

**Dragage d'entretien du port de refuge
de Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans
pour la période 2002-2012**

Réponse aux questions et commentaires, deuxième série
soumise au ministère de l'Environnement du Québec
Dossier 3211-02-204

Promoteur:
Club Nautique de l'Île Bacchus Inc.
C.P. 121, Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans (QC)
G0A 3Z0
juillet 2005

Réponse deuxième série - QC-1

Un résumé complet de l'ensemble des informations est présenté pour répondre à cette question.

Réponse deuxième série - QC 2

QC-9

En général, tous les navires de plaisance aménagés pour la vie à bord sont équipés d'un seul réservoir où les eaux grises et les eaux noires sont regroupées ensemble. Le port de refuge de Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans possède un poste où ces réservoirs peuvent être vidés. Ce poste est situé au ponton de services, immédiatement en amont de la rampe de mise à l'eau. Les eaux récupérées sont pompées dans la fosse d'épuration et traitées dans le champ d'épuration du port de refuge. Les plans de ces installations ont été approuvés préalablement à la construction du port de refuge.

QC-40

Par rapport au port de refuge de Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans, la figure 2 de l'étude d'impact couvre un territoire de 40 km vers l'amont et de 50 km vers l'aval. Cette figure qui montre l'île d'Orléans au complet s'étend cependant très au-delà des zones potentiellement affectées par la réalisation du projet. La figure 5 présentée en annexe s'étend 20 km en amont et 20 km en aval du port de refuge et reprend la présentation des ressources fauniques à l'échelle demandée.

QC-41

La figure 5 présente l'information demandée.

La carte des aires utilisées par l'esturgeon noir est présentée en annexe à la figure 6.

L'information disponible sur les Anguilles d'Amérique dans la région de Québec porte sur la dévalaison des femelles adultes qui se produit à l'automne à partir du tout début de septembre. La migration est totalement terminée vers le 15 novembre. Les vitesses de dévalaison sont variables mais la valeur moyenne dépasse légèrement 10 km/jour (Caron et al., 2001). Une telle valeur conduit à un temps de présence très limité lorsqu'on considère la zone des travaux. La montaison des jeunes anguilles n'est pas documentée dans la région de Québec. Des informations sont disponibles dans la zone fluviale en amont de Montréal où les déplacements moyens sont de 1 km/j (Desrochers et Fleury, 1999). Les déplacements se font alors en été; comme pour les adultes, l'activité nocturne semble prépondérante.

Les connaissances actuelles sur le cycle des anguilles tendent à démontrer que le retour des jeunes en eau douce serait aléatoire, sans lien avec l'origine des géniteurs. Les spécialistes concernés par la diminution des stocks d'anguille d'Amérique favorisent la recherche d'une solution à l'échelle du continent. Pour contrer la diminution des stocks, l'efficacité d'une solution locale (ne concernant que le Saint-Laurent par exemple) serait effectivement limitée si le retour des jeunes anguilles dans chaque rivière est proportionnel au nombre des reproducteurs provenant de toutes les rivières où l'espèce est présente. Dans ces conditions, une mesure d'insertion ponctuelle concernant cette espèce risque fort d'être totalement inefficace.

Caron, F., G. Verreault et E. Rochard (2000). Estimation du nombre d'Anguilles d'Amérique (Anguilla rostrata) quittant le bassin versant du Saint-Laurent et de son taux d'exploitation. Société de la faune et des parcs du Québec. 45 pages.

Desrochers D. et C. Fleury (1999). Passe migratoire à anguille (Anguilla rostrata) au barrage de Chambly et étude de la migration des anguilles juvéniles du Saint-Laurent. Préparé pour Hydro-Québec, Hydraulique et environnement, groupe production par Milieu Inc. Pagination multiple.

QC-43

L'ACOA est surtout utilisée par les bernaches du Canada au printemps; il n'y a pas d'utilisation de la zone à l'automne. L'interaction avec les travaux de dragage n'existe donc qu'au printemps. Les oiseaux utilisent la plage découverte à marée basse et il n'a pas d'utilisation du milieu aquatique. La limite amont de l'ACOA se situe à 2 km en aval du port de refuge. À cette distance, les activités qui se dérouleront dans le bassin d'amarrage ne seront ni audibles ni perceptibles visuellement car, à marée basse, le quai de Saint-Laurent masque complètement les activités qui se produiront dans le bassin d'amarrage.

Pour le dragage hydraulique, les courants de marée dirigent les sédiments rejetés vers le large (voir la modélisation du panache à la figure 7 en annexe) et empêchent toute sédimentation sur la rive; les conditions sédimentaires naturelles ne changeront donc pas dans l'ACOA. De plus, au printemps et à l'automne, on n'y observe aucune présence des canards plongeurs et, dans ce cas, la turbidité de l'eau n'est pas un paramètre susceptible d'avoir des impacts négatifs. Il n'y aura donc pas d'interaction possible avec le panache de turbidité que le dragage mécanique pourrait produire le long du rivage (et dont l'évaluation de la longueur est à prendre avec précaution).

Dans le cas du dragage hydraulique, l'éloignement du port de refuge rendra le panache non perceptible, même en amont de l'ACOA où la distance est à son minimum. Il n'y a pas d'interaction et donc pas d'impact sur cette composante.

QC-45

L'auteur de l'étude a participé à des suivis environnementaux lors d'opération de dragage mécanique et base la valeur de 1 g/L à partir de cette expérience. Avec des débits de 100 m³/h, correspondant aux types d'équipement disponibles sur le Saint-Laurent, des concentrations nettement plus élevées que les concentrations ambiantes sont en général mesurées dans la colonne d'eau à proximité immédiate de la zone de dragage lorsque des sédiments fins sont enlevés du fond. Les concentrations élevées sont associées au mouvement de la pelle de la drague mécanique dans la colonne d'eau, à la vitesse d'impact de la pelle avec le fond, à ses caractéristiques physiques (pelle étanche ou non lorsqu'elle remonte les sédiments). Le remplissage de la barge (utilisée pour le transport des matériaux au site de rejet) peut également occasionner d'importantes remises en suspension de particules fines. Le comportement physique des sédiments influence lui aussi l'importance des remises en suspension: des sédiments fins cohésifs sont moins susceptibles de produire des remises en suspension importantes que des sédiments fins peu cohésifs.

