de mortes-eaux.

À la fin de la phase d'effondrement du nuage, le comportement des nuages de sédiments de BBE n'est plus régi par la dynamique du rejet. La dispersion ultérieure à laquelle ils seront donc des lors soumis sera sous l'effet des courants ambiants résiduels et des marées. Les concentrations de sédiments au centre des nuages à la fin de chaque phase indiquent qu'ils ont subi des facteurs minimums de dilution compris entre 20 et 30 au cours des 30 minutes suivant l'heure du rejet, et des facteurs minimums de dilution compris entre 60 et 80 une heure après le rejet dans tous les scénarios. La réduction des concentrations en baryte et en argile occasionne une réduction supplémentaire des vitesses de sédimentation. Elles devraient atteindre la couche limite en l'espace de quelques jours.

Tableau 5.2 Résultats de la modélisation du devenir à court terme

Scénarios du modèle STFATE		Fin de la phase de descente convective				Fin de la phase d'effondrement du nuage					
Saison	Phase de la marée	Temps à partir du rejet (s)	Position du centroïde par rapport au caisson		Diamètre du panache (m)	Temps à partir du rejet (s)	Profondeur (m)	Position du centroïde par rapport au caisson		Largeur du nuage (m)	Épaisseur du nuage (m)
			Profondeur (m)	Nord (m)				Est (m)	Nord (m)		
HIVER	Flot en mortes-eaux	214	151	6	-5	81	150	59	-55	210	12
	Jusant en mortes-eaux			-16	15			-124	112		
	Flot en eaux vives			30	-22			260	-188		
	Jusant en eaux vives			-30	27			-242	212		
	Étale			0	0			0	0		
PRINTEMPS	Flot en mortes-eaux	201	146	8	-5	78	145	72	-52	203	12
	Jusant en mortes-eaux			-13	14			-100	105		
	Flot en eaux vives			31	-20			260	-177		
	Jusant en eaux vives			-26	26			-209	199		
	Étale			0	0			0	0		
ÉTÉ	Flot en mortes-eaux	152	124	1	-4	68	123	19	-41	177	10
	Jusant en mortes-eaux			-14	10			-111	44		
	Flot en eaux vives			18	-15			160	-135		
	Jusant en eaux vives			-24	18			-194	148		
	Étale			0	0			0	0		
AUTOMNE	Flot en mortes-eaux	170	132	1	-5	72	132	23	-48	187	11
	Jusant en mortes-eaux			-19	11			-149	90		
	Flot en eaux vives			17	-17			157	-149		
	Jusant en eaux vives			-30	21			-241	170		
	Étale			0	0			0	0		

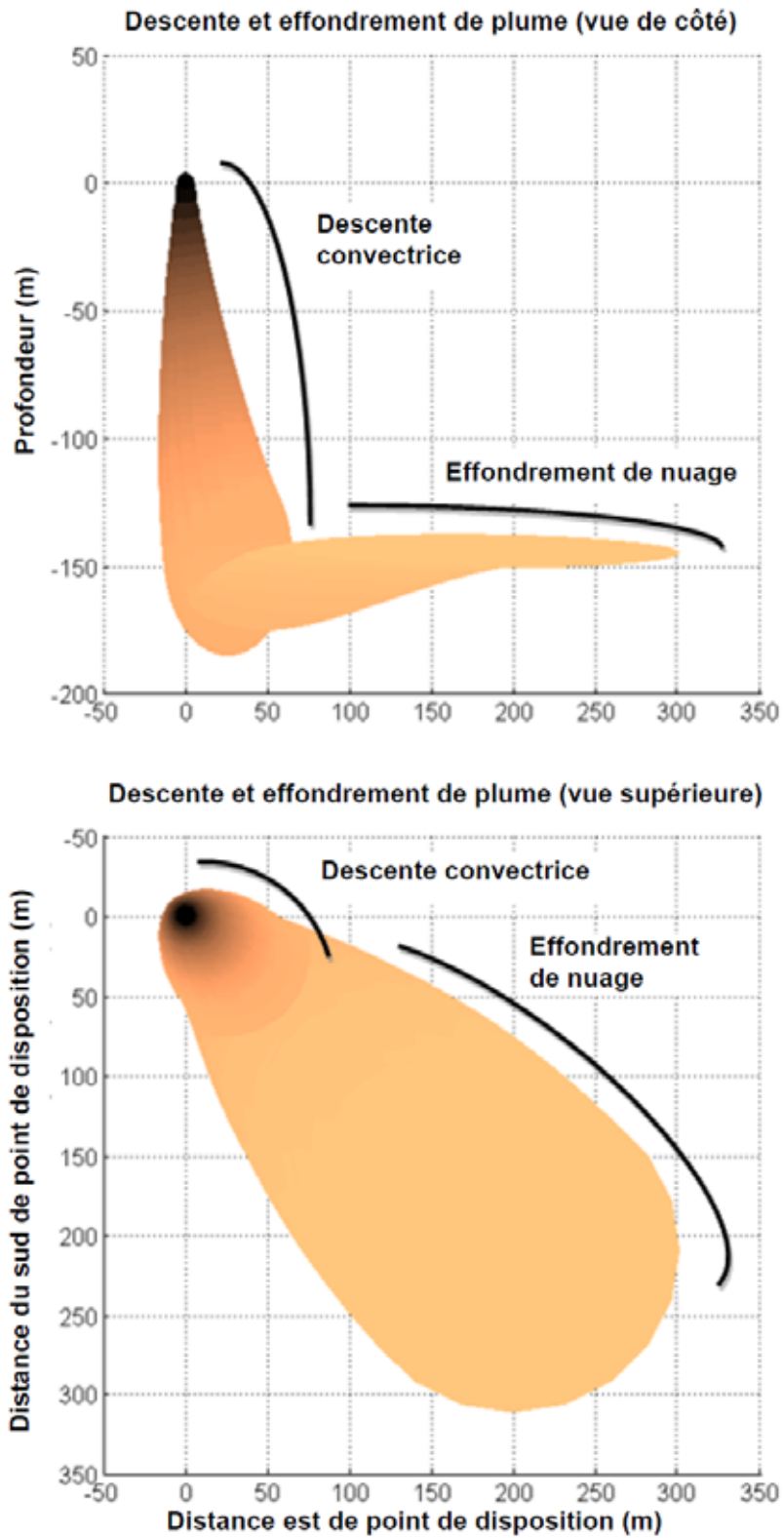


Figure 5.1 Diagramme illustrant la descente et l'effondrement du panache pendant le scénario printanier de jusant en eaux vives

6.0 DISPERSION À LONG TERME DES BOUES DE FORAGE REJETÉES (phases III et IV)

Le devenir à long terme des boues de forage a été évalué à l'aide du modèle de dispersion des particules en suspension dans la couche limite benthique du MPO (Drozdowski et al., 2004, Drozdowski, 2009). Le modèle a été implémenté pour simuler les pires scénarios hypothétiques de rejet de baryte et de bentonite en s'appuyant sur le calendrier de forage décrit à la section 2.0. Les champs de courants décrits à la section 3.0 pour différents scénarios ont été utilisés pour forcer le modèle.

6.1 DESCRIPTION DU MODÈLE DE DISPERSION DES PARTICULES EN SUSPENSION DANS LA COUCHE LIMITE BENTHIQUE

Le modèle de dispersion des particules en suspension dans la couche limite benthique (modèle BBLT) a été initialement élaboré au milieu des années 1990 afin de prédire le transport et la dispersion des particules de débris de forage en suspension (essentiellement les composantes solides des boues de forage) dans la couche limite benthique (Hannah et al., 1995). Le développement d'un modèle qui puisse représenter les processus qui surviennent dans la couche limite benthique, les quelques premiers mètres au dessus du plancher océanique, a été motivé par le fait que les vitesses de sédimentation (comprises entre quelques mm/s et 1 cm/s) des particules de boues de forage sont suffisantes pour leur permettre de se déposer sur le fond, mais que les particules sont aussi suffisamment fines pour être remises en suspension par les courants dans cette couche.

Dans le modèle BBLT, on suppose que les matières sont d'abord réparties sur le fond (à un endroit précis ou dans une certaine zone). Les particules en suspension sont ensuite modélisées en deux étapes : la répartition verticale et le transport horizontal. À chaque pas de temps, les sédiments sont redistribués sur la verticale de manière aléatoire par petits paquets de particules pour représenter le brassage turbulent dans la couche limite. Ensuite, les matières sont transportées horizontalement dans le champ de courants. Comme la vitesse des courants augmente avec la hauteur au dessus du fond, les paquets progressent à des vitesses différentes en fonction de leur hauteur au dessus du fond à chaque pas de temps, ce qui a un effet dispersif sur l'ensemble des matières.

Aux fins de cette étude, BBLT a été implémenté en utilisant la moyenne verticale des courants à proximité du plancher océanique. La structure verticale des courants de la couche limite benthique et le cisaillement vertical qui lui est associé sont paramétrés dans BBLT à l'aide d'un profil logarithmique tel que décrit par Drozdowski (2004).

6.2 IMPLÉMENTATION DU MODÈLE : DONNÉES SUR LE REJET DE BOUES

Étant donné que la baryte (un agent alourdissant) et la bentonite (un minéral argileux) sont les principaux composants des BBE, et que ce sont également des matières préoccupantes pour l'environnement marin (Cranford et Gordon, 1992, Cranford, 1995 et Cranford et al., 1999), ce sont les deux seuls composants dont on a tenu compte dans cette étude. La baryte et la

bentonite ont une densité et une vitesse de sédimentation très différentes, de sorte que leur dispersion a été simulée au moyen de deux modèles BBLT distincts.

Les fichiers qui décrivent le rejet des boues ont été créés à l'aide des données et des hypothèses suivantes :

- On a supposé que le programme de forage décrit à la section 2.0 s'est déroulé sans interruption entre le forage et la cimentation des sections du puits. Cela constitue l'un des pires scénarios en matière de rejet de matières dans l'environnement. L'ensemble des rejets a été regroupé et modélisé afin qu'ils s'étalent sur une période de 15 jours alors qu'en réalité, les activités de forage dureront entre 20 et 50 jours.
- On a supposé que les boues étaient rejetées de façon continue et que des matières entraient dans le système toutes les heures.
- On a également supposé que les boues étaient rejetées en continu par l'appareil de forage avec les déblais pendant le forage des deux sections principales du puits. Le volume dont on a tenu compte est celui des boues perdues pendant le processus de recyclage (565 m³, voir Tableau 2.1). On suppose que les rejets contiennent uniquement de la baryte étant donné que l'on n'a pas utilisé de bentonite pour forer ces sections du puits (Tableau 2.1). Globalement, on suppose que le forage de chacune des sections a rejeté environ 8,355 t et 11,14 t de baryte respectivement.
- On suppose que la quantité de baryte restante sera rejetée en vrac instantanément une fois le forage de la dernière section achevé. Grâce à la méthode de fraction de Loder et al. (1999) et aux résultats de la section 5.2, on a estimé à 20 % la quantité totale de matières qui atteindra la couche limite benthique à proximité de l'appareil de forage. Par conséquent, on suppose que 3,1 t de baryte seront rejetées instantanément sur le site de forage.

Les scénarios de rejet de la baryte et de la bentonite sont illustrés aux Figures 6.1 et 6.2 respectivement. Chaque scénario du modèle BBLT a été mis en œuvre pendant 720 heures (30 jours).

L'implémentation du modèle BBLT nécessite que chaque paquet représente une certaine quantité de matière (Hannah et al., 1995). Comme cela est habituellement recommandé, on a attribué une masse de 1 kg à chaque paquet (Drozdowski, 2004). L'ensemble des rejets se présente par conséquent sous la forme de 140 000 paquets de bentonite et d'environ 272 000 paquets de baryte.

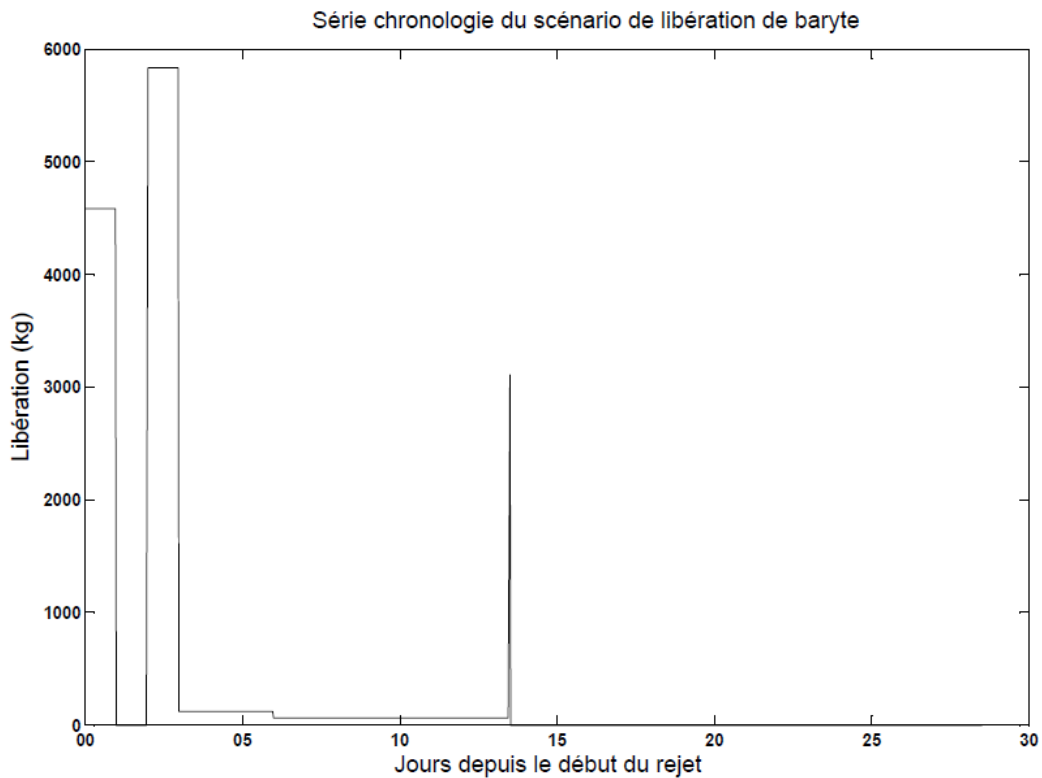


Figure 6.1 Série chronologique des rejets de baryte du modèle BBLT

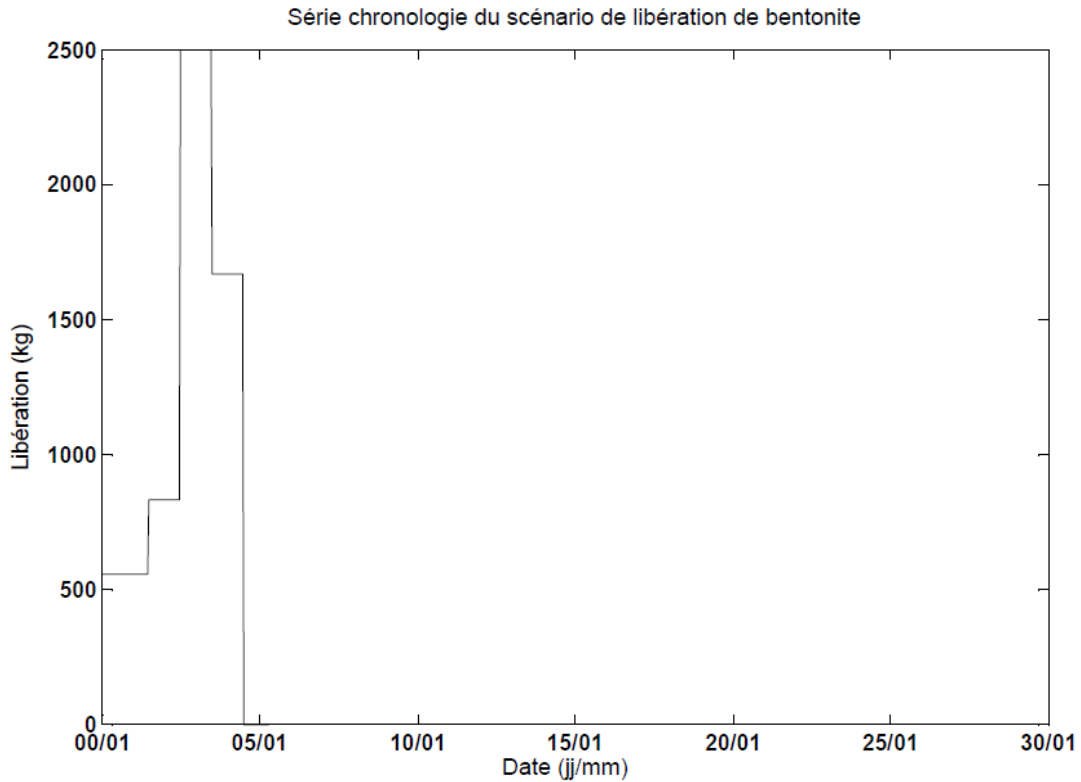


Figure 6.2 Série chronologique des rejets de bentonite du modèle BBLT

6.3 IMPLÉMENTATION DU MODÈLE : CHAMPS DE VITESSES DES COURANTS

Les champs de courants saisonniers des fonds marins de WebDrogue (section 3.2) ont été combinés aux champs de courants des marées (section 3.1) afin d'être utilisées dans le modèle de dispersion des particules en suspension dans la couche limite benthique.

6.4 IMPLÉMENTATION DU MODÈLE : VITESSE DE SÉDIMENTATION DES PARTICULES

L'importance de la vitesse de sédimentation a été soulignée dans plusieurs des études précédentes (p. ex., Thomson et al., 2000, Tedford et al., 2003, et Hannah et al., 2003). Comme l'a souligné Drozdowski (2004) : « [traduction] il sera toujours problématique de spécifier la vitesse de sédimentation [...] et celle-ci dépendra fortement des matières modélisées ».

En tenant compte des études précédentes, il s'agissait ici d'établir la fourchette de valeurs qui couvre les situations possibles. Le contexte est le suivant. Les vitesses élevées de sédimentation de l'ordre de 0,5 cm/s ou plus concernent habituellement les boues floculées rencontrées, en règle générale, à proximité du point de rejet lorsqu'elles commencent à se mélanger à l'eau de mer, alors que les vitesses de sédimentation moins élevées de l'ordre de 0,1 cm/s ou moins sont plus souvent celles de fines particules de baryte isolées. Étant donné que la floculation dépend de la concentration, le mode de rejet déterminera la formation ou non de floccs. Le rejet des boues directement sur le plancher océanique par exemple (soit l'essentiel du rejet dans le cas présent) est un processus qui pourrait entraîner des concentrations (voir section 5.1) et des vitesses de sédimentation initiales élevées. D'autre part, les boues qui pourraient se défaire des déblais pendant leur descente vers le plancher océanique (une part mineure du rejet total dans le cas présent) contribueront probablement faiblement, de par leur faible concentration, à la formation de floccs (faible vitesse de sédimentation). Enfin, il conviendrait de considérer que les boues rejetées en vrac à la fin du forage du puits auront une concentration élevée, mais qu'étant donné que la profondeur du site de forage est de 470 m, le panache n'atteindra pas directement le fond. La majeure partie des matières (80 %) sera par conséquent transportée en zone pélagique (comme décrit par Loder et al., 1998).

Afin d'établir la fourchette des vitesses de sédimentation aux fins de simulations, on a retenu deux vitesses: 0,1 cm/s et 1 cm/s.

6.5 RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION DE LA DISPERSION DES BOUES

Chacun des 16 scénarios de BBLT a été mis en œuvre pendant 720 heures. Ces scénarios s'appuyaient sur les matières à modéliser et sur les conditions ambiantes suivantes :

Deux composants des boues :

- baryte;
- bentonite.

Deux vitesses de sédimentation pour chacun des composants à modéliser :

- faible vitesse de sédimentation de 1 mm/s;
- vitesse élevée de sédimentation de 10 mm/s.

Ces valeurs correspondent à la fourchette de valeurs utilisées précédemment dans des études similaires (p. ex., Thomson et al., 2000; Tedford et al., 2003, et Hannah et al., 2003) où 1 mm/s représentait la vitesse d'une particule fine isolée de baryte, alors que 10 mm/s était la vitesse des matières flocculées.

Quatre champs de courants saisonniers ont été simulés à l'aide de WebDrogue afin de représenter les conditions de circulation des courants régionaux en hiver, au printemps, en été et en automne.

Le Tableau 6.1 présente un résumé de l'implémentation du modèle BBLT.

Tableau 6.1 Résumé dde l'implémentation du modèle BBLT

Paramètre	Valeur
Durée de mise en œuvre	720 heures
Pas de temps des champs de vitesse	1 heure
Pas de temps d'advection (interne)	0,1 heure
Durée du déplacement vertical	3 heures
Méthode de déplacement vertical	2
Vitesses de sédimentation (constantes)	0,001 à 0,01 m/s 0,0035 m
Hauteur de référence (Href)	30 m
Hauteur de la couche limite (Hmax)	0.4
Constante de von Kármán	

Seize scénarios ont été étudiés à des fins de simulations préliminaires en utilisant les deux rejets distincts de matières (baryte et bentonite), les courants de quatre saisons (hiver, printemps, été et automne) et deux vitesses de sédimentation (1 mm/s [faible] et 10 mm/s [élevée]).

L'analyse des 16 simulations préliminaires a démontré un comportement global similaire pour toutes les vitesses de sédimentation, élevée ou faible, quelles que soient la saison et les matières rejetées. Les variations relativement peu importantes du volume rejeté (140 tm de bentonite contre 272,6 tm de baryte) et des courants (2,5 à 5 cm/s) ont toutes les deux des répercussions limitées sur la dispersion comparativement à la fourchette relativement importante de vitesses de sédimentation (1 mm/s à 10 mm/s).

Sur les 16 scénarios qui ont été modélisés au total, deux scénarios extrêmes ont été choisis et sont présentés ici en vue d'une analyse approfondie : le scénario hivernal avec une vitesse de sédimentation élevée, et le scénario estival avec une faible vitesse de sédimentation. Tous

deux tiennent compte de la série chronologique relative au rejet de baryte (le composant ayant la plus forte concentration) pendant ce programme de forage. Ces deux scénarios englobent l'ensemble des conditions susceptibles d'être rencontrées.

La concentration moyenne sur une hauteur d'un mètre au dessus du fond marin, puis à 5 et 10 m au dessus de celui-ci (+/-0.5m autour de chacune de ces profondeurs) a été extraite des résultats de chaque simulation. Les Figures 6.3 et 6.4 illustrent sur une carte après application du modèle BBLT pendant 720 h (30 jours) les concentrations finales moyennées, sur une hauteur d'un mètre au dessus du fond marin pour chaque scénario. Des séries chronologiques exprimant la concentration moyenne des matières du panache aux trois niveaux, soit 1 m, 5 m et 10 m au dessus du fond marin, sont présentées dans les Figures 6.5 et 6.6.

Globalement, comme l'illustrent les figures, les résultats obtenus en fonction des différentes vitesses de sédimentation varient grandement au sein du même scénario et entre les deux scénarios.

Dans le scénario où l'on a tenu compte d'une vitesse élevée de sédimentation, la taille finale du panache est d'environ 2 à 3 km de long et de moins de 1 km de large. De plus, en raison de cette vitesse de sédimentation élevée et de faibles courants de l'ordre de quelques cm/s, toutes les matières demeurent concentrées dans le premier mètre de la colonne d'eau (voilà pourquoi la Figure 6.5 illustre uniquement la concentration 1 m au dessus du fond). Les concentrations varient entre 250 mg/l et 1 g/l. La carte qui illustre les concentrations (Figure 6.3) indique que la concentration maximale est au centre du panache, deux ou trois ordres de grandeur supérieure à celles trouvées sur le pourtour du panache. Globalement, la série temporelle relative aux concentrations moyennes de matières dans le panache (Figure 6.5) indique que la concentration se stabilise à environ 250 mg/l après environ 20 à 25 jours sur les 30 jours que compte la modélisation.

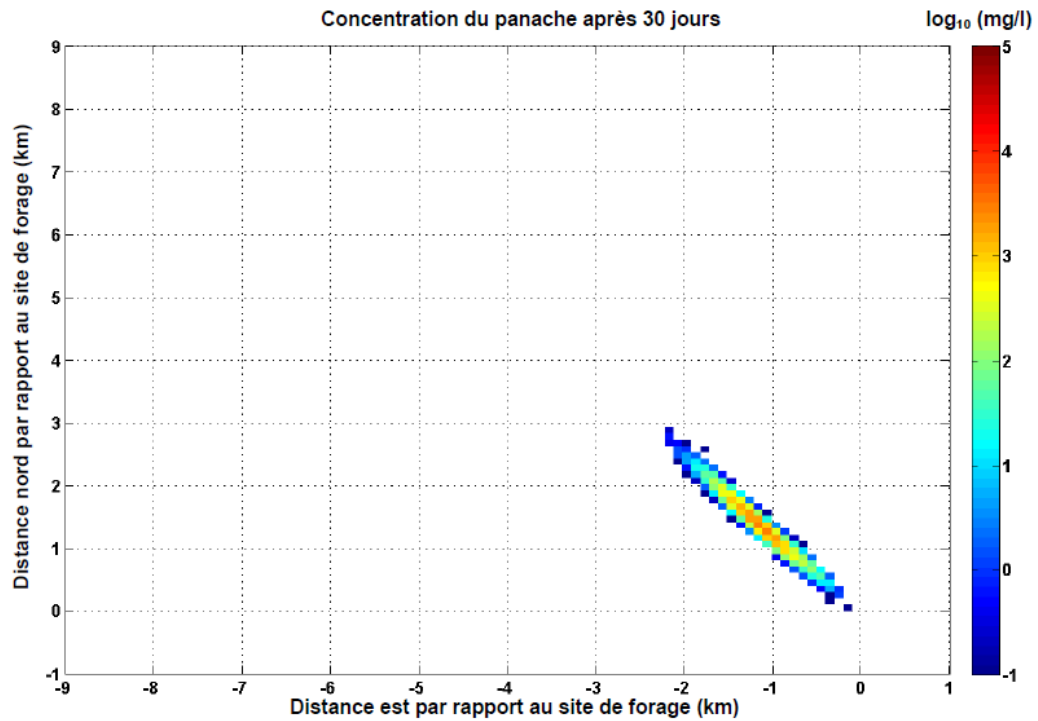


Figure 6.3 Concentration en baryte du panache à la fin de la mise en œuvre du modèle, vitesse de sédimentation élevée, scénario hivernal