Dans le cas du dragage mécanique des sédiments du port de refuge (dont on sait qu'ils sont très fins et présentent une faible cohésion), il est certain que des remises en suspension importantes seront difficiles à empêcher, même en suivant les recommandations habituelles (faible vitesse de descente et de remontée de la pelle, étanchéité, etc.). Des concentrations de 1 g/L de matières en suspension sont également observées dans les conditions naturelles du fleuve, en particulier dans des zones où des sédiments fins sont remis en suspension le long du rivage.

Réponse deuxième série - QC-3

L'installation prévue pour la réalisation des travaux consiste à utiliser une barge d'environ 3 m de large et 6 m de long, au centre de laquelle sera fixée une pelle hydraulique. Le bras de la pelle servira à manipuler la pompe verticalement et à contrôler son déplacement au fond du bassin. La position de la barge dans le bassin sera maintenue et contrôlée par 3 amarres dont la longueur sera réglée par des winches montés sur la barge. Les amarres seront fixées sur le pourtour du bassin, sur le quai et sur le brise-lames afin de placer le ponton dans chacune des zones à draguer.

La pompe hydraulique sera équipée d'une tête désintégratrice. La présence de cet équipement n'est probablement pas nécessaire à cause de la nature des matériaux à draguer. Cependant, il s'agit du

premier dragage effectué dans le bassin et la tête désintégratrice assure que les travaux pourront se réaliser si les sédiments à draguer sont plus consolidés qu'il ne semble .

La pompe est équipée d'un moteur électrique de 20 chevaux alimenté en 550 V. Un câble électrique de gros diamètre assurera le fonctionnement du moteur. Ce câble sera amarré au ponton de dragage et maintenu en surface du bassin pour rejoindre l'alimentation électrique du port de refuge située dans la capitainerie.

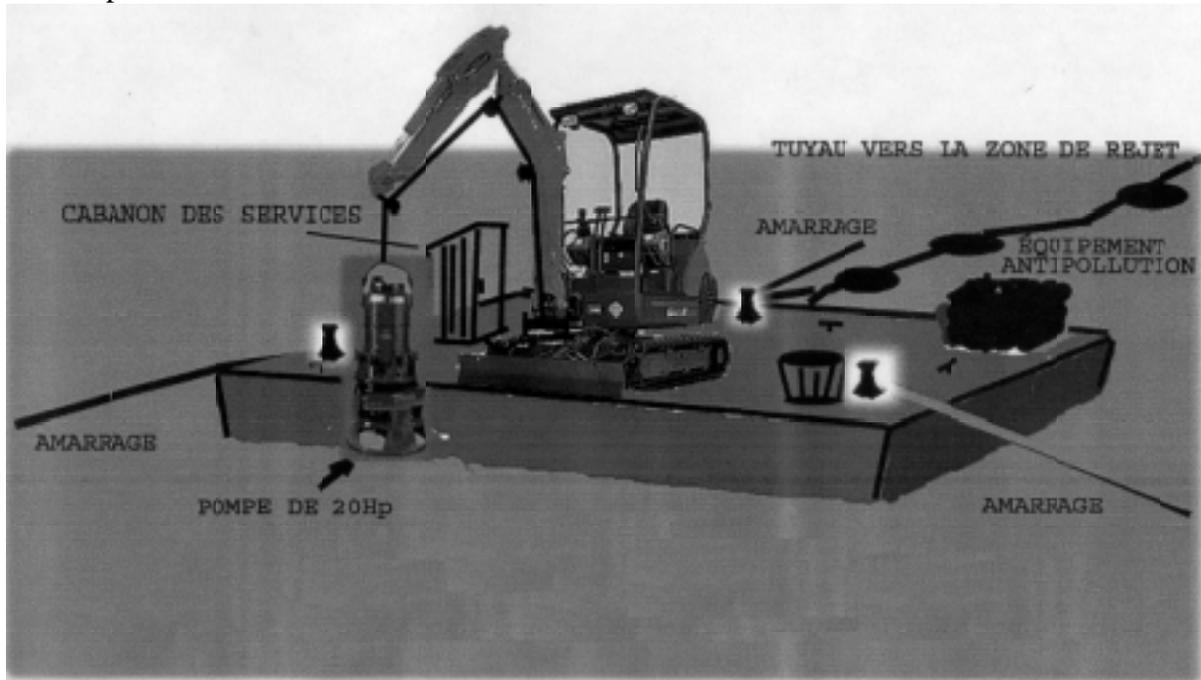


Schéma des installations de dragage

Les sédiments dragués seront refoulés dans un tuyau de 15 cm de diamètre. Ce tuyau sera amarré à la barge de dragage puis maintenu en surface du bassin par des flotteurs pour rejoindre l'entrée du bassin (voir le schéma). On prévoit que le tuyau sera amarré au quai de Saint-Laurent dans la zone d'entrée du bassin. La longueur du tuyau entre la barge et l'entrée du bassin sera ajustée pour pouvoir travailler dans toutes les zones à draguer.

L'extrémité du tuyau sera fixée à 2 m sous la surface, en utilisant un autre ponton amarré à une trentaine de mètres en avant de l'entrée du port de refuge. Ce ponton sera amarré à l'intérieur d'une des 2 zones identifiées à la figure 1, soit au centre du site de rejet n° 1, soit à une position qui ne nuise pas à la circulation maritime à l'intérieur du site de rejet n° 2. À la figure 1, on a représenté le ponton et ses ancres ainsi que le tuyau reliant le quai au ponton au centre du site de rejet n° 1 qui sera probablement utilisé pour réaliser les travaux. Le ponton du site de rejet respectera toutes les règles de signalisation maritimes.

La pompe hydraulique utilisée pèse environ 400 kg dans l'air et sa position à la verticale du bras hydraulique ne sera pas du tout affectée par les faibles courants dans le bassin. L'ajustement vertical de la position de dragage sera contrôlé par la position du bras hydraulique. La cote du fond sera calculée par rapport à la hauteur de marée. À cette fin, on placera une règle de marée sur la paroi verticale du quai de Saint-Laurent. Le fond du bassin est sur le roc et tout surdragage de la cote initiale du bassin est impossible avec l'équipement utilisé. Dans le bassin, la position de dragage sera définie par des alignements placés sur la rive. On amarrera la barge précisément sur l'alignement défini et tous les points que l'on peut rejoindre seront dragués avant d'avancer la barge

sur cet alignement. Le déplacement latéral de la pompe permis par le bras hydraulique définira l'espacement des alignements. Pour faire le suivi des opérations, l'ensemble des positions de dragage occupées sera cartographié au moment de la réalisation des travaux.

Réponse deuxième série - QC-4

Une tête désintégratrice équipera la pompe hydraulique prévue pour faire les travaux. Comme mentionné dans la description des opérations, il s'agit d'une sécurité pour que les travaux se réalisent quelles que soient les conditions rencontrées.

Réponse deuxième série - QC-5

Le comportement d'un rejet continu est différent de celui d'un rejet ponctuel et le test n'avait pas pour but de représenter les conditions d'opération. La plus grande transparence des eaux du fleuve au moment du test a permis de suivre la dispersion des sédiments à une plus grande profondeur sous la surface. Aucune observation n'aurait été possible au printemps ou à l'automne alors que la visibilité se limite à moins de 10 cm. Aucune mesure des matières en suspension (MES) n'a été faite durant le test.

Réponse deuxième série - QC-6

L'étude de la dispersion à la rhodamine utilisée a été réalisée pour la surveillance des conditions dispersives du fleuve au site du diffuseur de Sainte-Foy et au site du diffuseur de Québec. Ces deux diffuseurs sont situés au centre du fleuve, à quelques kilomètres en amont et en aval des ponts de Québec. Les mesures ont été faites durant des marées de vive-eau qui ne correspondaient pas à des marées extrêmes. L'utilisation des résultats est justifiée par le fait que la modélisation des conditions de dispersion dans un secteur comme celui de Québec est très complexe. Les hypothèses simplificatrices nécessaires pour obtenir des résultats de modélisation nuisent directement à leur précision.

La campagne de mesures décrit le comportement moyen dispersif du fleuve Saint-Laurent dans la région de Québec, en dehors de la zone d'influence des berges. L'interprétation reste valable dans le chenal des Grands Voiliers car la masse d'eau est identique à celle de la région évaluée. Les lois physiques qui s'appliquent sont les mêmes pour un rejet effectué au fond et de densité moindre que le milieu ambiant (cas des diffuseurs de Québec et de Sainte-Foy) ou pour un rejet en surface et de densité supérieure à celle du milieu ambiant.

L'application des résultats de cette étude à des profondeurs moindres reste également valable à condition que les courants et la turbulence ne soient pas affectés par le changement des profondeurs et que les particules en suspension que l'on veut décrire se comportent de la même façon que la rhodamine. Le point de rejet se trouve dans le chenal, en dehors de la zone d'influence des rives; les courants et la turbulence sont tout à fait semblables à ceux du centre du chenal. Le comportement semblable des particules et de la rhodamine présente plus de limitations potentielles mais cette hypothèse est considérée comme vraie dans toutes les études pratiques basées sur des mesures à la rhodamine. Enfin la différence de profondeur est prise en compte dans le calcul du panache au point de rejet. Toutes ces raisons justifient la transposition des mesures de l'étude au site du port de refuge.

Réponse deuxième série - QC-7

Les 2 sites de rejets ont été localisés sur la figure 1.

L'augmentation de la superficie du site de rejet n°2 se justifie par le fait que le projet du ministère des Transports n'est pas précisé définitivement. Le point de rejet doit être placé en dehors de la zone d'influence de l'aménagement complété ou en cours de construction, sans qu'on sache ce que sera effectivement cette zone. Il faut également que le ponton et ses ancrages soient en dehors de la zone

de manœuvre d'un traversier qui viendrait à quai durant la réalisation des travaux de dragage. Ces deux contraintes ont conduit à définir une zone de plus grande superficie qu'il n'est nécessaire. En réalité, une fois le ponton localisé correctement dans la zone de rejet n°2, ses mouvements seront limités à l'intérieur d'une superficie égale à celle du site n°1.

La limite où les courants du chenal changent brutalement à proximité de l'entrée du port de refuge est connue de tous les plaisanciers qui utilisent les aménagements. La démarcation entre les courants du chenal et la zone d'influence du rivage est également visible pour tout observateur placé au bout du quai de Saint-Laurent. Avec cette connaissance, on peut dire sans aucun risque d'erreur que les 2 sites de rejet indiqués sont en permanence en dehors de la zone d'influence du rivage. À l'intérieur de ces 2 sites, les courants de marée s'éloignent du rivage au flot et au jusant.

La plus grande superficie du site de rejet n°2 vise spécifiquement à s'assurer qu'il n'y aura pas d'interaction avec l'aménagement complété ou en cours de construction. Il est tout à fait impossible de prévoir les conséquences d'une telle interaction sans préciser (au minimum) quel sera l'aménagement ainsi que sa localisation précise. Actuellement, ni l'aménagement ni sa localisation ne sont connus et il est beaucoup plus fonctionnel d'agrandir le site de rejet n°2 que de chercher à modéliser des interactions hypothétiques.

Réponse deuxième série - Commentaire 1

Modélisation du rejet

En plus de la présentation des caractéristiques du panache basée sur les tests à la rhodamine effectués dans la région de Québec, une modélisation du panache a été faite à partir du modèle américain du Corps of civil engineers (Schroeder et Palermo, 1995), développé spécifiquement pour traiter les différentes situations qui se présentent dans les opérations de dragage. Le modèle se compose de plusieurs modules indépendants, chaque module étant appliqué à une situation pouvant se présenter au site de dragage, au site de rejet ou au site de confinement.. Pour le rejet continu d'une drague hydraulique, le programme utilisé se nomme CDFATE (les 2 premières lettres du nom décrivent le comportement correspondant à une Décharge en Continu des sédiments dragués).

Rappel du cadre technique

Le dragage hydraulique des sédiments qui se sont déposés dans le bassin d'amarrage du port de refuge sera fait avec une pompe de 20 chevaux, équipée d'une tête désintégratrice. Les sédiments proviennent du dépôt des matières en suspension du fleuve et les granulométries effectuées indiquent que le diamètre moyen des particules est inférieur à 10 µm. Il s'agit de sédiments très fins, composés de limons et d'argiles avec de très faibles pourcentages de sables. La distribution granulométrique des sédiments est représentée dans le tableau suivant, tiré des courbes granulométriques disponibles et présentées dans l'étude d'impact:

	argile % passant	limon % passant	sable % passant
échantillon #1	34 %	98 %	100 %
échantillon #4	36 %	99 %	100 %
échantillon #6	35 %	99,5 %	100 %

Le point de rejet prévu se situe en avant du quai de Saint-Laurent, à la position centrale du site de rejet n° 1 (figure 1 de l'étude d'impact) ou à l'intérieur du site de rejet n° 2. Le site de rejet n° 2 correspond à des conditions hydrodynamiques semblables au site de rejet n° 1 pour les courants et les profondeurs et le comportement du rejet y sera en tout point identique.