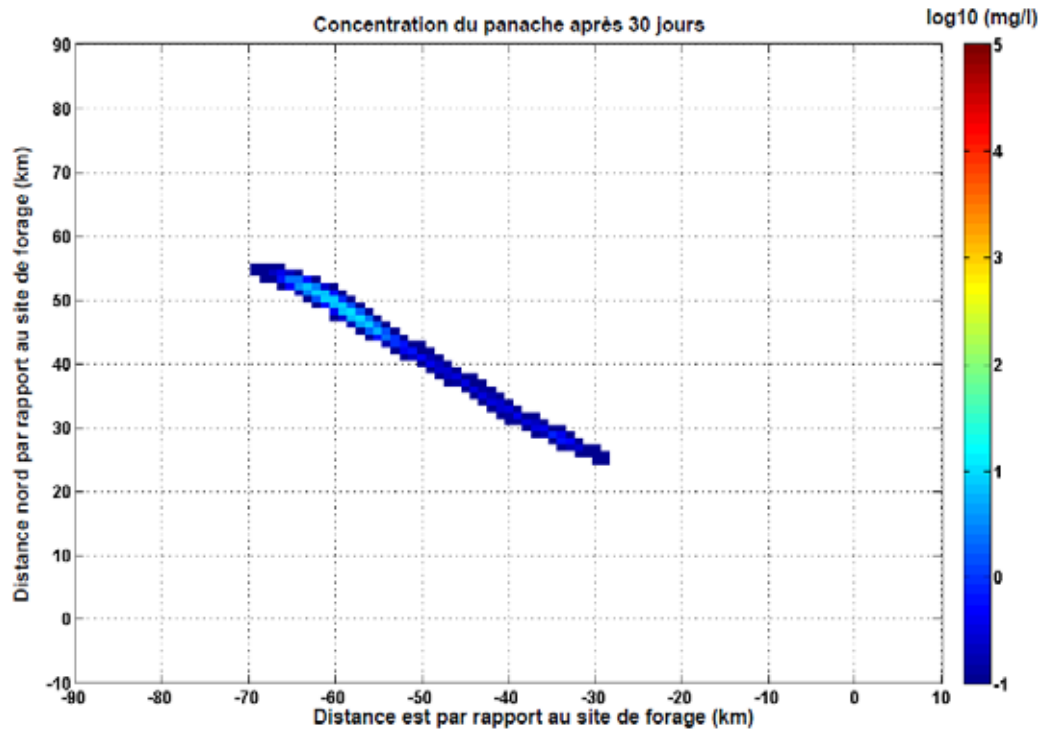


Figure 6.4 Concentration en baryte du panache à la fin de la mise en œuvre du modèle, faible vitesse de sédimentation, scénario estival

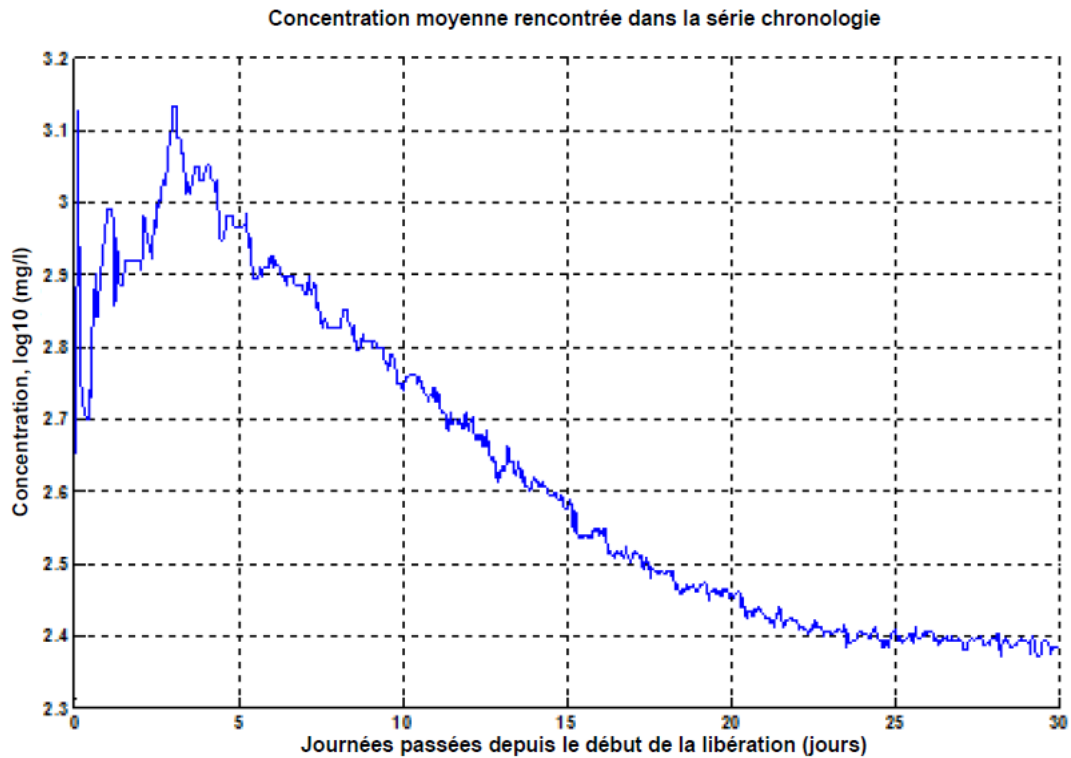


Figure 6.5 Série temporelle des concentrations moyennes de matières dans le panache, vitesse élevée de sédimentation, scénario hivernal

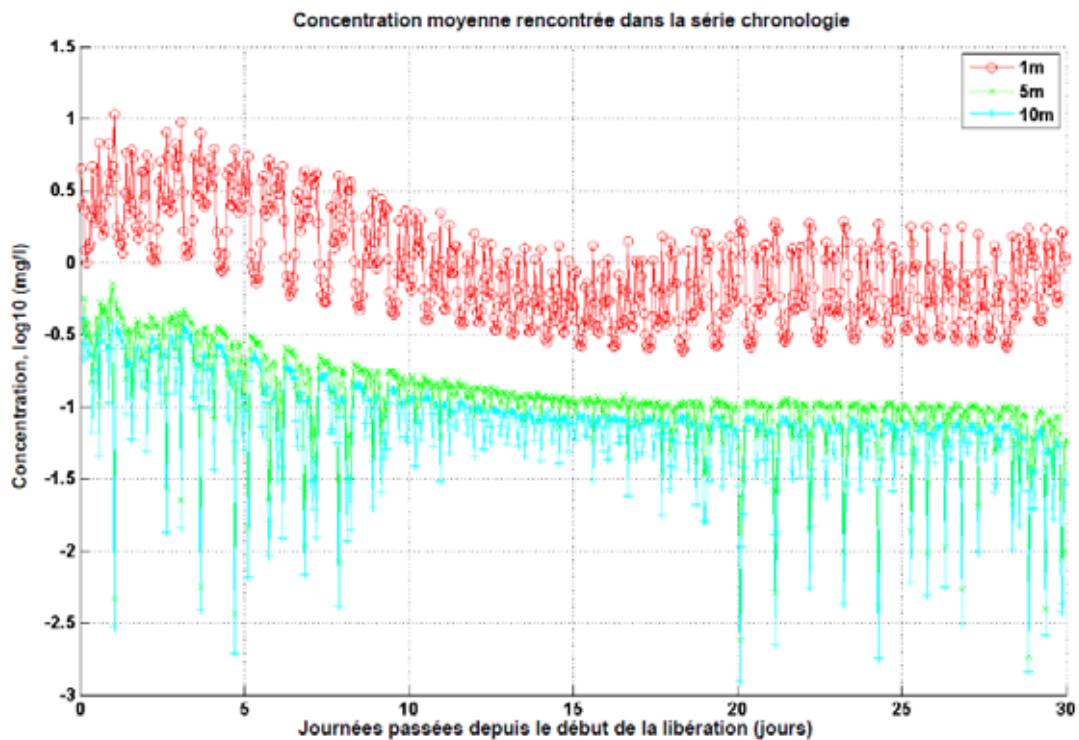


Figure 6.6 Série temporelle des concentrations moyennes de matières dans le panache à certaines profondeurs, faible vitesse de sédimentation, scénario estival

Dans le scénario à faible vitesse de sédimentation, la taille finale du panache est d'environ 40 km de long et de quelques kilomètres de large. En raison de cette faible vitesse de sédimentation, le profil de concentration couvre une partie plus importante de la colonne d'eau et on retrouve des matières à 5 et 10 m au dessus du plancher océanique (figure 6.6). En raison du scénario de rejet et de la dispersion subséquente, le panache affiche, en son centre, une concentration d'un ordre de grandeur ou plus par rapport à celle de sa périphérie (figure 6.4), comme cela était le cas dans scénario à vitesse de sédimentation élevée. Globalement, le panache est bien plus dilué que dans le scénario à vitesse élevée de sédimentation, mais les concentrations indiquent d'importantes variations d'environ un ordre de grandeur à relativement hautes fréquences (périodes de quelques heures à un jour). Au départ, les concentrations sont comprises entre 1 et 10 mg/l, avec une moyenne d'environ 3 mg/l. Après environ 15 jours, la concentration de matières dans le panache se stabilise à environ 1 mg/l en moyenne, et varie entre 0,3 mg/l et 2 mg/l. À 5 m au dessus du fond, les concentrations sont seulement entre 20 et 50 % plus élevées qu'à 10 m. À 5 m et 10 m, les concentrations sont inférieures d'environ un ordre de grandeur à celles constatées à 1 m, et se stabilisent à environ 0,1 mg/l après 15 jours. Elles indiquent également une grande variabilité qui peut atteindre deux ordres de grandeur. En y regardant de plus près (figure 6.7), on constate que les variations des concentrations à 1 m sont à l'opposé de celles relevées à 5 m et 10 m : les concentrations maximales à 1 m coïncident avec les concentrations minimales à 5 et 10 m, et inversement. Par ailleurs, les variations des concentrations suivent le cycle des marées, avec près de quatre crêtes par jour.

Cela démontre que le cycle de suspension-deposition est dû au brassage causé par la marée. Pendant les flots ou les jusants, lorsque les courants sont importants, les particules sont brassées vers le haut de la colonne d'eau de sorte que les concentrations à proximité du fond marin diminuent à mesure que le panache s'allonge verticalement et que les matières se déplacent plus haut au dessus fond marin. Pendant les étales ou changements de marée, les matières se déposent de nouveau sur le fond marin.

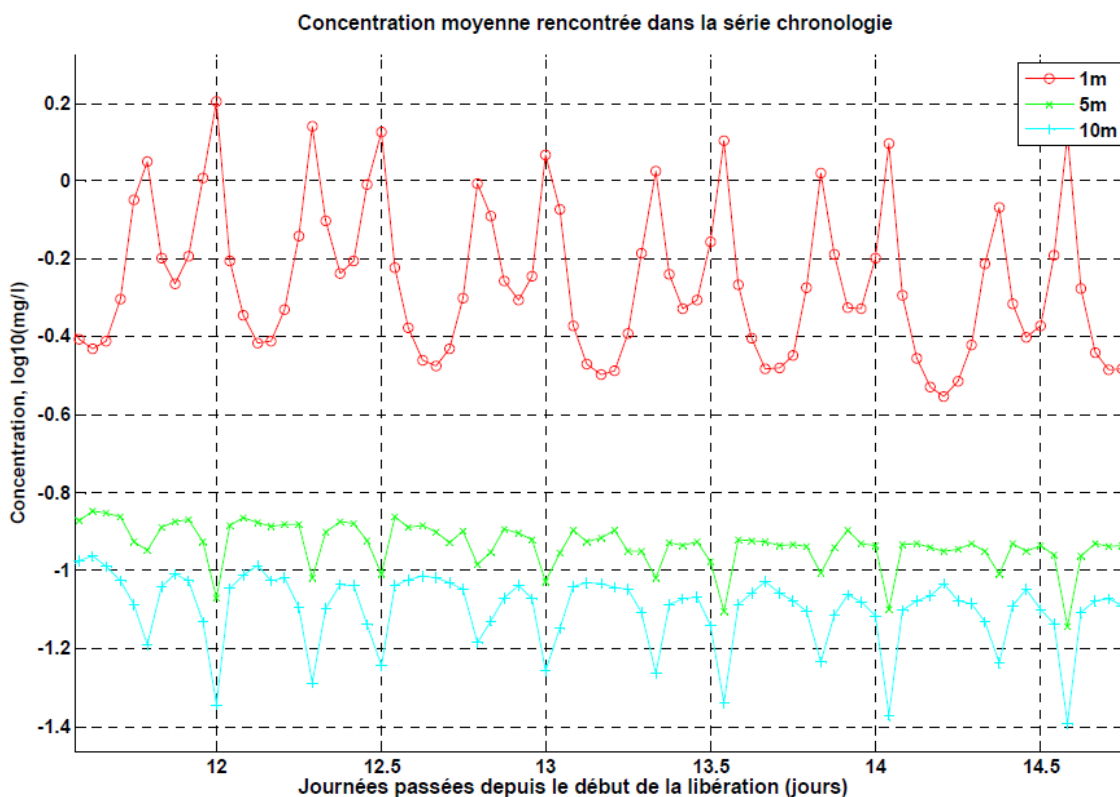


Figure 6.7 Série temporelle des concentrations moyennes de matières dans le panache à certaines profondeurs, faible vitesse de sédimentation, scénario estival, agrandissement

6.6 CONCLUSIONS DE LA MODÉLISATION DE LA DISPERSION DES BOUES

Deux scénarios de dispersion ont été retenus aux fins de modélisation et analyse en vue d'estimer l'ensemble des résultats envisageables : l'un comprenant une vitesse de sédimentation élevée de la baryte dans des conditions hivernales et l'autre comprenant une faible vitesse de sédimentation de la baryte dans des conditions estivales. Dans les deux scénarios, les boues se sont dispersées en formant un panache allongé atteignant 2 ou 3 km de longueur (vitesse élevée de sédimentation, hiver) à près de 40 km (faible vitesse de sédimentation, été) après une simulation de 30 jours. Ces panaches avaient une largeur allant de moins d'un kilomètre à plusieurs kilomètres, respectivement. La grande variabilité de ces dimensions reflète le comportement des particules de boues et reflète la large fourchette de vitesses de sédimentation pris en compte par le modèle.

Dans le scénario à faible vitesse de sédimentation, les panaches de boues modélisés se déplacent sur de longues distances à partir de leur point d'origine. Dans le cas présent, on constate que les particules de boues de forage parcourent jusqu'à 80 km au cours des 30 jours de la simulation. Pour un panache long de 40 km et un courant résiduel de 2,5 cm/s, un point fixe à l'intérieur de la trajectoire du panache subirait une exposition continue maximale aux matières en suspension de l'ordre de 20 jours.

La concentration en sédiments des panaches variait selon la dimension de ces derniers et la distance parcourue depuis leur point d'origine. Elle diminuait généralement à mesure de la dispersion du panache et de son advection horizontale. Les concentrations, dont la moyenne a été calculée à un mètre au dessus du fond marin, oscillaient entre environ 1 g/L dans le scénario à vitesse de sédimentation élevée à quelques kilomètres du site, à environ 1 mg/L dans le scénario à faible vitesse de sédimentation à quelques dizaines de kilomètres du site de forage. On a également remarqué que la concentration varie grandement (un ordre de grandeur ou plus) dans les panaches en raison des cycles de suspension-déposition induits par les variations de la force des courants pendant le cycle des marées.

Dans le cas du scénario à haute vitesse de sédimentation, on retrouve des particules très près du plancher océanique (à moins de 1 m au dessus de celui-ci). Toutefois, en règle générale, elles ne s'y déposent pas complètement. Dans le pire des scénarios, c'est-à-dire si toutes les particules se déposaient sur le plancher océanique, elles formeraient une mince couche de sédiments d'une superficie d'environ 1 km² et d'une épaisseur de 64 µm. Compte tenu de la densité des particules de baryte, la densité moyenne des dépôts de sédiments dans cette zone de 1 km² serait d'environ 0,027 g/cm². Cette densité est comparable au taux annuel de sédimentation naturel de 0,031 g/cm² calculé par Smith et Schafer (1999) dans leur étude sur l'absorption du mercure par les sédiments océaniques dans une zone située entre Old Harry et l'île d'Anticosti. Les résultats du modèle coïncident généralement avec ceux d'études similaires portant sur la dispersion des boues de forage dans la couche limite benthique (Thomson et al., 2000, Tedford et al., 2003, et Hannah et al., 2003).

7.0 RÉFÉRENCES

AMEC 2010. Drill Cuttings Deposition, Produced Water, and Storage Displacement Water Dispersion Modelling for the Hebron Project. Prepared for Stantec Consulting Ltd., St. John's, Prepared by AMEC Earth & Environmental, St. John's. September 2010

Brandsma M.G. and Divoky D.J. 1976. Development of models for prediction of short-term fate of dredged material discharged in the estuarine environment. Contract Report D-76-5, DAW39-74-C-0075, prepared by Tetra Tech, Inc., under contract to U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Corridor Resources Inc., 2011. Project Description for the Drilling of an Exploration Well on the Old Harry Prospect – EL 1105. February 21, 2011.

Cranford P.J., Gordon D.C., 1992. The influence of dilute clay suspensions on sea scallop (*Placopecten Magellanicus*) feeding activity and tissue growth. Netherlands J. Sea Res. Vol. 30, pp 107-120.

Cranford P.J., 1995. Relationship between food quantity and quality and absorption efficiency in sea scallops *Placopecten Magellanicus* (Gmelin). J. Exp. Mar. Bio. Ecol., Vol. 189, pp 123-142.
Cranford P.J., Gordon D.C. Jr., Lee K., Armsworthy S.L. and Tremblay G.-H., 1999. Chronic toxicity and physical disturbance effects of water and oil-based drilling fluids and some major constituents on adult sea scallops (*Placopecten magellanicus*). Marine Environmental Research, Vol. 48, Nb. 3, pp 225-256.

Department of Fisheries and Oceans (DFO), 2011a. WebTide Tidal Prediction Model.
http://www2.mar.dfo-mpo.gc.ca/science/ocean/coastal_hydrodynamics/WebTide/webtide.html

Department of Fisheries and Oceans (DFO), 2011b. WebDrogue Drift Prediction Model v0.7.
http://www2.mar.dfo-mpo.gc.ca/science/ocean/coastal_hydrodynamics/WebDrogue/webdrogue.html

Department of Fisheries and Oceans (DFO), 2011c. Canadian East Coast Ocean Model (CECOM).
http://www2.mar.dfo-mpo.gc.ca/science/ocean/icemodel/ice_ocean_forecast.html

Department of Fisheries and Oceans (DFO), 2011d. The Gulf of St. Lawrence Climatology.
<http://www2.mar.dfo-mpo.gc.ca/science/ocean/gsl/gslmap.html>

Drozdowski A., Hannah C., Tedford T., 2004. bblt Version 7.0 User's Manual. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences 240. Ocean Sciences Division Maritimes Region, Fisheries and Oceans Canada. Bedford Institute of Oceanography, P.O. Box 1006. Dartmouth, N.S., Canada B2Y 4A2.

Drozdowski A., 2009. BBLT3D, the 3D Generalized Bottom Boundary Layer Transport Model: Formulation and Preliminary Applications. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences 263. Ocean Sciences Division Maritimes Region, Fisheries and Oceans

Canada. Bedford Institute of Oceanography, P.O. Box 1006. Dartmouth, N.S., Canada B2Y 4A2.

Dupond F, Hannah C.G., Greenberg D.A., Cherniawsky, J.Y., Naimie C.E., 2002. Modelling System for Tides for the Northwest Atlantic Coastal Ocean. Canadian Technical Report of Hydrograph and Ocean Sciences 221, 70p.

Hannah, C.G., Y. Shen, J.W. Loder and D.K. Muschenheim. 1995. bblt: Formulation and Exploratory Applications of a Benthic Boundary Layer Transport Model. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 166 vi +52 pp.

Hannah C.G., Drozdowski A., Muschenheim, Loder D.K., Belford S., MacNeil M., 2003. Evaluation of drilling mud dispersion models at SOEI Tier I sites: Part 1 North Triumph, Fall 1999. Canadian Technical Report of Hydrograph and Ocean Sciences 232, vi + 51p.

Hodgins, D.O.. Hibernia Effluent Fate and Effects Modelling. Report prepared for Hibernia Management and Development Company Ltd., 1993.

Koh, R.C.Y. and Y.C. Chang. 1973. Mathematical model for barged ocean disposal of waste. Environmental Protection Technology Series EPA 660/2-73-029, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

NEB, C-NLOPB and C-NSOPB (National Energy Board, Canada-Newfoundland and Labrador Offshore Petroleum Board, and Canada-Nova Scotia Offshore Petroleum Board). 15 December 2010. *Offshore Waste Treatment Guidelines*.

Niu H., Drozdowski A., Husain T., Veitch B., Bose N., and K. Lee. 1976. Modelling the dispersion of drilling muds using the bblt model: the effects of settling velocity. Environmental Model Assessment (2009) 14:585-594.

Okubo, A. 1971. Oceanic Diffusion Diagrams. Deep Sea Res. Vol. 18, pp. 789-802.

Sleath, J.F.A. 1939. Sea Bed Mechanics. Published by John Wiley & Sons.

Smith, J. N., and C. T. Schafer, 1999. Sedimentation, bioturbation, and Hg uptake in the sediments of the estuary and Gulf of St. Lawrence. *Limnol. Oceanogr.* 44(1), 1999, pp. 207-219

Tedford T., Drozdowski A., Hannah C.G., 2003. Suspended Sediment Drift and Dispersion at Hibernia. Canadian Technical Report of Hydrograph and Ocean Sciences 227: vi + 57p.

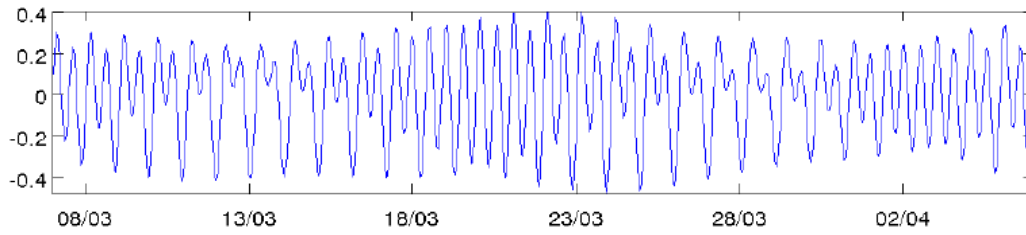
Thomson D.H., Davis R.A., Belore R., Gonzalez E., Christian J., Moulton V.D. and Harris R.E., 2000. Environmental Assessment of Exploration Drilling Off Nova Scotia. Report prepared for Canada – Nova Scotia Offshore Petroleum Board and Mobil Oil Canada Properties, Shell Canada Ltd., Imperial Oil Resources Ltd, Gulf Canada Resources Ltd., Chevron Canada Resources, EnCana Petroleum Ltd., Murphy Oil Company Ltd., and Norsk Hydro Canada Oil & Gas Inc.

Wimbush and Munk. 1970. The Benthic Boundary Layer in the Sea, Vol. 4, Chapter 1.

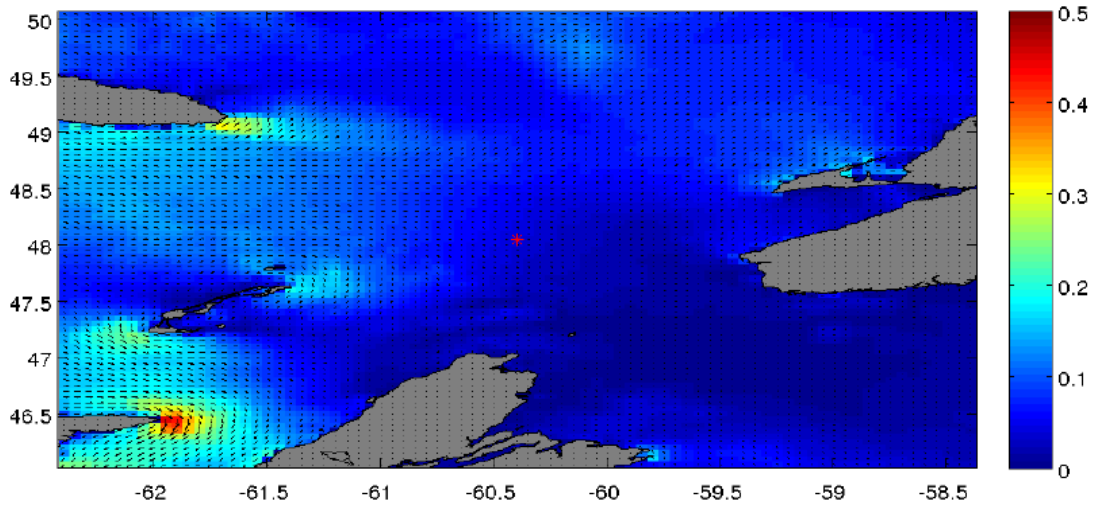
ANNEXE A

Courants de marée régionaux pendant un cycle

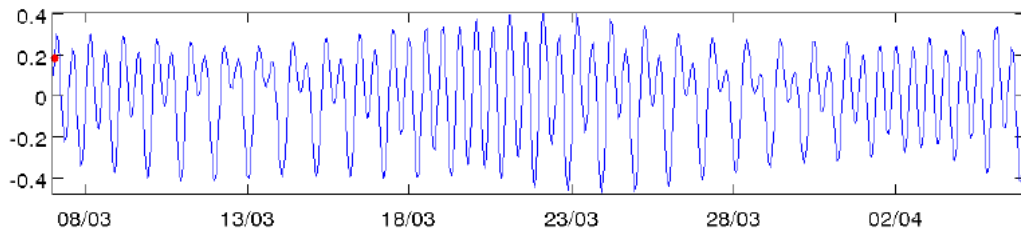
Niveau d'eau du site de forage, 07-mars-2011