Modélisation du panache

Le programme CDFATE se présente en trois blocs principaux: le prétraitement des données d'entrée, le calcul du comportement du rejet dans le milieu et la présentation des résultats. Les hypothèses de calcul supposent que le débit et les apports solides de l'effluent sont continus et que l'écoulement du milieu récepteur est permanent. Ces hypothèses ne sont pas respectées en milieu estuarien mais on peut s'en approcher car la dilution se produit en général sur un temps court par rapport aux changements qui s'opèrent dans le milieu ou dépendants du cadre des opérations. Le modèle suppose de plus que les vitesses sont égales partout dans la section hydraulique. Celle-ci est représentée sous la forme d'une section rectangulaire équivalente, de même largeur que la section réelle et dont la profondeur est égale à la profondeur moyenne de la section réelle.

Le mélange de l'effluent dans le milieu récepteur est calculé par le modèle en faisant intervenir l'interaction de l'effluent avec les vitesses du milieu récepteur, l'effet des différences de densité entre le rejet et la colonne d'eau ainsi que l'effet des dimensions du milieu récepteur. Le comportement du rejet dans le milieu est calculé par le modèle CORMIX, mis au point par l'université Cornell; les différentes phases du mélange sont traitées successivement (jet conservatif, jet peu influencé par le milieu, jet fortement dévié puis panache libre et enfin panache attaché près du fond ou des rives). Les conditions initiales des différentes étapes sont fixées par continuité avec les conditions finales de l'étape précédente.

Le modèle CORMIX a été mis au point pour traiter les rejets aquatiques des émissaires urbains ou industriels. Il suppose que la densité de l'effluent soit moindre que celle du milieu récepteur et que le rejet se situe près du fond. Le rejet d'un dragage hydraulique est toujours avec une densité supérieure à celle du milieu récepteur et il s'effectue en surface du plan d'eau. La représentation mathématique des panaches permet de démontrer que ces deux situations sont l'image l'une de l'autre et qu'une transformation appropriée les relie de façon unique. Cette propriété est utilisée dans CDFATE: le modèle CORMIX est utilisé dans sa forme originale et ce sont les données décrivant le milieu et les conditions du dragage qui sont transformées dans la première phase des calculs. Le modèle CORMIX est ensuite appliqué sur les données transformées et, dans la dernière phase du traitement, les résultats du modèle sont transformés à nouveau pour représenter le panache correspondant au projet de dragage. Dans ce contexte, pour respecter les hypothèses de calcul, le point de rejet des sédiments dragués doit se faire près de la surface du plan d'eau. La profondeur maximale du point de rejet ne doit pas dépasser le tiers de la profondeur de la colonne d'eau au point de rejet (Don Chase, 1994).

Comme il a été mentionné précédemment, les hypothèses d'écoulement continu retenues pour la modélisation sont éloignées des conditions non permanentes rencontrées en estuaires. Cependant, aux États-Unis, le modèle CDFATE sert de cadre pour la description des panaches associés aux opérations de dragage, qui, la plupart du temps se déroulent dans les zones influencées par la marée. Des vérifications ont été faites et les études de terrain suggèrent que les résultats de la modélisation représentent correctement les situations observées lors du mélange de l'effluent dans le milieu récepteur (Donneker et Jirka, 1990).

Définition des paramètres de calcul

Pour faire les travaux au port de refuge de Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans, on prévoit utiliser une pompe de 20 chevaux qui refoule dans un tuyau de rejet de 15 cm de diamètre. Avec ce type d'équipement, le débit d'opération est de l'ordre de 1,5 m³/minute (soit 25 L/s). En supposant que 20% du volume entraîné est composé par les sédiments en place au fond du bassin, le débit au point de rejet se composera de 20 L d'eau et de 5 L de sédiments. En supposant que le volume des sédiments entraînés soit constant, le débit solide et la concentration du rejet dépendront directement de la densité des sédiments au point de dragage considéré. Cette densité varie selon la teneur en eau

des sédiments. En supposant que la densité des sédiments secs est de 2,5 t/m³ et que la densité des sédiments en place est de 1,3 t/m³, les sédiments dragués se composeront de 20% de sédiments et de 80% d'eau en volume. En effet, avec ce contenu en eau, un mètre cube de sédiments contiendra 800 L d'eau et 200 L de sédiments soit:

$$(800 \times 1) \text{ kg} + (200 \times 2,5) \text{ kg} = 1\,300 \text{ kg ou } 1,3 \text{ t.}$$

Si les sédiments au point de dragage ont une densité relative de 1,5 alors, un calcul identique au précédent indique que les proportions de sédiment et d'eau seront respectivement de un tiers et de deux tiers. Pour un mètre cube de sédiments:

$$(667 \times 1) \text{ kg} + (333 \times 2,5) \text{ kg} = 1\,500 \text{ kg ou } 1,5 \text{ t}$$

Les densités relatives de 1,3 à 1,5 sont représentatives des sédiments en place dans le bassin d'amarrage. Les plus faibles densités se retrouvent près de la surface alors que les densités plus élevées se retrouvent près du fond du bassin. En supposant un entraînement de 20% en volume, le dragage des sédiments du fond, conduira à une densité du rejet égale à 1 100 kg/m³ puisqu'à chaque seconde, 5 L de sédiments ayant une densité relative de 1,5 seront transportés avec 20 L d'eau, soit un poids de 27,5 kg pour un volume de 25 L. Avec le même taux d'entraînement de 20% en volume et une densité relative des sédiments en place de 1,3, la densité du rejet sera de 1 060 kg/m³. Au point de rejet, c'est-à-dire avant toute dilution dans le milieu, les concentrations de matières en suspension correspondantes à ces 2 valeurs seront de 167 000 mg/L et de 100 000 mg/L.