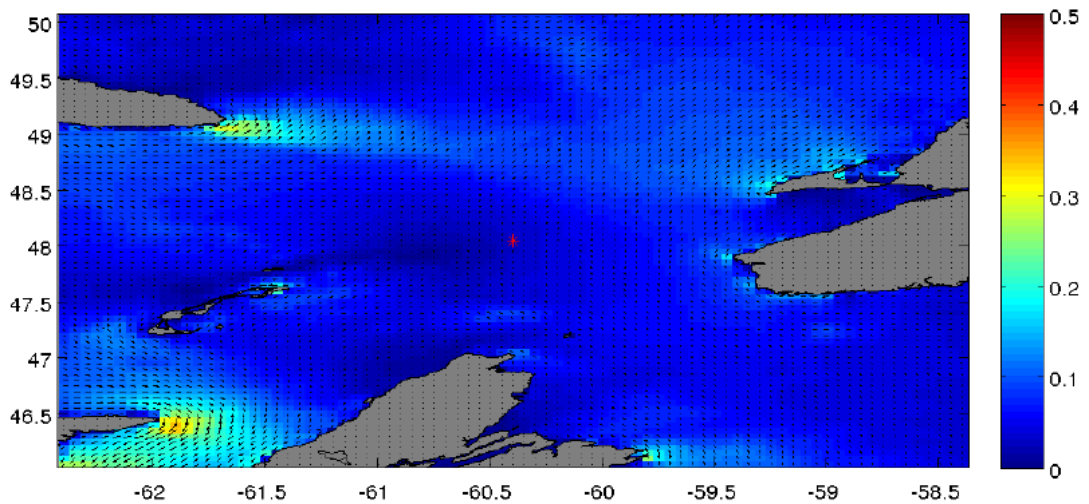
Courants de marée, 07-mars-2011



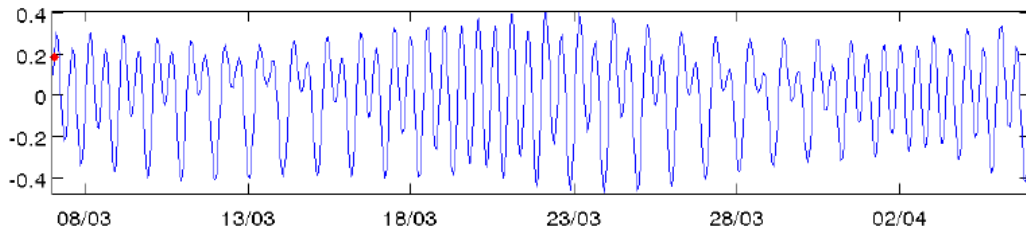
Niveau d'eau du site de forage, 07-mars-2011 01:00:00



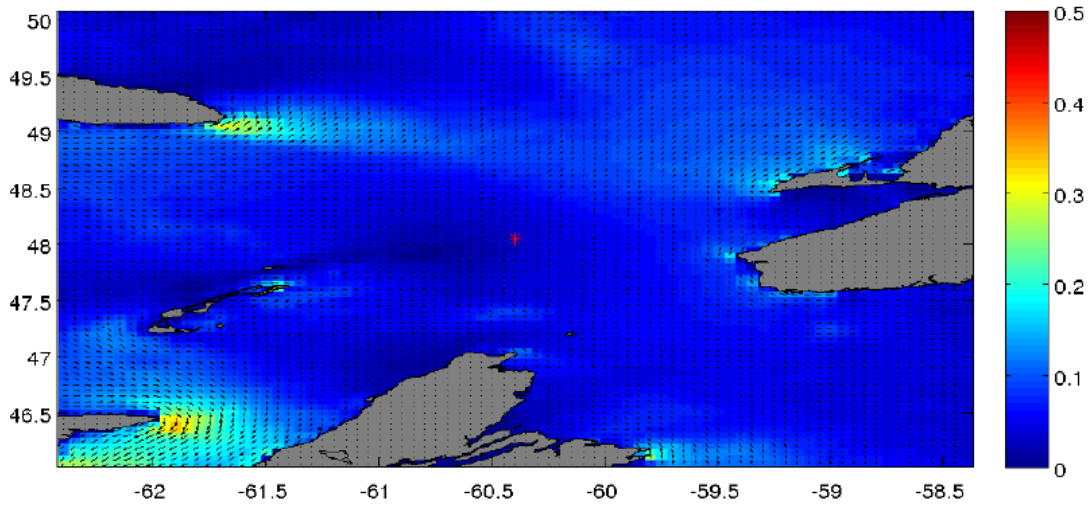
Courants de marée, 07-mars-2011 01:00:00



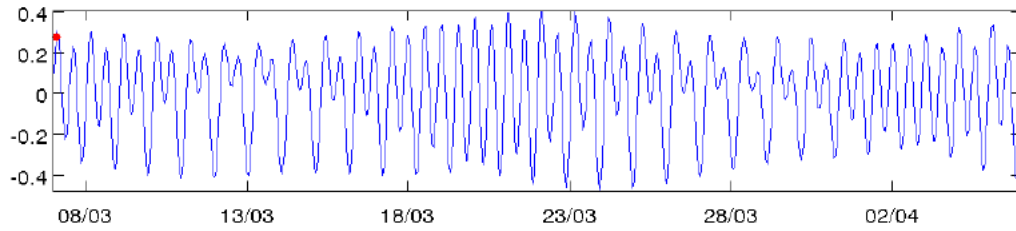
Niveau d'eau du site de forage, 07-mars-2011 01:00:00



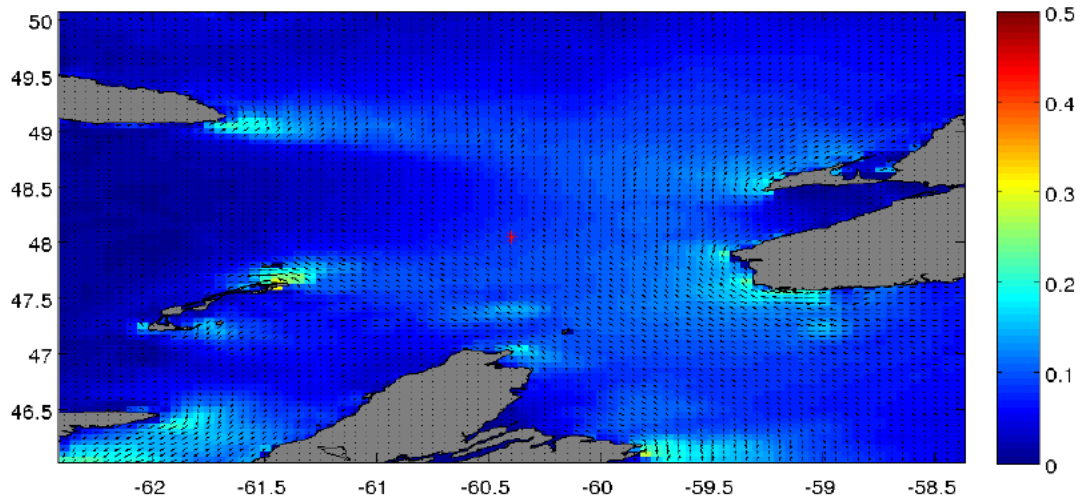
Courants de marée, 07-mars-2011 01:00:00



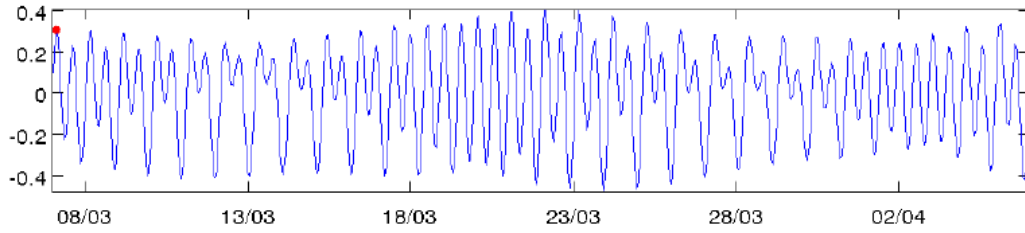
Niveau d'eau du site de forage, 07-mars-2011 02:00:00



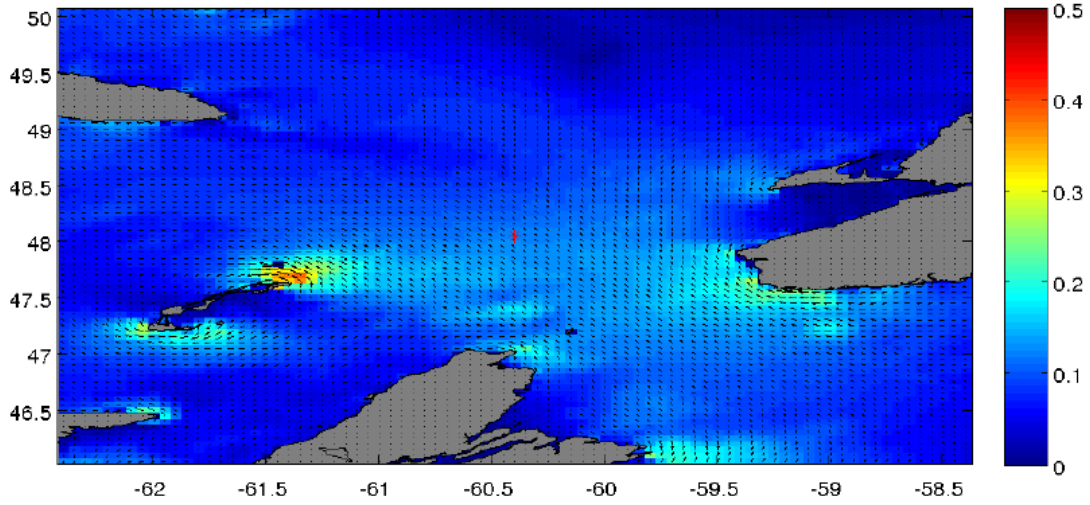
Courants de marée, 07-mars-2011 02:00:00



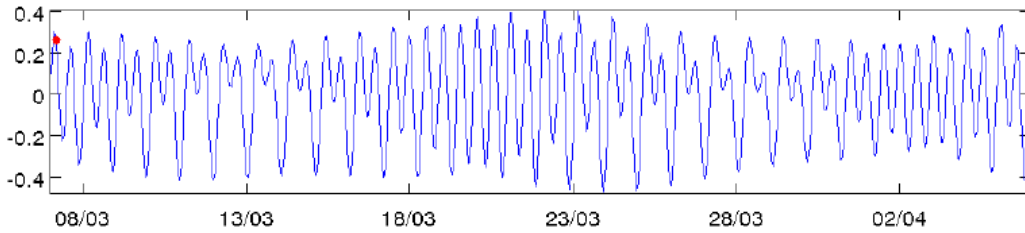
Niveau d'eau du site de forage, 07-mars-2011 03:00:00



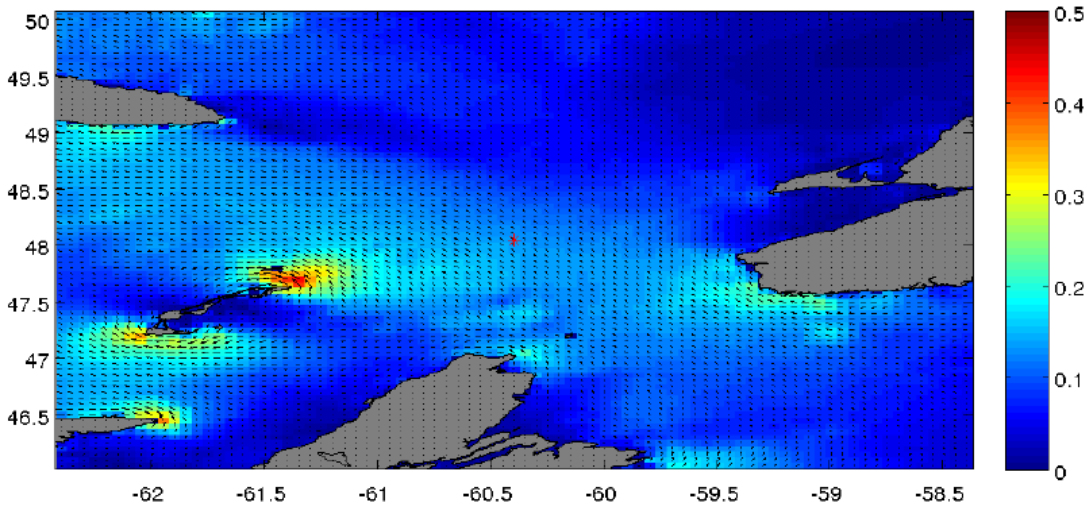
Courants de marée, 07-mars-2011 03:00:00



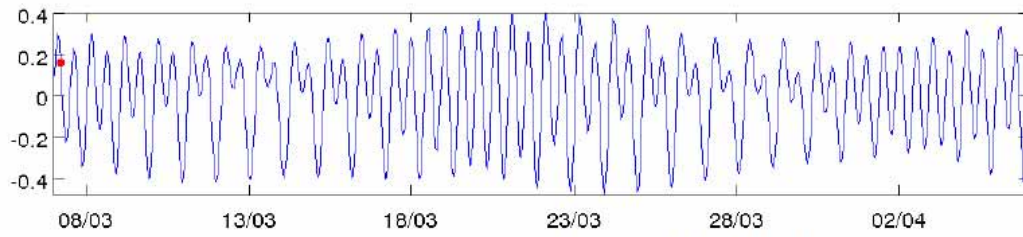
Niveau d'eau du site de forage, 07-mars-2011 04:00:00



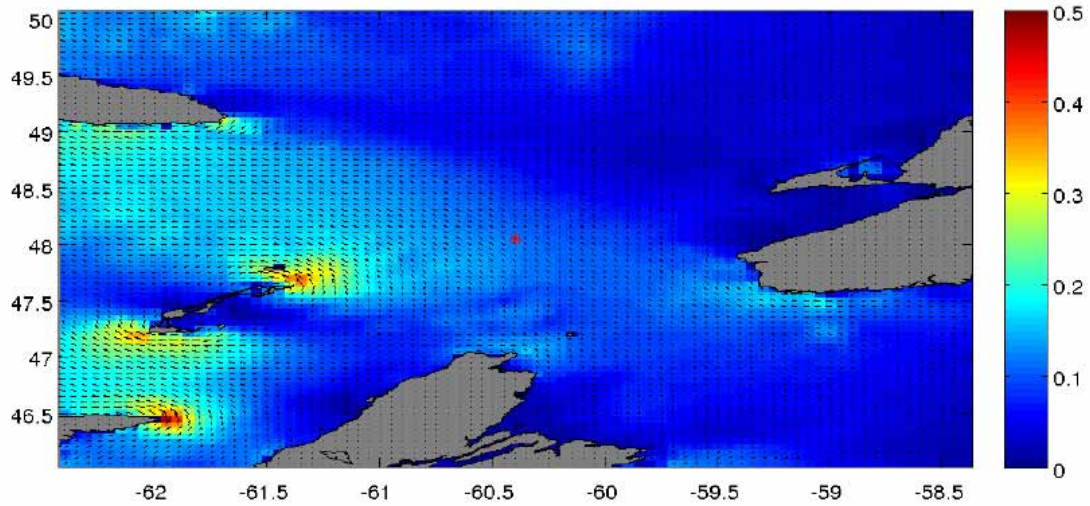
Courants de marée, 07-mars-2011 04:00:00



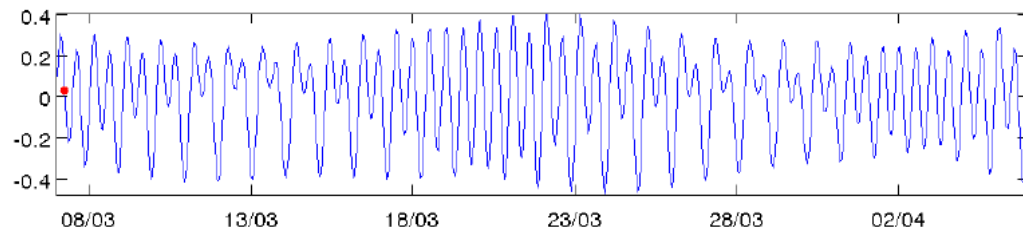
Niveau d'eau du site de forage, 07-mars-2011 05:00:00



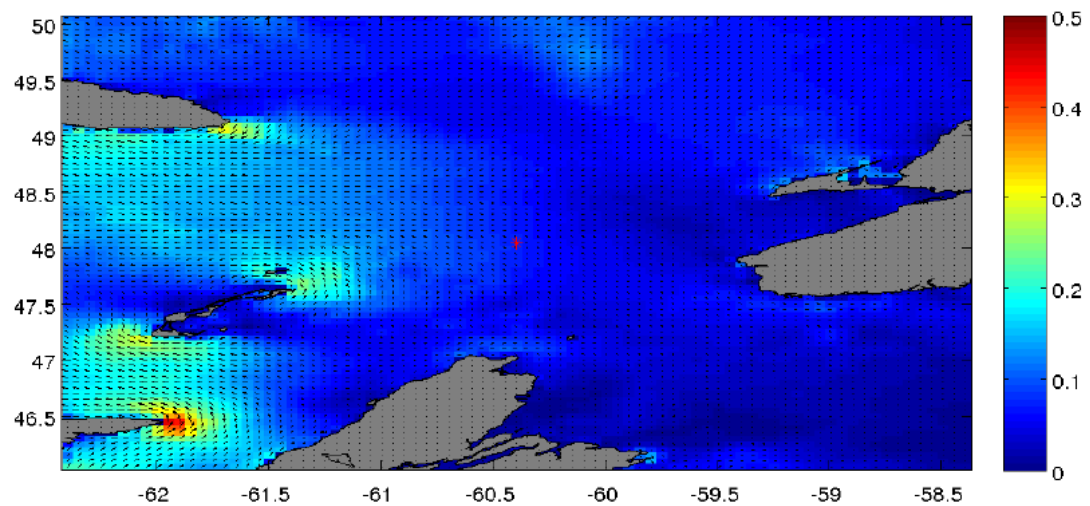
Courants de marée, 07-mars-2011 05:00:00



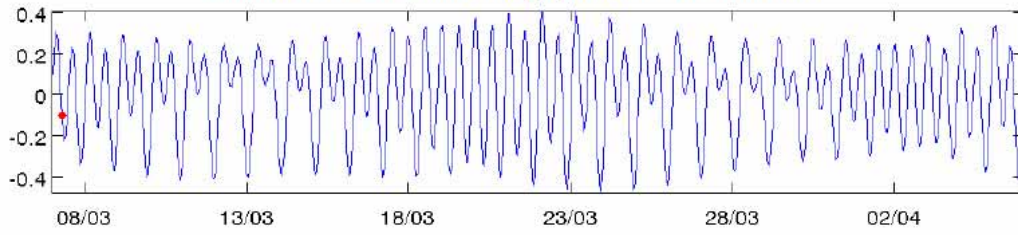
Niveau d'eau du site de forage, 07-mars-2011 06:00:00



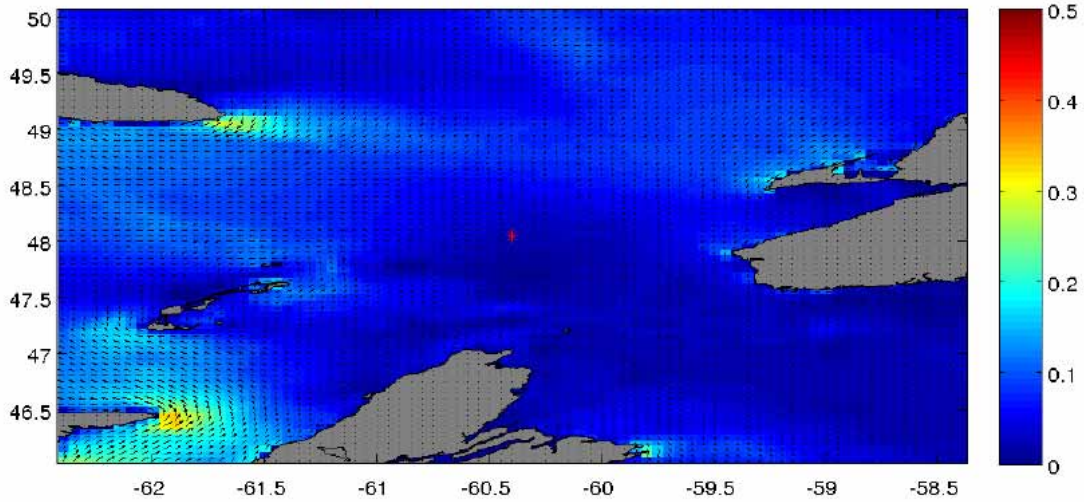
Courants de marée, 07-mars-2011 06:00:00



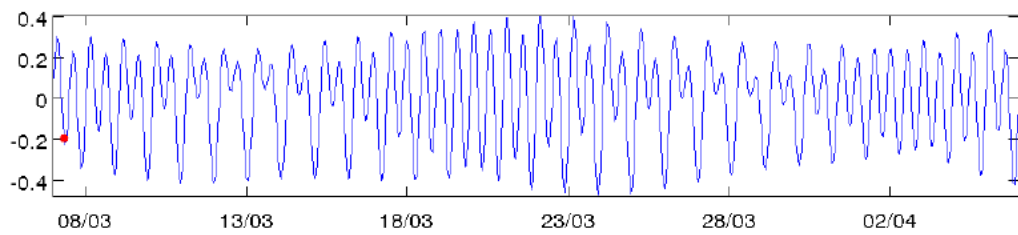
Niveau d'eau du site de forage, 07-mars-2011 07:00:00



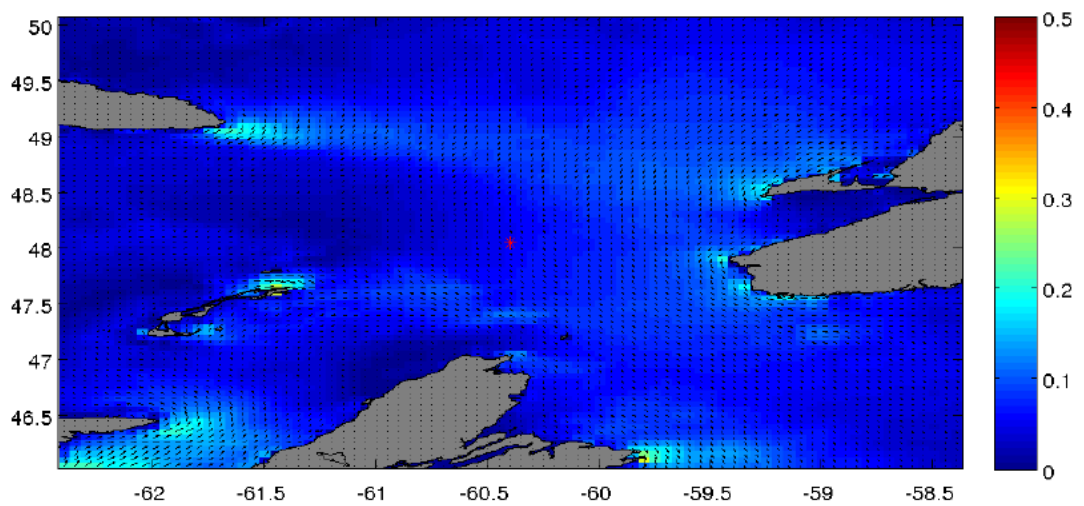
Courants de marée, 07-mars-2011 07:00:00



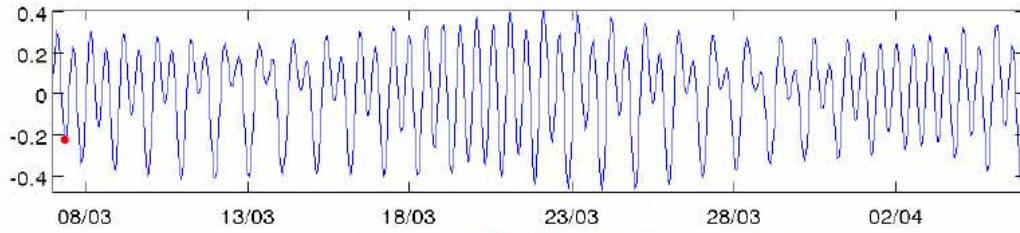
Niveau d'eau du site de forage, 07-mars-2011 08:00:00



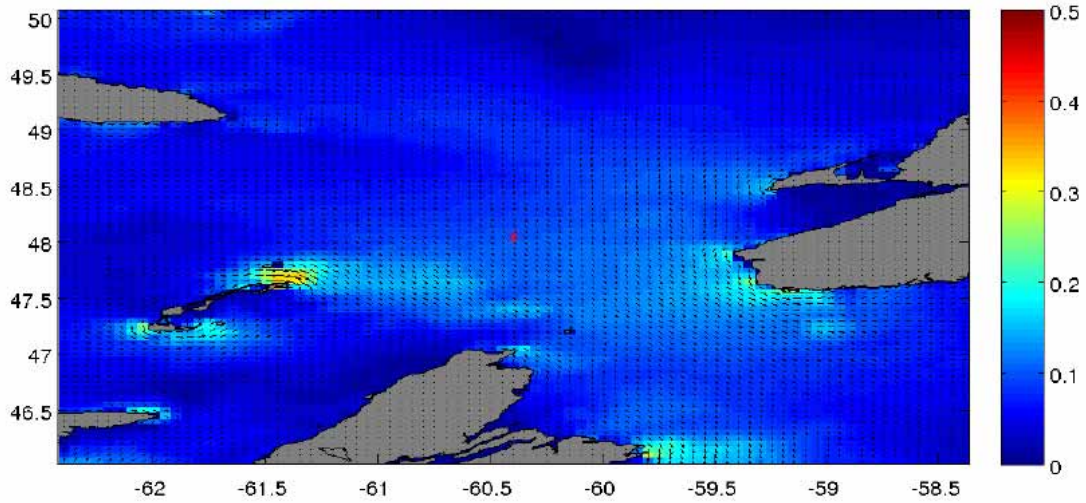
Courants de marée, 07-mars-2011 08:00:00



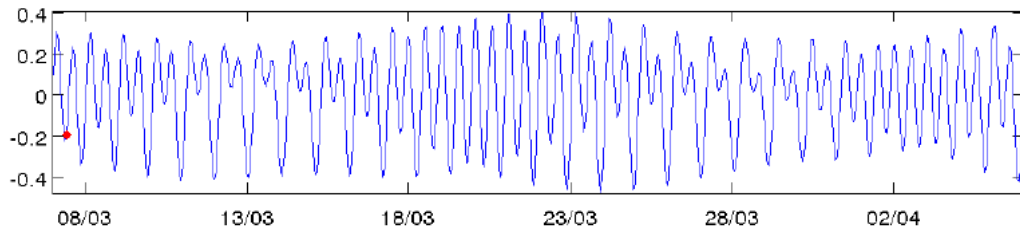
Niveau d'eau du site de forage, 07-mars-2011 09:00:00