Comme mentionné précédemment, l'efficacité du dragage varie avec l'efficacité de l'entraînement des sédiments et avec l'efficacité de leur transport jusqu'au point de rejet. Les valeurs précédentes, calculées pour une valeur d'entraînement de 20% en volume correspondent à des valeurs maximales qui ne seront probablement jamais dépassées lors du dragage réel des sédiments. Les valeurs calculées précédemment supposent que l'entraînement des sédiments reste constant; cependant, les sédiments denses sont plus cohésifs et donc moins facilement entraînés et moins facilement transportés. En pratique, le dragage de sédiments près du fond tend à augmenter les concentrations au point de rejet mais cette augmentation est réduite par la moindre efficacité de l'entraînement et du transport. Pour les sédiments de surface, les concentrations au point de rejet sont moindres à cause de la densité mais l'entraînement et le transport seront plus efficaces. La résultante de ces influences contraires conduit à stabiliser les concentrations de MES du rejet. Pour la modélisation du rejet, la plupart des tests ont été réalisés avec une densité de rejet de 1 075 kg/m³ et une concentration des matières en suspension de 150 000 mg/L.

La section hydraulique en avant du quai de Saint-Laurent est une section simple, avec une fosse profonde proche de la pointe Saint-Laurent et une faible largeur de rive du côté de l'île d'Orléans. Sur la rive opposée, les battures de Beaumont augmentent beaucoup la largeur de la section à marée haute. L'écoulement principal du fleuve passe près de l'île d'Orléans, au flot et au jusant. Pour modéliser la section hydraulique, les valeurs suivantes ont été calculées à partir de la carte marine 1317 et des hauteurs de marée indiquées dans les tables des marées du fleuve Saint-Laurent pour le port secondaire de Saint-Laurent:

	marée basse	mi-marée	marée haute moyenne	marée haute grande marée
cote de surface	0 des cartes	8,3 pieds	15,3 pieds	20,4 pieds
largeur	2190 m	2400 m	2930 m	2930 m
profondeur	11,7 m	12,2 m	12,8 m	14,1 m

Les profondeurs moyennes de la section varient peu en comparaison avec le niveau de marée à cause des battures de Beaumont qui élargissent la section à marée haute de près de 34%. Pour l'utilisation du modèle CDFATE, les caractéristiques du milieu physique modélisé doivent respecter certains

critères nécessaires aux calculs de continuité. En particulier, le modèle impose que la profondeur au point de rejet corresponde à la profondeur moyenne de la section plus ou moins 30%. Avec une profondeur au point de rejet de 5 m sous le 0 des cartes, le critère imposé peut être respecté à marée haute moyenne et aux grandes marées hautes mais, il n'est pas possible de le respecter ni à mi-marée, ni à marée basse. Cette difficulté a été contournée en prenant pour acquis que les vitesses, près de l'île d'Orléans, suivent approximativement les lignes de même profondeur et sont fortement orientées par la direction du chenal principal. C'est ce qu'indique l'atlas des courants de marée pour l'estuaire du Saint-Laurent du cap de Bon-Désir à Trois-Rivières (SHC, 1997). En fonction des bathymétries observées le long de l'île, le panache suit des profondeurs semblables sur la totalité de sa longueur. On a alors imposé la profondeur moyenne de la section à une valeur égale à la profondeur au point de rejet. Pour les calculs, l'effet revient à limiter la capacité de dispersion du milieu et donc à calculer des valeurs un peu plus élevées que ce qu'elles devraient être.

Dans le modèle CDFATE, les caractéristiques physiques du point de rejet sont définies par son éloignement à la rive, par la profondeur d'eau à cet endroit, par l'angle vertical que le tuyau de rejet fait avec la surface de l'eau et par l'angle horizontal du jet avec le courant. On doit également préciser le débit du rejet et le diamètre du tuyau. Comme mentionné précédemment, la section réelle doit être remplacée par une section hydraulique rectangulaire équivalente. Dans le cas du dragage à Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans, le point de rejet est situé en bordure du chenal, et donc près de la rive. Cependant, la façon de définir l'éloignement du point de rejet à la rive dans le modèle pour représenter le cas réel pose des problèmes d'interprétation. Les notes sur l'utilisation du modèle (Don Chase, 1994) ne fournissent pas d'information pertinente sur ce point particulier. L'interprétation des résultats devra se faire en tenant compte de cette limitation et des connaissances pratiques sur les courants présents aux sites de rejet..

Les paramètres d'entrée du modèle sont présentés dans le tableau du paragraphe suivant. Les paramètres y sont regroupées par thème. Les paramètres décrivant le rejet, la section et les densités servent au calcul du panache. Les paramètres regroupés dans la description des MES ne servent que pour la phase de présentation des résultats. Dans un premier temps, on a testé la sensibilité de la modélisation mais certains paramètres ont été maintenus constants. Dans le tableau qui suit, ces valeurs sont soulignées. Les valeurs non soulignées ont été testées pour évaluer leur influence sur le panache associé au rejet des sédiments dragués.

DESCRIPTION DU REJET
 distance de la rive
 profondeur d'eau au point de rejet
 profondeur du point de rejet
débit du rejet
diamètre du tuyau
 angle vertical du tuyau
 angle horizontal du tuyau

DENSITÉS
densité de l'eau
 densité du rejet

CALCUL DU PANACHE
 longueur de modélisation
nombre de points descriptifs

DESCRIPTION DE LA SECTION
 profondeur d'eau
 type d'écoulement (confiné ou libre)
description du chenal
rugosité du fond
profil de densité de la colonne d'eau
 vitesse moyenne du courant
vitesse du vent

DESCRIPTION DES MES
 concentration au point de rejet
concentration des MES dans le milieu
constante de réaction du premier ordre
dispersion thermique en surface
critères réglementaires à respecter

Description des paramètres fixes (valeurs soulignées du tableau)

Le débit du rejet a été maintenu à 25 L/s et le diamètre du tuyau a été fixé à 15 cm. Le débit utilisé correspond au débit de fonctionnement en continu de la pompe sans charge solide transportée. En opération, le débit continu devrait se situer légèrement en dessous de la valeur de calcul. La densité de l'eau a été fixée à 999 kg/m³ soit la densité de l'eau douce à une température d'environ 10° C. La colonne d'eau modélisée n'est pas stratifiée et la densité est la même quelle que soit la profondeur. Les travaux se dérouleront au printemps et à l'automne, alors que la température de l'eau évolue au cours du temps mais sans provoquer de changement important à la densité de l'eau. La valeur de densité retenue est donc représentative des conditions réelles.