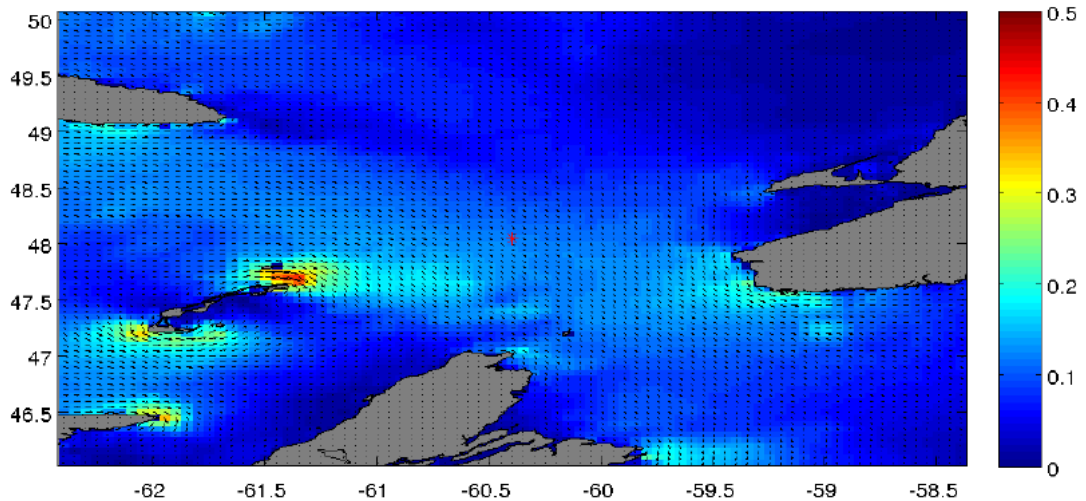
Courants de marée, 07-mars-2011 09:00:00



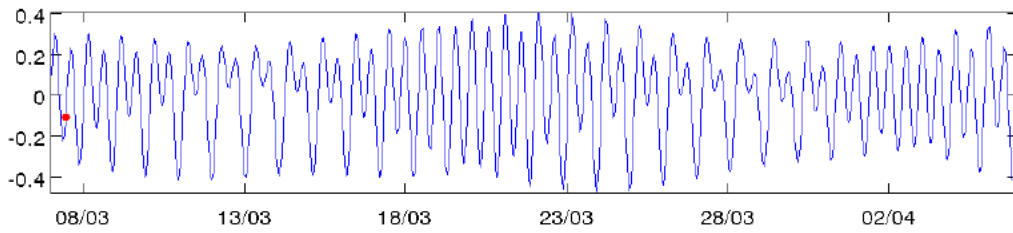
Niveau d'eau du site de forage, 07-mars-2011 10:00:00



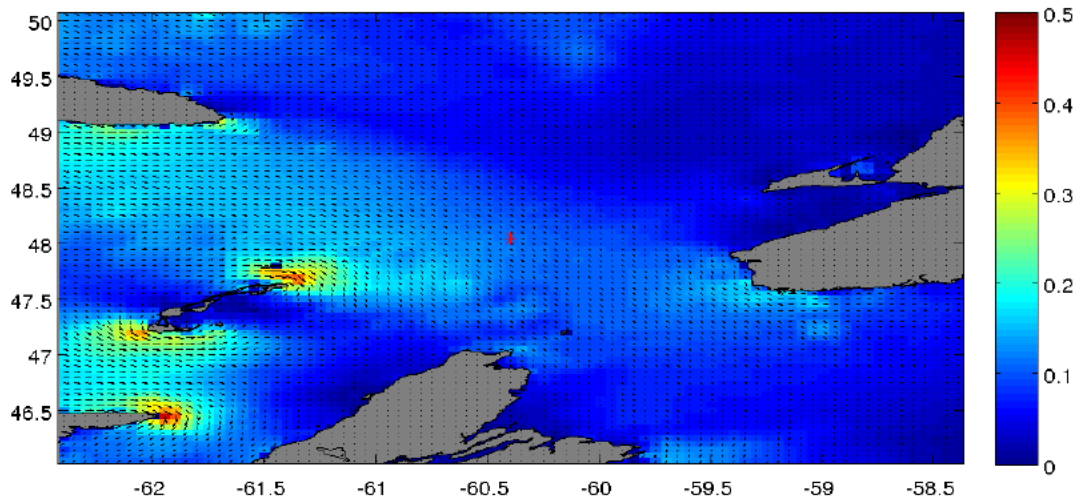
Courants de marée, 07-mars-2011 10:00:00



Niveau d'eau du site de forage, 07-mars-2011 11:00:00



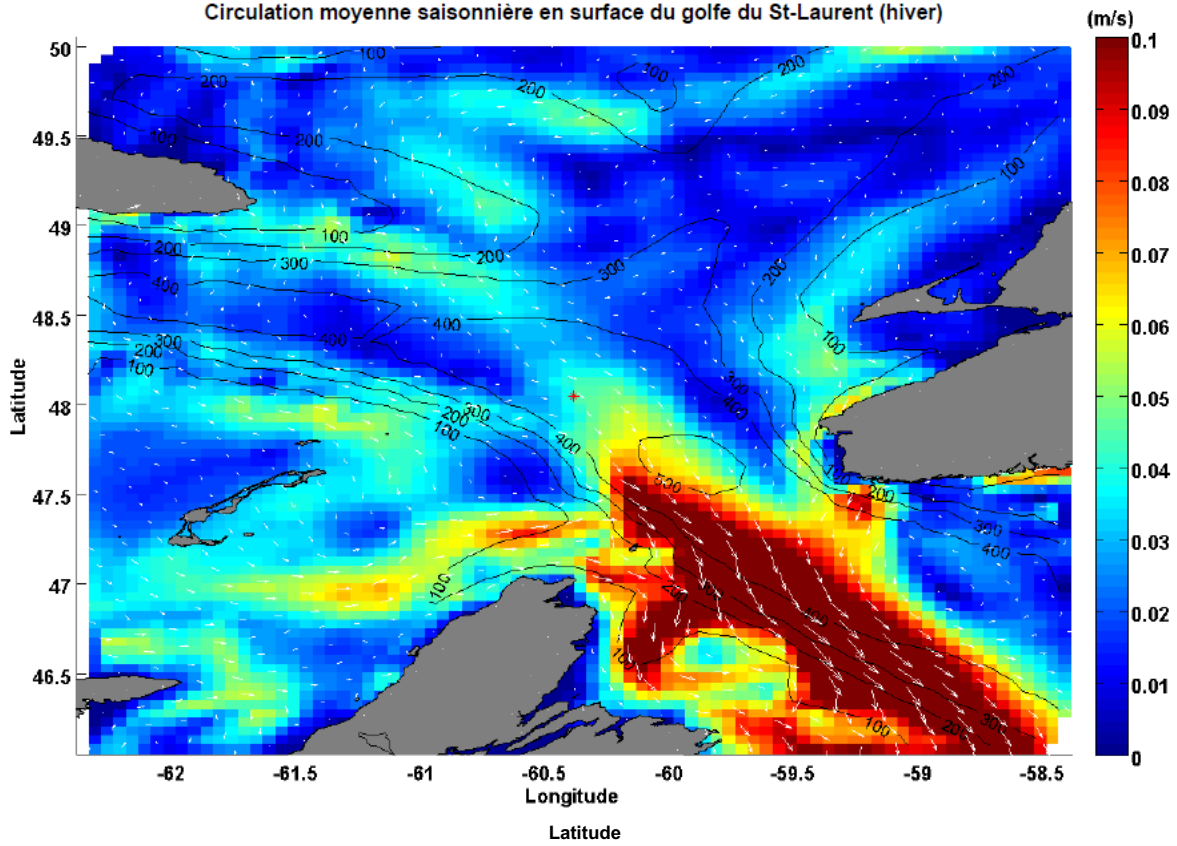
Courants de marée, 07-mars-2011 11:00:00