Dans toutes les modélisations, le chenal est décrit comme sans méandres et avec une faible rugosité de fond (coefficient de Manning de 0,015). Les notes d'utilisation du modèle indiquent la faible influence de ce paramètre sur le calcul du panache et ce paramètre n'a pas été changé. Le vent a été fixé à une valeur moyenne (de 1 à 6 m/s); les notes d'utilisation du modèle recommandent cette option comme représentative des conditions normales. Dans la description des MES, la concentration du milieu a été fixée à 0 mg/L; dans CDFATE, cette concentration est considérée comme un bruit de fond et enlevée des concentrations calculées pour décrire le panache. Durant les travaux, la concentration des MES dans le milieu devrait être de l'ordre de 20 mg/L (valeur au printemps et à l'automne, près des rives). Cette valeur influencera les limites du panache mais n'a aucune influence sur les calculs de modélisation du panache. Les autres constantes de réaction ont été fixées à 0. En pratique, la concentration des MES est traitée comme conservative, ce qui est le cas dans le chenal des Grands Voiliers où la sédimentation sur le fond ne se produit pas. Enfin, dans le tableau précédent, les critères réglementaires à respecter sont spécifiques à la législation américaine; l'entrée des valeurs correspondantes permet la représentation graphique des panaches dans ce cadre spécifique. L'utilisation de ces paramètres n'est pas nécessaire (et de toute façon serait non appropriée dans le cadre de ce projet).

Enfin la modélisation a toujours été faite avec le nombre maximal de points intermédiaires permis qui est de 50. L'espacement des points décrivant les dimensions du panache est donc de 20 m lorsque la longueur décrite est de 1 000 m.

Description de la sensibilité du modèle

Les différents paramètres considérés pour tester la sensibilité du modèle indiquent que certains paramètres influencent relativement peu les résultats de la modélisation. Ainsi, pour le chenal droit qui est retenu dans chaque modélisation, l'éloignement à la rive correspond simplement à une translation des résultats dans le référentiel de mesure. Le changement de la profondeur d'eau associé à la marée affecte les résultats de la même façon que la profondeur du point de rejet sous la surface: une plus grande hauteur disponible au-dessus du fond augmente la dilution, mais de façon limitée. Ainsi avec le point de rejet placé à 2 m sous la surface, la concentration des MES calculée à 300 m du point de rejet est de 145 mg/L; cette valeur passe à 115 mg/L à 300 m du point de rejet si celui-ci est placé à 0,5 m sous la surface.

Par contre, d'autres paramètres ont un effet important sur le panache. Les angles verticaux et horizontaux du jet ont un effet direct sur les dimensions spatiales de la modélisation. En particulier, ils changent beaucoup la géométrie du panache lorsque le jet est perpendiculaire au courant, ce qui est la position prévue pour l'installation du tuyau de dragage. Cette disposition augmente la dispersion initiale des sédiments et se traduit globalement par un panache de moindre dimension et par un temps moindre pour rejoindre de faibles concentrations en MES.

Le panache est également fortement influencé par la vitesse du courant. Avec des courants faibles, le panache rejoint le fond à peu de distance du point de rejet. Une fois dans cette situation, et à

condition que les courants ne se renforcent pas, le panache se transfère lentement sur le fond. Selon les calculs, il lui faut près de 50 minutes pour s'éloigner de 300 m du point de rejet lorsque les courants sont de 0,1 m/s. Cette période de 50 minutes dépasse nettement la durée des étales de courant dans le secteur du quai de Saint-Laurent. En conséquence, le passage à des vitesses de flot à celles de jusant supérieures l'une et l'autre à 1 m/s se produit le plus souvent en quelques dizaines de minutes; l'étales des courants représenté par la modélisation des faibles courants ne dure qu'une courte période à chaque marée. Au point de rejet, les conditions normales sont en fait représentées par des courants supérieurs à 1 m/s dirigés vers l'amont et dirigés vers l'aval.

La modélisation du panache avec des courants de 1 m/s donne les valeurs suivantes:

distance du point de rejet (m)	concentration des MES (mg/L) au centre du panache	largeur totale du panache (m)
50	750	2,2
100	310	3,4
200	125	12
300	87	17
400	70	19
500	57	21
600	46	23
750	33	26
1000	21	30

Pour montrer l'influence de la vitesse, un courant de 2 m/s conduirait à une concentration de 22 mg/L à 500 m du point de rejet. Avec des courants de 1 m/s, le modèle indique que le panache rejoint le fond à environ 110 m du point de rejet. Le tableau précédent montre également que la largeur du panache est très restreinte; à 600 m du point de rejet, le panache n'est présent que sur environ 1% de la largeur du fleuve. Cette largeur est nettement moindre que celle prévue à partir des mesures de rhodamine faites dans la région de Québec. Étant donné la concentration des MES dans le milieu naturel et les fluctuations dont elles font l'objet, la distance de repérage du panache dans le fleuve serait de l'ordre de 600 m. Avec des vitesses de 1 m/s, le temps nécessaire pour parcourir 600 m est de 10 minutes. Le temps de contact potentiel des organismes avec les concentrations plus élevées du panache reste donc très restreint.

La figure 7 en annexe présente les concentrations calculées en fonction de la distance au point de rejet pour 3 situations de courant: marée descendante, marée montante et étales des courants. À marée descendante, le panache se trouve être dans la direction des courants de jusant; cette direction est celle du chenal du fleuve en amont du quai de Saint-Laurent. Cette direction correspond également à celle des vents dominants du secteur sud-ouest car ils s'alignent eux aussi sur la direction du chenal du fleuve en amont du quai de Saint-Laurent. Le panache suit une direction générale qui l'éloigne de la rive à cause de l'orientation des courants dans la zone du site de rejet. Pour cette raison, les sédiments ne peuvent pas rejoindre la berge .

À marée montante, le schéma du panache représenté au centre de la figure 7 suit la direction imposée par les courants de marée au flot. Ces courants sont dans l'alignement du chenal situé en aval du quai de Saint-Laurent. Immédiatement en avant du quai, la direction des courants qui se sont développés dans le chenal se maintient et explique pourquoi les directions des courants de marée ne sont pas directement opposées l'une à l'autre en avant du port de refuge de Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans. Comme dans le schéma précédent, le panache s'éloigne de la rive amont. Les sédiments ne pourront donc pas non plus rejoindre la berge durant le flot.

Durant l'étalement des courants, les sédiments rejoignent rapidement le fond à cause de la densité du rejet plus élevée que celle de la colonne d'eau. Le schéma en bas de la figure 7 est une représentation de cette situation en supposant que les courants de 0,1 m/s sont constants et dirigés en permanence vers l'aval durant 30 minutes. Le rejet forme alors un voile au-dessus du fond qui s'étale peu à peu en perdant son épaisseur. Dans ces conditions, la densité du rejet diminue lentement au cours du temps et les concentrations restent élevées tant que les courants ne se renforcent pas.