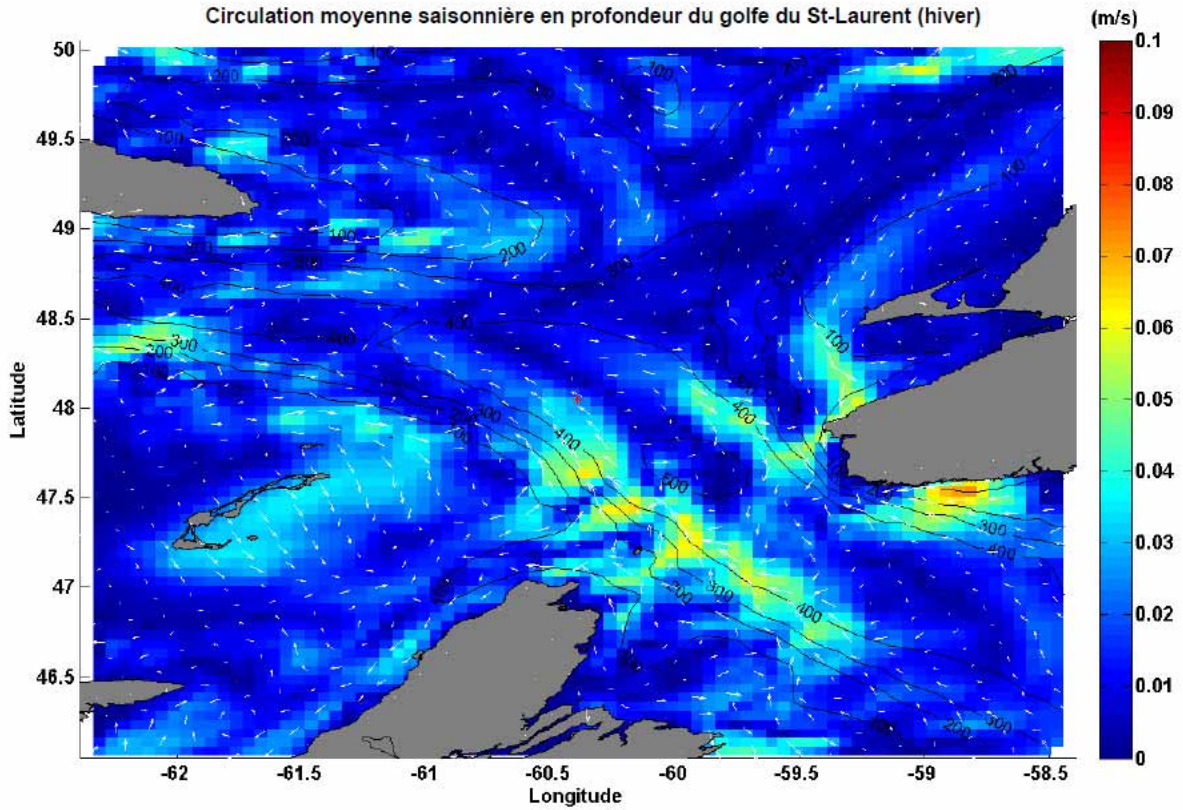
ANNEXE B

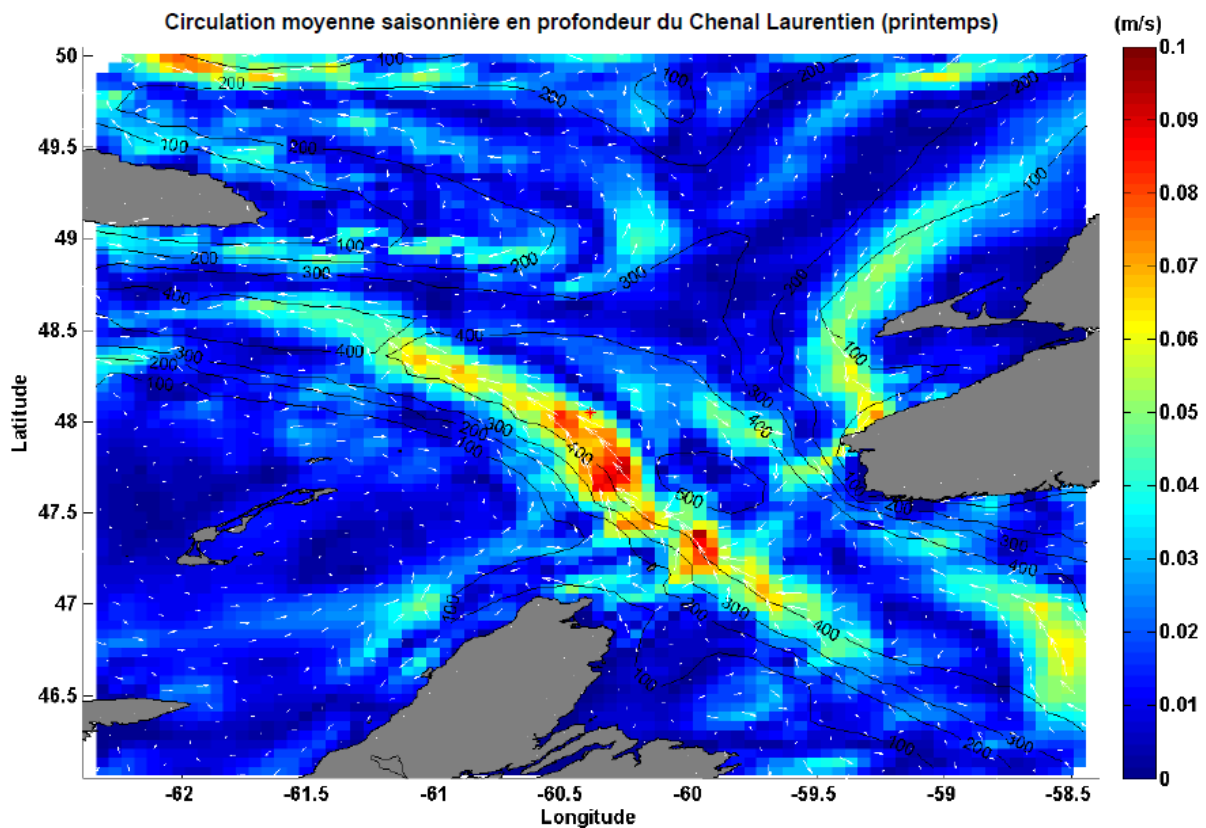
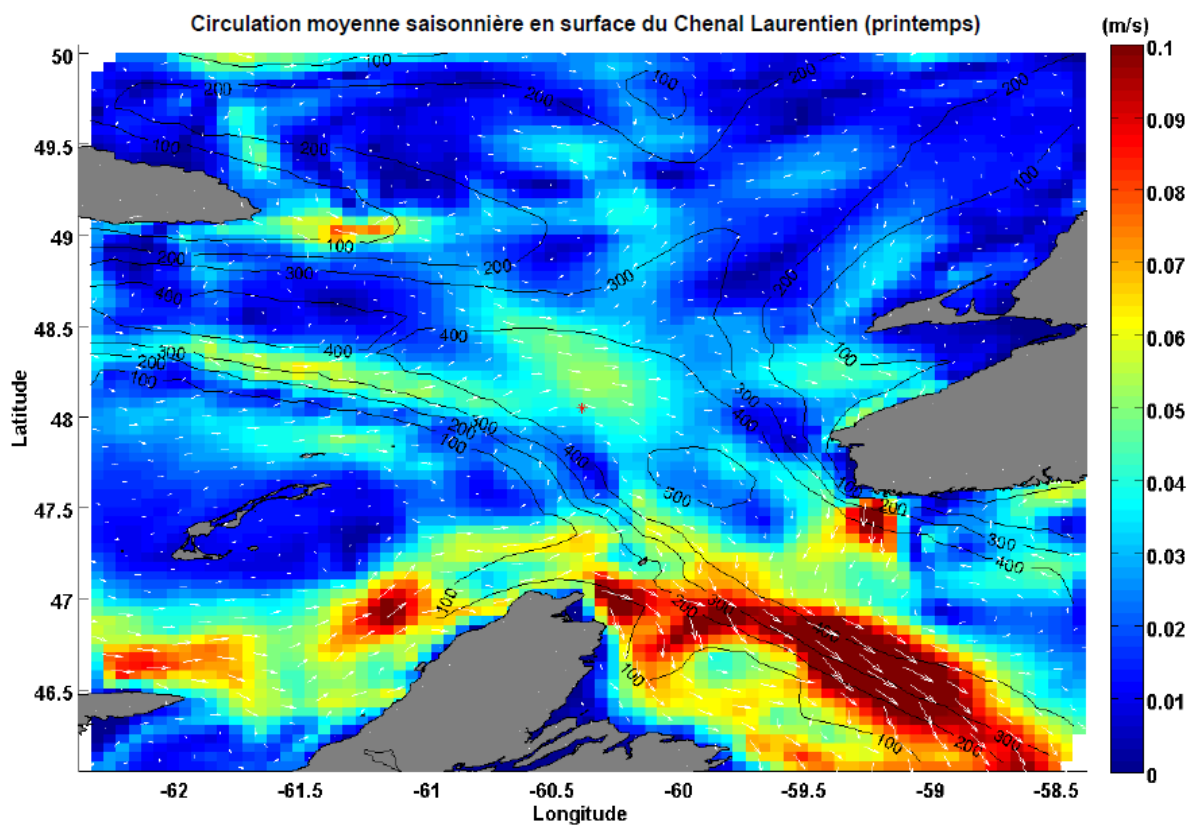
Circulation moyenne saisonnière

Circulation moyenne saisonnière en surface du golfe du St-Laurent (hiver)

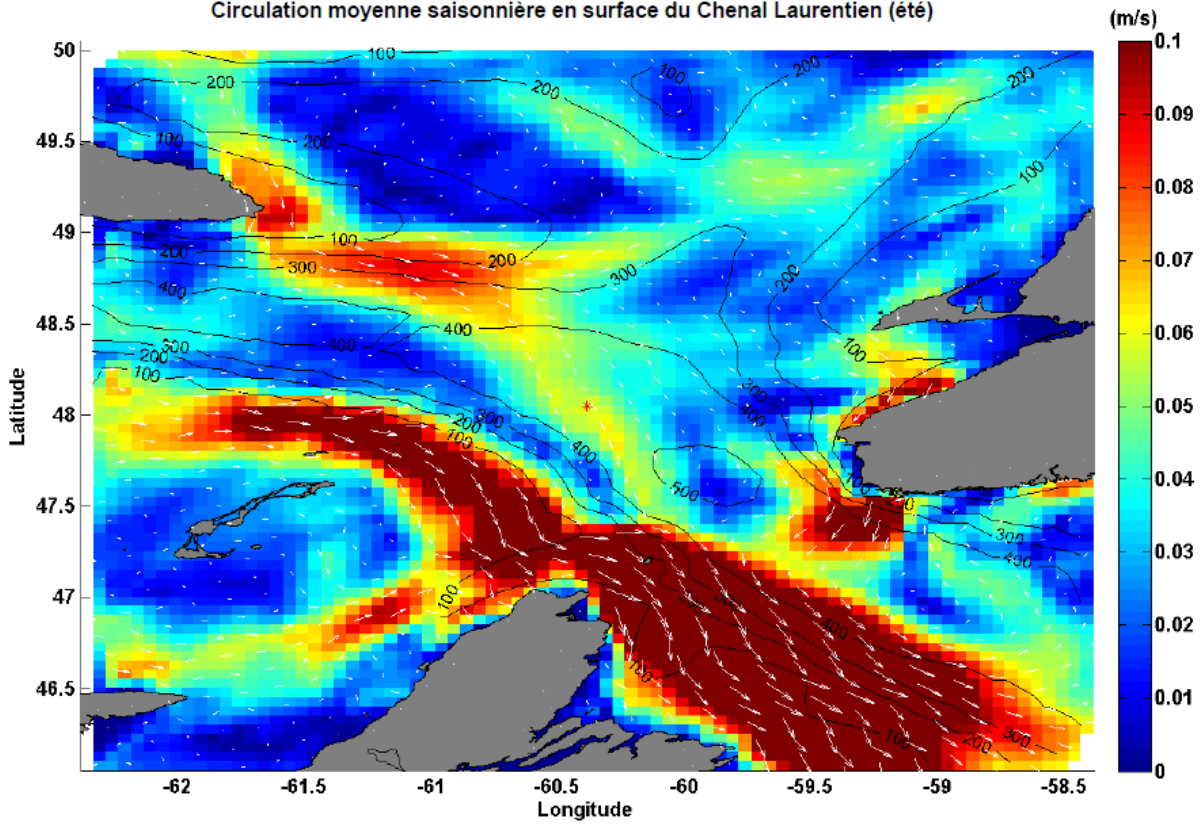


Circulation moyenne saisonnière en profondeur du golfe du St-Laurent (hiver)

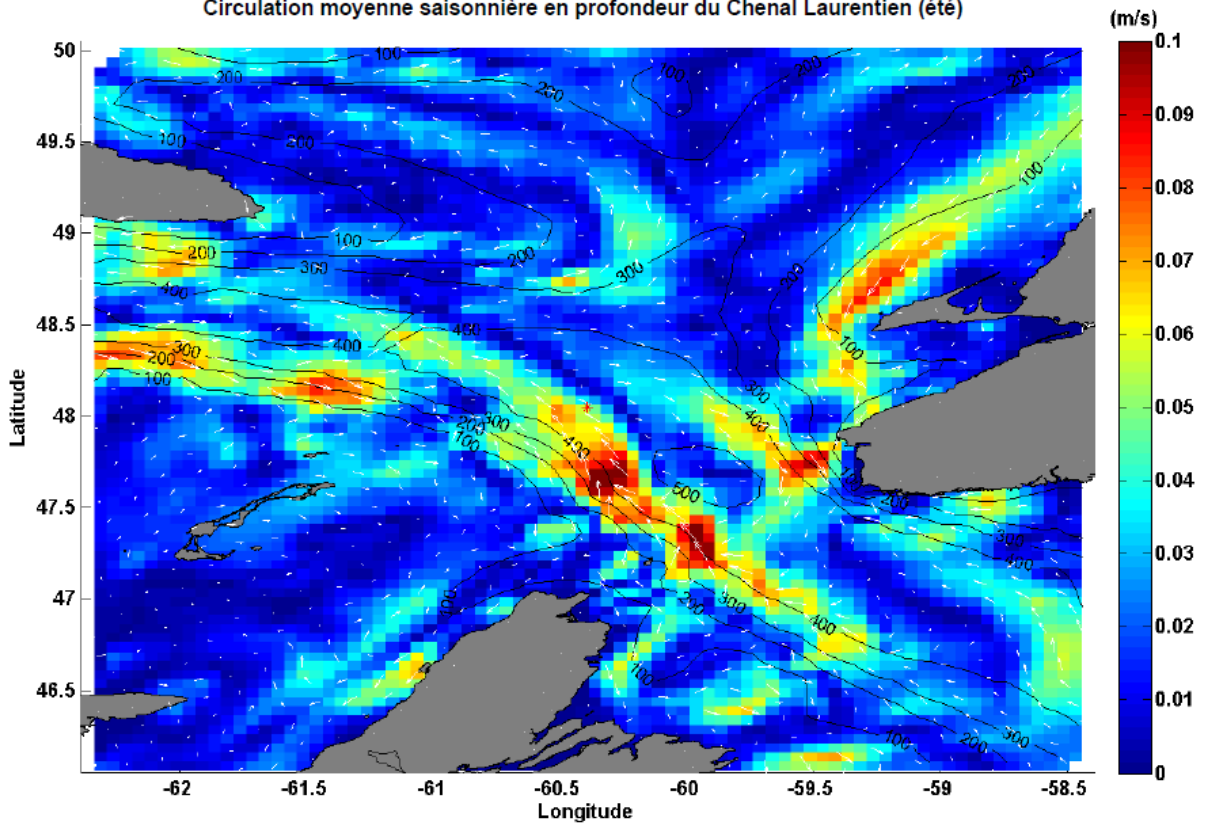




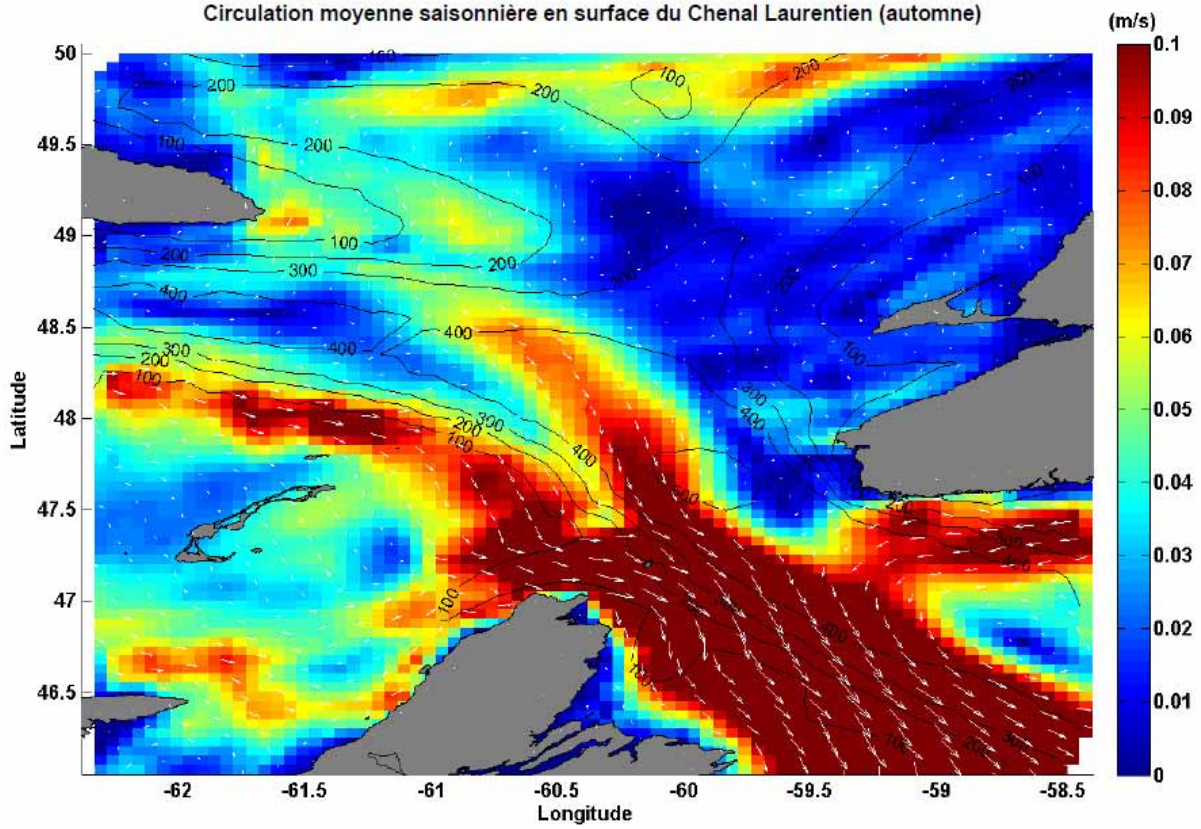
Circulation moyenne saisonnière en surface du Chenal Laurentien (été)



Circulation moyenne saisonnière en profondeur du Chenal Laurentien (été)



Circulation moyenne saisonnière en surface du Chenal Laurentien (automne)



Circulation moyenne saisonnière en profondeur du Chenal Laurentien (automne)