La situation représentée à la figure 7 correspond à une durée de faibles courants pendant 30 minutes. Il s'agit d'une période beaucoup plus longue que les renverses de courant normalement observées près du quai de Saint-Laurent. La superficie de fond affectée par le rejet est de l'ordre de la superficie du bassin d'amarrage (15 000 m²). La superficie est surtout dépendante de la durée des courants faibles; la forme représentée est liée directement à l'hypothèse de calcul où la direction des courants est constante. En réalité les courants à l'étalement ne sont pas constants et ce sont eux qui fixent la forme de la superficie du voile sur le fond. En pratique, le rejet sur le fond conserve une densité supérieure à celle de la colonne d'eau et ses déplacements dépendent en partie de cette différence de densité. L'épaisseur du rejet reste faible (les calculs indiquent une épaisseur de 0,5 m près du point de rejet et de 0,25 m dans la zone la plus éloignée du rejet) et ne lui permet pas de remonter vers la rive sans perdre immédiatement toute son énergie. Même durant les étalements de courant, les sédiments rejetés ne pourront pas rejoindre la rive ni revenir dans le bassin d'amarrage du port de refuge. Dès que les courants se rétablissent, le dépôt près du fond ne peut plus se maintenir et la dispersion dans la colonne d'eau redevient le mécanisme dominant. Le panache reprend alors l'une des 2 formes présentées dans les 2 premiers schémas de la figure 7.

Réponse deuxième série - QC-8

Le transport des sédiments du panache ne peut pas rejoindre les rives car il suit la direction que les courants lui imposent. Le quai de Saint-Laurent est situé sur une pointe qui marque un changement dans la direction moyenne du chenal. Cette information est une donnée importante pour la navigation et elle est indiquée sur la carte marine représentée en annexe à la figure 5. La direction du chenal en amont est 072° et celle en aval est 053°. En avant du quai de Saint-Laurent, les courants du chenal sont orientés selon ces 2 directions et les panaches sur la figure 7 suivent ces directions. Les 2 directions s'éloignent des rives et transportent les sédiments rejetés vers le centre du chenal où ils vont s'intégrer aux matières en suspension et en devenir indiscernables. Dans le chenal, il n'y a pas de zone de sédimentation (car l'écoulement est beaucoup trop fort pour que cette situation puisse exister) et l'intégration des sédiments rejetés aux matières en suspension sera complète.

L'étendue régionale vient de l'intégration des sédiments rejetés à ceux déjà présents dans la colonne d'eau. Au delà de quelques centaines de mètres, la présence du panache devient difficile à mettre en évidence par des mesures de terrain. Au double de cette distance, le repérage du panache devient tout à fait impossible. Rappelons que le rejet se compose de particules ayant la même origine que les matières en suspension présentes dans le milieu et qu'on ne peut utiliser des critères chimiques ou cristallographiques pour les identifier spécifiquement. Sans ces outils, il ne reste que la mesure directe ou indirecte (par analyse acoustique) des particules physiques provenant du rejet. Ces mesures sont directement limitées par les fluctuations des concentrations associées à la turbulence naturelle. On sait que les sédiments du rejet n'imposent aucun changement chimique mesurable sur le milieu; on sait aussi que leur présence physique n'est plus repérable au delà de quelques centaines de mètres du point de rejet. L'étendue régionale est donc associée à une dilution qui rend toute interaction impossible au niveau régional.

La modélisation du panache représentée à la figure 7 confirme les conditions d'évaluation des impacts effectuées antérieurement. Les tests à la rhodamine indiquaient un panache avec une plus grande largeur (7° d'angle d'ouverture) et une réduction des concentrations des matières en suspension se produisant à une moins grande distance du point de rejet.(environ 500 m), Compte

tenu de la variabilité des courants de marée, il ne s'agit pas de différences importantes avec les résultats du modèle CDFATE. Les conditions prévues à l'étale des courants étaient également comparables dans les deux cas. Les calculs disponibles à la suite de la modélisation du panache ne changent donc pas l'évaluation des impacts déjà présentée.

Références pour la modélisation

Don Chase (1994). CDFATE User's Manual, Department of Civil & Environmental Engineering University of Dayton Dayton, OH 45469. 64 p.

Doneker, R.L., and Jirka, G.H. (1990). Expert System for Hydrodynamic Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Submerged Single Port Discharges (CORMIX1), U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Athens, GA,

Schroeder, P.R., and Palermo M.R. (1995). The Automated Dredging and Disposal Alternatives Management System (ADDAMS), Environmental Effects of Dredging Technical Note EEDP-06-12, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Service hydrographique du Canada (SHC). Carte marine 1317. Pêches et Océans Canada.

Service hydrographique du Canada (2005). Table des marées et courants du Canada. Fleuve Saint-Laurent et rivière Saguenay. Volume 3.. Pêches et Océans Canada

Service hydrographique du Canada (1997). Atlas des courants de marée. Estuaire du Saint-Laurent du cap de Bon-Désir à Trois-Rivières. Pêches et Océans Canada

ANNEXES

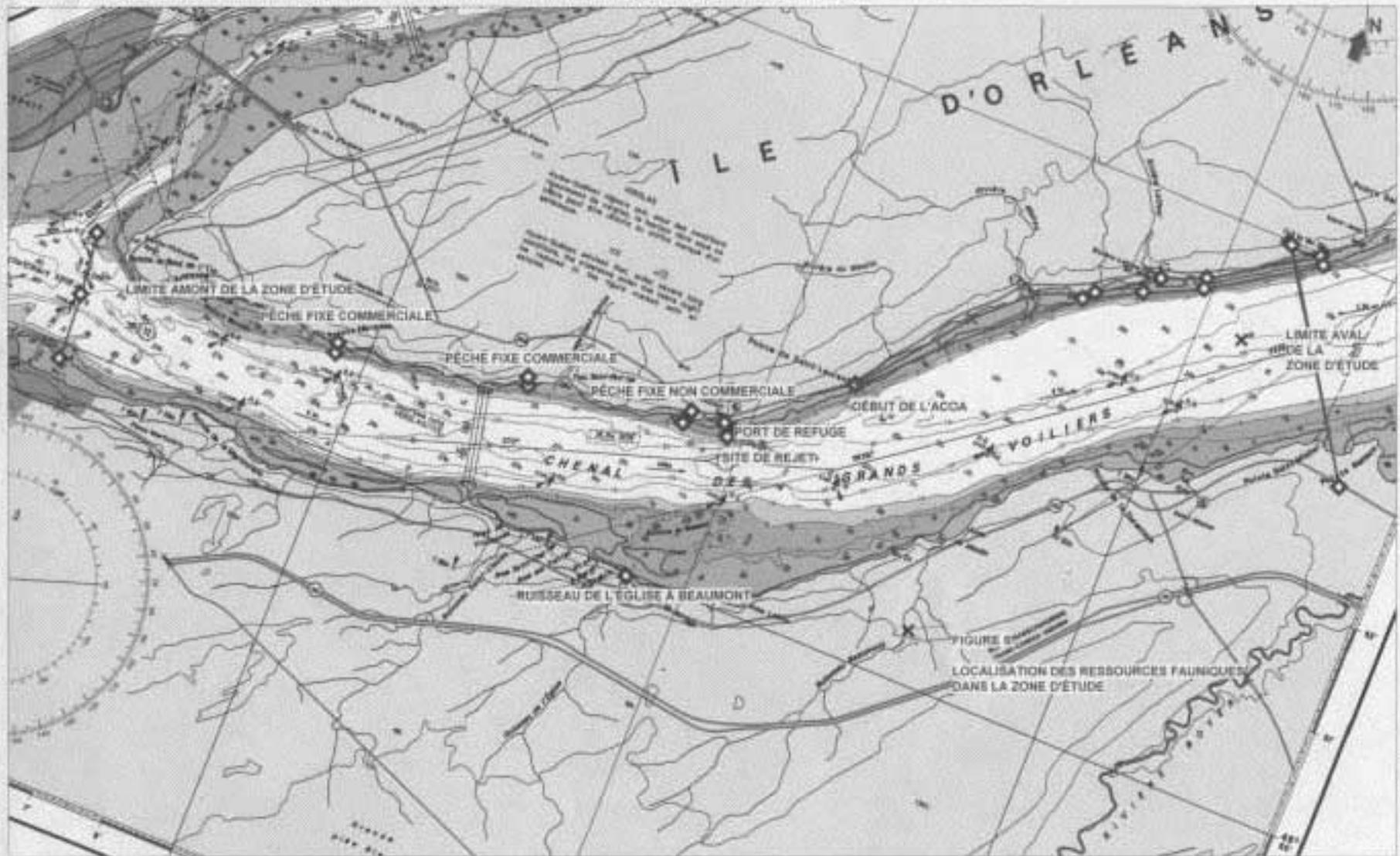
Figure 5: Localisation des ressources fauniques dans la zone d'étude

Figure 6: Identification des zones d'alimentation estivales (en aval) et des sites potentiels de frai (en amont) pour l'esturgeon noir.

Figure 7: Panaches de dispersion et vents dominants.

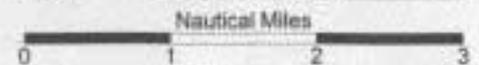
CONTINUATION A

Chart 131702 (Nautical Data International) Depth Units: METRES Datum: NAD83 (North American Datum 1983)



DO NOT USE FOR NAVIGATION PURPOSES

Printed by ChartView™ from Nobettec Corporation (503) 579-1414



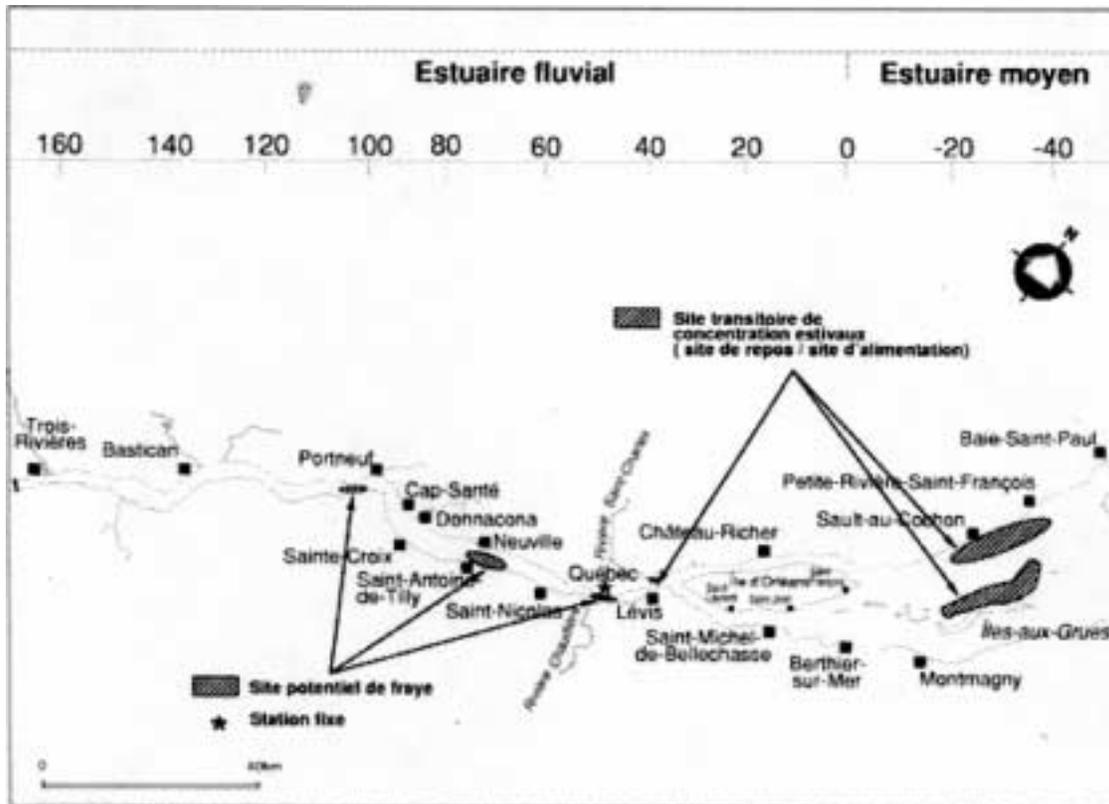


Figure 6: Identification des zones d'alimentation estivales (en aval) et des sites potentiels de fraie (en amont) pour l'esturgeon noir. Source: HATIN, D. et F. CARON. Déplacements et caractéristiques des esturgeons noirs (*Acipenser oxyrinchus*) adultes dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent en 1998 et 1999, Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune.



Figure 7: Modélisation des panaches de dispersion et direction des vents dominants à Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans