

Port de Sorel

Étude et modélisation hydraulique de l'impact des travaux de dragage

Le Groupe-Conseil LaSalle Inc.

9620, rue Saint-Patrick, LaSalle (Québec) Canada H8R 1R8
Téléphone : (514) 366-2970 / Télécopieur : (514) 366-2971
Site Internet : www.gcl.qc.ca
Courrier électronique : gcl@gcl.qc.ca

Mandat réalisé pour

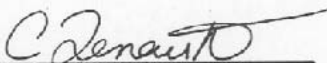
TECSULT INC.

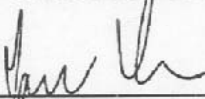
PORT DE SOREL

Étude et modélisation hydraulique de l'impact des travaux de dragage

R. 1500 Mars 2003

Préparé par :


Catherine Denault, ing. stag.


Marc Villeneuve, ing.

088-109 (760)

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX.....	ii
LISTE DES FIGURES	iii
1. INTRODUCTION	1
2. CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES.....	2
2.1 Le modèle numérique.....	2
2.2 Zone modélisée.....	2
2.3 Conditions aux limites	3
2.4 Paramètres de modélisation.....	3
2.4.1 Rugosité des fonds.....	3
2.4.2 Durée des simulations et pas de temps.....	4
2.4.3 Viscosité turbulente	4
2.5 Résultats et validation	4
2.5.1 Champs d'écoulement.....	4
2.5.2 Campagne de courantométrie	4
3. PANACHES DE DISPERSION	7
3.1 Le modèle numérique.....	7
3.2 Hypothèses de modélisation	7
3.2.1 Scénario de débit	7
3.2.2 Simulation bidimensionnelle	7
3.2.3 Coefficients de dispersion.....	8
3.2.4 Sédiments remis en suspension.....	9
3.3 Résultats.....	10
4. CONCLUSIONS	15
RÉFÉRENCES.....	16

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Conditions imposées aux limites du modèle.....	3
Tableau 2 : Débits de sédiments injectés au modèle numérique	9
Tableau 3 : Proportion de sédiments remis en suspension selon le type de drague (%).....	10
Tableau 4 : Mélange de sédiments basé sur la moyenne des données granulométriques....	11

LISTE DES FIGURES

- FIGURE 1: Zone à l'étude.
- FIGURE 2: Vue tridimensionnelle de la zone modélisée.
- FIGURE 3: Champs des vitesses en étiage : $Q_{\text{Saint-Laurent}} = 6\,556 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{Richelieu}} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$.
- FIGURE 4: Champs des vitesses en conditions moyennes : $Q_{\text{Saint-Laurent}} = 10\,478 \text{ m}^3/\text{s}$,
 $Q_{\text{Richelieu}} = 283 \text{ m}^3/\text{s}$.
- FIGURE 5: Champs des vitesses en crues : $Q_{\text{Saint-Laurent}} = 13\,594 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{Richelieu}} = 566 \text{ m}^3/\text{s}$.
- FIGURE 6: Campagne de relevés – comparaison avec les résultats de modélisation.
- FIGURE 7: Courantomètre utilisé lors de la campagne de relevés.
- FIGURE 8: Comparaison des vitesses mesurées lors de la campagne de relevés et celles calculées par MIKE 21.
- FIGURE 9: Concentration maximale des sédiments en suspension pour la durée des travaux de dragage – taux de remise en suspension de 5%.
- FIGURE 10: Variation de la concentration de sédiments remis en suspension en un point donné pour la durée des travaux de dragage.
- FIGURE 11: Déposition totale sur les fonds pour une remise en suspension initiale de 5%.
- FIGURE 12: Concentration maximale des sédiments en suspension pour la durée des travaux de dragage – taux de remise en suspension de 20%.
- FIGURE 13: Déposition totale sur les fonds pour une remise en suspension initiale de 20%

1. INTRODUCTION

De par son emplacement par rapport au fleuve Saint-Laurent, l'embouchure de la rivière Richelieu est sujette à des problèmes d'ensablement, et de nombreux dragages d'entretien ont dû être effectués au fil des ans afin de maintenir des profondeurs de navigation adéquates dans le port de Sorel.

La Société des Parcs Industriels de Sorel-Tracy est actuellement impliquée dans un projet de revitalisation du port de Sorel, qui consiste notamment à développer des solutions permettant de réduire les risques de sédimentation et les besoins de dragage d'entretien dans le secteur correspondant à l'embouchure de la rivière Richelieu.

Pour remédier au problème d'ensablement actuel, un dragage capital de l'embouchure de la rivière Richelieu est prévu pour l'automne 2003. Le présent rapport rend compte d'une étude de modélisation numérique réalisée au Groupe-Conseil LaSalle afin d'évaluer les panaches de dispersion qui seront causés par les travaux de dragage de l'embouchure.

Les résultats sont présentés en deux étapes. La section 2 traite des conditions hydrodynamiques de la zone à l'étude. Elle inclut une brève description des paramètres de modélisation utilisés pour simuler les champs d'écoulement, ainsi qu'une analyse des résultats obtenus suite à la modélisation de trois scénarios de débit. La validité et la précision des résultats du modèle numérique y sont également discutées.

La section 3 décrit l'approche suivie pour modéliser les futurs panaches de dispersion. Les principales hypothèses de modélisation sont d'abord exposées, puis les panaches obtenus par modélisation sont analysés.

2. CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES

2.1 Le modèle numérique

Les conditions hydrodynamiques à l'embouchure de la rivière Richelieu et dans le fleuve Saint-Laurent ont été modélisées à l'aide du modèle hydrodynamique (HD) de MIKE 21, un modèle conçu et développé au Danemark par DHI Water & Environment. Ce modèle résout numériquement, par la méthode des différences finies, les équations bidimensionnelles décrivant les écoulements à surface libre.

MIKE 21 reproduit numériquement la bathymétrie du secteur à l'étude selon des maillages rectangulaires. À partir de cette géométrie et des conditions imposées aux limites de la zone considérée, le modèle donne les valeurs de niveaux d'eau et de vitesses d'écoulement intégrées sur la verticale en chacun des points de maillage de la bathymétrie.

2.2 Zone modélisée

La bathymétrie de la rivière Richelieu et du fleuve Saint-Laurent a été modélisée d'après les cartes nautiques en format numérique no 1311 et 1312 du Service Hydrographique Canadien. Pour éviter que la schématisation des conditions d'écoulement imposées aux limites de la zone modélisée n'affecte la précision des résultats dans le secteur du port, et afin d'obtenir un bief suffisamment long pour simuler l'évolution des panaches de dispersion lors des travaux de dragage, un tronçon d'approximativement 32 kilomètres du fleuve Saint-Laurent a été reproduit, de Saint-Joseph-de-Sorel à Louiseville (figure 1).

Les profondeurs d'eau à l'aval du modèle, réduites au zéro des cartes de Louiseville (3,3 mètres au-dessus du niveau de référence géodésique (RG)), ont été ajustées afin d'obtenir pour l'ensemble du modèle des profondeurs d'eau réduites au zéro des cartes de Sorel (3,8 m au-dessus de la RG). La bathymétrie à l'embouchure de la rivière Richelieu et aux abords du quai no 14 a également été modifiée afin d'inclure les données bathymétriques relevées par les Entreprises Normand Juneau en juillet 2002. Finalement, les reversoirs de pierres dans le Grand Chenal, le Chenal aux Ours, le Petit Chenal de l'Île Dupas, le Chenal aux Castors et le Chenal des Barques ont aussi été inclus à leur cote existante, selon des relevés de 1988 (Saucet et al., 1989).

La numérisation de la bathymétrie de l'ensemble de la zone à l'étude a d'abord été effectuée selon une grille de $\Delta x = \Delta y = 45$ m. Afin d'obtenir une meilleure résolution des fonds marins

et des quais dans le secteur du port, une grille plus précise de $\Delta x = \Delta y = 15 \text{ m}$ a été utilisée dans le secteur de l'embouchure du Richelieu (voir figure 1). La bathymétrie tridimensionnelle ainsi obtenue dans MIKE 21 est illustrée à la figure 2.

2.3 Conditions aux limites

Les simulations des conditions d'écoulement ont été réalisées en imposant un débit aux deux limites amont du modèle (rivière Richelieu et fleuve Saint-Laurent) et un niveau d'eau à la limite aval du modèle (lac Saint-Pierre).

Les conditions d'écoulement de la zone à l'étude ont été simulées pour trois scénarios de débits différents, correspondant à des conditions d'étiage, de débits moyens et de crues (tableau 1).

Les niveaux dans le lac Saint-Pierre ont été estimés à partir d'une relation niveau-débit, établie au Groupe-Conseil LaSalle lors d'une étude antérieure sur modèle réduit de la même région (Hausser et Galiana, 1969). La validité de ces niveaux a été vérifiée par l'analyse de données plus récentes, enregistrées aux stations hydrométriques 020J032 et 02J022 d'Environnement Canada, entre 1975 et 1990 (Base de données HYDAT).

2.4 Paramètres de modélisation

2.4.1 Rugosité des fonds

Le coefficient de Manning servant à décrire la rugosité des fonds de la zone à l'étude a été fixé à $n = 0,025$.

Tableau 1 : Conditions imposées aux limites du modèle

Scénario	Débit _{Fleuve Saint-Laurent} (m^3/s)	Débit _{Richelieu} (m^3/s)	Niveau [*] _{Lac Saint-Pierre} (m)
Débits d'étiage	6 556	50	-0.7
Débits moyens	10 478	283	0.8
Débits de crues	13 594	566	1.85

* Niveaux d'eau exprimés en fonction du zéro des cartes de Sorel (3,8 m)

2.4.2 Durée des simulations et pas de temps

En fonction des profondeurs d'écoulement simulées et du critère de stabilité (nombre de Courant) influençant le schéma numérique du modèle, le pas de temps des simulations a été fixé à $\Delta t = 2$ secondes. Chaque simulation représentait une durée totale de 12 heures, un temps suffisamment long pour assurer la stabilité du modèle et l'établissement d'un régime d'écoulement permanent.

2.4.3 Viscosité turbulente

La viscosité turbulente de l'écoulement a été fixée à $0,3 \text{ m}^2/\text{s}$. Pour le type d'écoulement simulé, l'expérience montre que cette valeur permet généralement une bonne représentation des décollements et des courants de retour.

2.5 Résultats et validation

2.5.1 Champs d'écoulement

Les champs de vitesses obtenus pour les trois scénarios de débits sont illustrés aux figures 3 à 5. Selon le scénario de débit, les vitesses maximales varient entre $1,5 \text{ m/s}$ et $1,6 \text{ m/s}$ dans le fleuve Saint-Laurent, et entre $0,10$ et $0,65 \text{ m/s}$ dans la rivière Richelieu. En étiage, on remarque que la plupart des chenaux des îles de Sorel sont presque à sec, une condition qui avait aussi été observée lors de l'étude sur modèle réduit citée précédemment (Hausser et Galiana, 1969).

Pour les trois scénarios de débit, on observe également que l'écoulement sortant de la rivière Richelieu demeure concentré le long de la rive sud du fleuve Saint-Laurent, les courants plus rapides du chenal de navigation du fleuve ayant tendance à rabattre vers cette rive les courants plus lents issus du Richelieu.

2.5.2 Campagne de courantométrie

La validité et la précision des champs d'écoulement établis par le modèle numérique sont deux critères essentiels à la poursuite des objectifs de cette étude. Afin d'assurer la représentativité des conditions prédites par le modèle, les résultats du modèle numérique ont été comparés avec des données mesurées lors d'une campagne de relevés effectuée le 17 décembre 2002 en une vingtaine de stations réparties dans le secteur à l'étude (voir figure 6).

Les relevés ont été effectués à l'aide d'un courantomètre électromagnétique Valeport, modèle 800 (figure 7). À chaque station, la direction et la vitesse des courants ont été mesurées en deux points sur la verticale, près du fond et près de la surface. Les mesures de surface ont été prises à une profondeur équivalente à 20 % de la profondeur totale, et les mesures de fond ont été prises à une profondeur équivalente à 80 % de la profondeur totale.

Lors des mesures, l'instrument a été positionné dans le sens du courant, et la direction de l'instrument a été mesurée à l'aide d'une boussole électronique. Les directions finales des mesures ont été corrigées pour tenir compte d'une déclinaison magnétique de 16° ouest.

Les données de courant (vitesse et direction) ont été enregistrées à chaque point de mesures pendant 30 secondes, avec une période d'échantillonnage de 5 secondes. Chaque vecteur vitesse a donc été calculé en faisant la moyenne vectorielle des composantes nord et est des 6 vecteurs enregistrés pendant les 30 secondes de mesures.

La figure 6 montre les vecteurs vitesse moyens obtenus lors de la campagne de relevés ainsi que les vecteurs vitesse calculés par MIKE 21 pour les conditions hydrodynamiques du 17 décembre 2002.

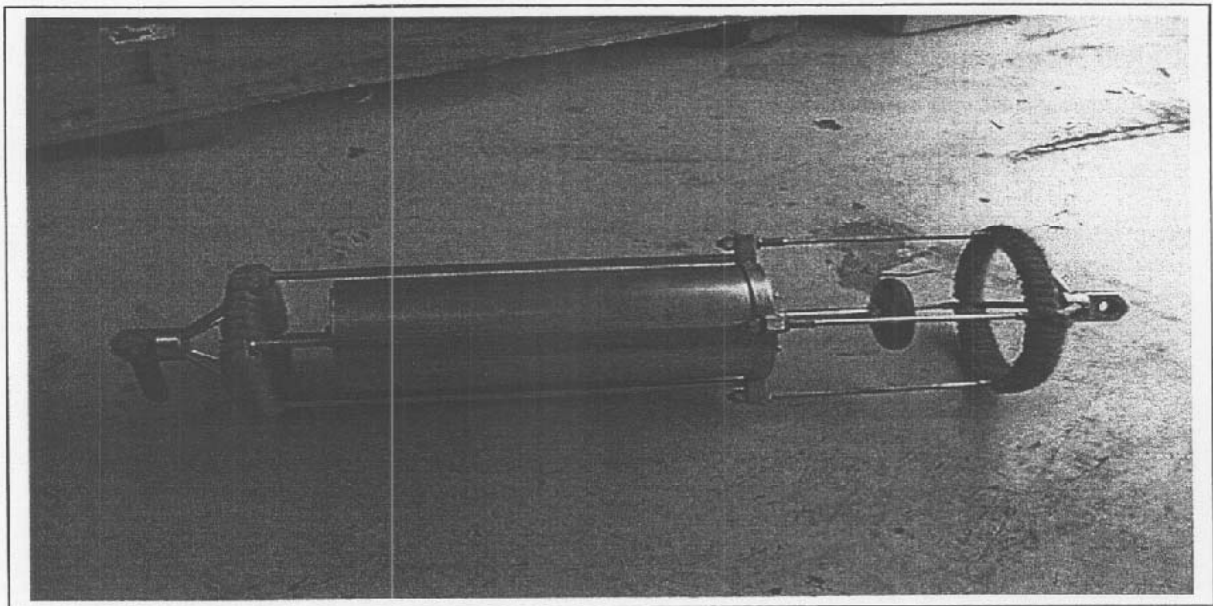


Figure 7 : Courantomètre utilisé lors de la campagne de relevés.

Dans certains cas, la comparaison des vecteurs vitesse s'avère difficile, certains vecteurs ayant une orientation complètement à l'opposé de l'écoulement naturel de la rivière Richelieu et du fleuve Saint-Laurent (figure 6, voir stations 9, 14, 15, 24, et 28).

Différents facteurs peuvent expliquer ces mesures contradictoires. Puisque chaque vitesse de la figure 6 représente en fait une moyenne de six valeurs échantillonnées à une fréquence de 5 secondes, il est possible que les vitesses enregistrées à chaque intervalle de 5 secondes aient été influencées par des facteurs tels le vent, des courants de retour ou des courants de fonds, donnant ainsi une vitesse moyenne peu représentative de la direction générale des écoulements.

Des cinq stations identifiées comme étant peu précises, quatre sont aux abords des quais (stations 9, 14, 15 et 24). Il est possible que les masses métalliques des palplanches des quais aient affecté le champ magnétique de l'instrument, contribuant aussi à fausser les mesures enregistrées.

En excluant les cinq stations énumérées précédemment, la comparaison des vecteurs vitesse indique que la direction générale des écoulements est bien représentée par le modèle numérique.

La figure 8 présente un graphique comparant les données de vitesses mesurées lors de la campagne de relevés (moyennées sur la profondeur) et celles calculées par MIKE 21. Comme pour les vecteurs de direction des courants, il y a une bonne concordance entre les vitesses prédites par la modélisation numérique et celles mesurées in situ, à l'exception des valeurs mesurées aux stations mentionnées précédemment.

L'ensemble des résultats présentés aux figures 6 et 8 offre un degré de validation satisfaisant du modèle numérique.

3. PANACHES DE DISPERSION

3.1 Le modèle numérique

Les résultats des simulations hydrodynamiques obtenus pour les conditions de débits moyens servent ici de base à la prédiction de la dispersion des panaches de sédiments formés par les travaux de dragage. À cette fin, le module *Particle Analysis* (PA) de MIKE 21 a été utilisé. Ce module permet le suivi depuis un point de source d'une panache de sédiments transportés en suspension ou par charriage.

3.2 Hypothèses de modélisation

3.2.1 Scénario de débit

Les conditions d'écoulement obtenues pour le scénario de débit moyen ont été utilisées pour étudier la dispersion des panaches de sédiments. En effet, les travaux de dragage sont prévus pour les mois de septembre et octobre, une période pendant laquelle des conditions de débits voisins de la moyenne sont généralement observées.

Pour vérifier cette hypothèse, une analyse des niveaux et des débits de la région pour la période 1975-1990 a été réalisée en ne considérant que les valeurs enregistrées en septembre et octobre. Les résultats de cette analyse montrent que les niveaux et débits ainsi calculés sont à toutes fins pratiques identiques à ceux du scénario de débits moyens utilisés pour la simulation hydrodynamique.

3.2.2 Simulation bidimensionnelle

Les champs de vitesses obtenus par le module hydrodynamique de MIKE 21 sont intégrés sur la verticale, ne permettant qu'une représentation bidimensionnelle des champs d'écoulement. Dans le module de dispersion de sédiments, cela signifie que les sédiments sont répartis uniformément sur la profondeur.

Pour le type de dragage prévu, c'est-à-dire avec une drague mécanique à benne preneuse, l'hypothèse d'une répartition uniforme des sédiments sur la verticale s'avère une bonne approximation de la réalité. Selon Environnement Canada (1994), les dragues mécaniques engendrent une mise en suspension au moment où le godet frappe le fond et par la perte de matériaux à travers les mâchoires du godet lorsque celui-ci remonte à la surface. De façon générale, les dragues mécaniques entraînent donc une remise en suspension des sédiments dans toute la colonne d'eau.

3.2.3 Coefficients de dispersion

Les sédiments remis en suspension par des opérations de dragage peuvent être comparés à une source ponctuelle de polluants. Typiquement, un rejet de polluants dans une rivière se mélange aux eaux réceptrices en trois principales étapes. Directement à sa sortie de l'émissaire, le rejet se comporte comme un jet turbulent, entraînant avec lui un volume important de fluide ambiant. À une distance de quelques mètres au-delà du point de rejet, les forces de gravité dues à la différence de densité entre l'effluent et les eaux du milieu récepteur prennent le pas sur les forces d'inertie initiales. Ces effets densimétriques engendrent un mélange important selon la direction verticale. Suite à cette étape, le panache ne possède plus d'énergie propre et la dispersion des sédiments en suspension est gouvernée par la diffusion turbulente et les forces d'advection du milieu récepteur.

Puisque les sédiments remis en suspension par des travaux de dragage n'ont pas les caractéristiques d'un jet turbulent, et que la formulation bidimensionnelle du modèle utilisé assume déjà une répartition uniforme des sédiments sur la verticale, les deux premières étapes associées au mélange d'un effluent en rivière peuvent être négligées dans la modélisation des panaches de dispersion des matériaux de dragage.

Dans le cas d'un mélange complet sur la verticale, deux coefficients de dispersion peuvent être utilisés pour caractériser le transport et la dispersion d'un panache de sédiments: le coefficient longitudinal et le coefficient transversal. Ces deux coefficients sont calculés à l'aide de la relation générale suivante :

$$D_d = kh u_* \quad (1)$$

où k est une constante, h est la profondeur d'eau et u_* est la vitesse de cisaillement, calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$u_* = \sqrt{ghS} \quad (2)$$

où g est l'accélération gravitationnelle et S représente la pente de la ligne d'énergie.

Les coefficients de dispersion peuvent varier considérablement d'un site à l'autre, puisqu'ils dépendent de nombreux facteurs, dont la vitesse d'écoulement, la profondeur d'eau et la morphologie des fonds. Pour plus de précision, des facteurs de dispersion longitudinaux et transversaux ont donc été calculés pour chaque cellule de la grille de calculs de MIKE 21,

permettant ainsi de tenir compte de la grande variabilité des profondeurs d'eau dans la zone modélisée.

Les constantes k ont été choisies égales à 0,6 pour le coefficient transversal et 5,93 pour le coefficient longitudinal, deux valeurs ayant démontré des résultats satisfaisants dans de nombreuses études de dispersion (Fisher et al., 1979).

3.2.4 Sédiments remis en suspension

Le volume total de sédiments à draguer a été estimé par Tecsalt à 56 424 m³ (en excluant la zone 1). En prenant une valeur de porosité égale à 50% et en supposant une remise en suspension de 5% du volume total dragué, un volume de 1 411 m³ de sédiments a été utilisé pour simuler la remise en suspension des sédiments lors des travaux de dragage. Échelonnée sur 40 jours, cette remise en suspension se traduit par une source constante de sédiments de 1,1 kg/s (tableau 2).

Tableau 2 : Débits de sédiments injectés au modèle numérique

Scénario	Remise en suspension de 5%	Remise en suspension de 20%
Volume total à draguer (m ³)	56 424	56 424
Taux de remise en suspension (%)	5	20
Porosité (%)	50	50
Volume de sédiments remis en suspension (m ³)	1 411	5 642
Débit de sédiments sur 40 jours (kg/s)	1,1	4,3

Le pourcentage de remise en suspension, qui varie selon le mode de dragage, est évidemment un paramètre essentiel dans la prévision des panaches de dispersion. Pour une benne preneuse fermée avec écran, Environnement Canada (1994) indique un taux de remise en suspension variant de 2% (grande drague) à 5% (petite drague), selon la capacité approximative de la drague (tableau 3)

Comme l'indique le tableau 3, les taux de remise en suspension peuvent varier de façon significative selon le type de bennes preneuses utilisé. Étant donné qu'à ce stade-ci de l'étude le type exact de drague mécanique qui sera utilisé lors de travaux de dragage n'est

pas encore connu, une simulation avec un taux de remise en suspension de 20% a aussi été effectuée (voir tableau 2). Cette simulation permet de représenter un cas de remise en suspension maximale et très pessimiste, et n'est présentée qu'à titre comparatif seulement, l'hypothèse d'une remise en suspension de 5 % ayant été identifiée comme plus réaliste par le représentant du Ministère de l'Environnement.

Tableau 3 : Proportion de sédiments remis en suspension selon le type de drague (%)

Type de drague	Capacité approximative de la drague		
	Grande	Moyenne	Petite
Benne preneuse (ouverte, sans écran)	12	17	25
Benne preneuse (fermée, sans écran)	11	14	20
Benne preneuse (fermée, avec écran)	2	3	5

Réf : Environnement Canada, 1994

La composition des sédiments remis en suspension a été établie à partir des données granulométriques fournies par LMV Fondatec par l'entremise de Tecslut. La moyenne de chaque classe de sédiments a été calculée afin d'obtenir un échantillon granulométrique moyen pour l'ensemble de la zone à draguer (voir tableau 4).

3.3 Résultats

Par souci de réalisme, le déplacement de la drague a été simulé pour la durée des 40 jours de travaux, en assumant un dragage continu de 24 heures par jour dans les zones délimitées par Tecslut.

D'après le Centre Saint-Laurent (1996), la concentration naturelle de matières en suspension dans le Lac Saint-Pierre s'élève entre 9 et 13 mg/l. L'analyse des concentrations de sédiments en suspension dans la rivière Richelieu prélevées entre 1970 et 1978 (Base de données HYDAT, Environnement Canada) donne une concentration moyenne similaire, d'approximativement 14,5 mg/l. Les concentrations moyennes de sédiments en suspension

inférieures à 10 mg/l ont donc été éliminées des figures de résultats, ces concentrations étant inférieures aux concentrations ambiantes du milieu.

La Figure 9 montre les concentrations maximales de sédiments remis en suspension pendant les travaux de dragage pour le scénario de remise en suspension de 5%. Le panache illustré représente en chaque point la valeur maximale de *toutes* les concentrations calculées par le modèle numérique, pour la durée totale des travaux de dragage. Ainsi, pour un intervalle de temps donné, le panache des concentrations instantanées serait différent de celui de la figure 9, selon la position de la drague pendant l'intervalle choisi.

De plus, dans le cas d'une drague qui se déplace, les concentrations maximales observées en un point donné varient avec le temps. À titre d'exemple, la figure 10 montre la variation de la concentration de sédiments remis en suspension en un point donné pour la durée totale des travaux de dragage.

Tableau 4 : Mélange de sédiments basé sur la moyenne des données granulométriques

Tamis	% passant	Fraction (%)
20 mm	100	0
14 mm	99,8	0,2
10 mm	99,5	0,3
5 mm	99,0	0,5
2, mm	98,5	0,5
1,25 mm	97,5	1,0
630 µm	95,6	1,9
315 µm	89,5	6,1
160 µm	76,4	13,1
80 µm	61,0	15,4
58 µm	54,0	7,0
42 µm	47,9	6,1
31 µm	41,6	6,3
20 µm	35,7	5,9
12 µm	31,1	4,6
8,4 µm	28,4	2,7
5,9 µm	26,1	2,3
4,2 µm	24,1	2,0
3,0 µm	22,6	1,5
2,4 µm	21,1	1,5
1,2 µm	19,3	1,8
< 1,2 µm		19,3

Au début et à la fin de la simulation, la drague est éloignée du point sélectionné et les concentrations de sédiments observées au point donné sont négligeables. La variation de la concentration est cyclique, selon que la drague s'approche ou s'éloigne du point considéré. La concentration maximale est atteinte lors du passage de la drague aux abords immédiats du point choisi, entre $t = 14,5$ jours et $t = 15$ jours.

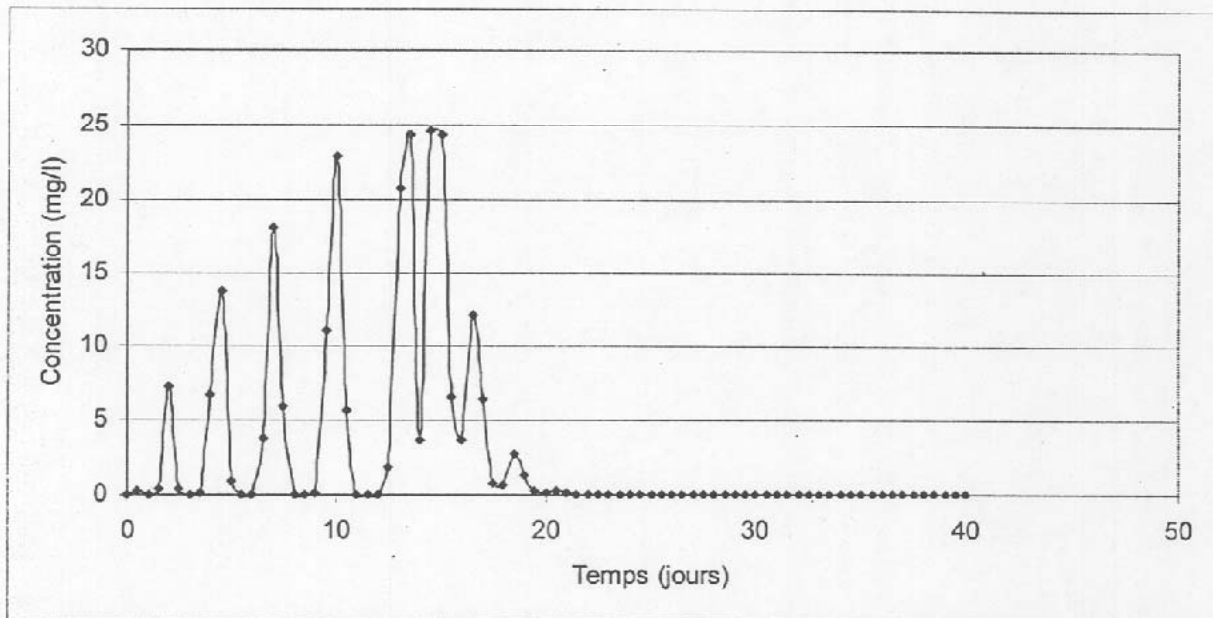


Figure 10: Variation de la concentration de sédiments remis en suspension en un point donné pour la durée des travaux de dragage.

La figure 9 représente donc en quelque sorte le panache de concentration extrême pouvant résulter des travaux de dragage. Pour une représentation en temps réel des panaches de dispersion, les résultats des simulations sont inclus sous forme d'animation sur le cédérom annexé à ce rapport.

D'après la figure 9, les concentrations maximales de sédiments en suspension sont principalement observées au site même du dragage, c'est-à-dire dans l'embouchure de la rivière Richelieu. Les concentrations les plus élevées, de l'ordre de 30 mg/l, résultent aux abords des quais 15 et 19. D'après Environnement Canada (1994), les concentrations de sédiments remis en suspension dans les environs d'une drague mécanique à benne preneuse varient communément entre 25 et 300 mg/l.

L'analyse de la direction générale des écoulements (section 2.5) permettait déjà de prévoir les résultats obtenus à la figure 9. Le panache de dispersion semble en effet suivre l'écoulement de la rivière Richelieu. Les sédiments remis en suspension dans l'embouchure de la rivière Richelieu ne rejoignent pas le chenal de navigation du fleuve Saint-Laurent, et le panache de dispersion est confiné à l'embouchure de la rivière Richelieu ainsi que dans une zone localisée le long de la rive droite du fleuve Saint-Laurent.

La figure 11 montre les zones de déposition qui résulteraient des travaux de dragage, pour un taux de remise en suspension de 5%. En chaque point de la zone modélisée, le modèle numérique calcule une accumulation de sédiments pour la durée totale des travaux. Le modèle ne tient toutefois pas compte du fait que les sédiments qui se redéposent dans la zone de dragage sont par la suite enlevés ou remis en suspension par la drague, celle-ci suivant un parcours d'amont en aval.

Malgré cette schématisation du modèle, la figure 11 permet tout de même d'identifier les zones de déposition résultant des travaux de dragage. Les accumulations inférieures à 1mm sont exclues des résultats, celles-ci étant largement inférieures à une déposition naturelle.

Dans la zone des travaux, les accumulations les plus importantes sont observées aux abords du quai no 14, une partie des sédiments déposés provenant probablement de la remise en suspension de sédiments dans l'embouchure de la rivière Richelieu. En dehors du secteur dragué, la zone de sédimentation s'étend approximativement sur 1 kilomètre en aval de la zone des travaux, avec une accumulation maximale ne dépassant pas 10 mm.

Les figures 12 et 13 montrent les résultats obtenus pour le scénario beaucoup plus pessimiste du taux de remise en suspension de 20%. Les concentrations maximales observées avec ce scénario sont évidemment plus élevées que lors du scénario de remise en suspension de 5%, atteignant 100 mg/l dans la zone des travaux (figure 12). L'étendue du panache est également plus grande, avec des concentrations entre 10 mg/l et 30 mg/l observées en rive sud du fleuve Saint-Laurent sur quelques kilomètres et, de manière très localisée, jusqu'à l'entrée du lac Saint-Pierre. Malgré la sévérité de l'hypothèse de remise en suspension de 20%, il apparaît donc que l'ampleur des panaches demeure relativement limitée.

En terme de déposition, l'étendue des zones de sédimentation ne diffère pas beaucoup des résultats obtenus pour le scénario de remise en suspension de 5%. Près de l'embouchure, les sédiments se déposent un peu plus en aval que lors du scénario précédent, et on remarque une zone additionnelle de déposition, dans une batture à quelques 6 kilomètres de la zone des travaux (figure 13).

Fait intéressant à noter également, les résultats pour les deux scénarios de remise en suspension indiquent que les travaux de dragage ne devraient pas causer de problèmes d'ensablement pour les deux marinas en aval du port de Sorel.

4. CONCLUSIONS

Dans le cadre du projet de revitalisation du port de Sorel, la Société des Parcs Industriels Sorel-Tracy a mandaté le Groupe-Conseil LaSalle afin de prédire la dispersion des panaches associés aux travaux de dragage prévus pour l'automne 2003.

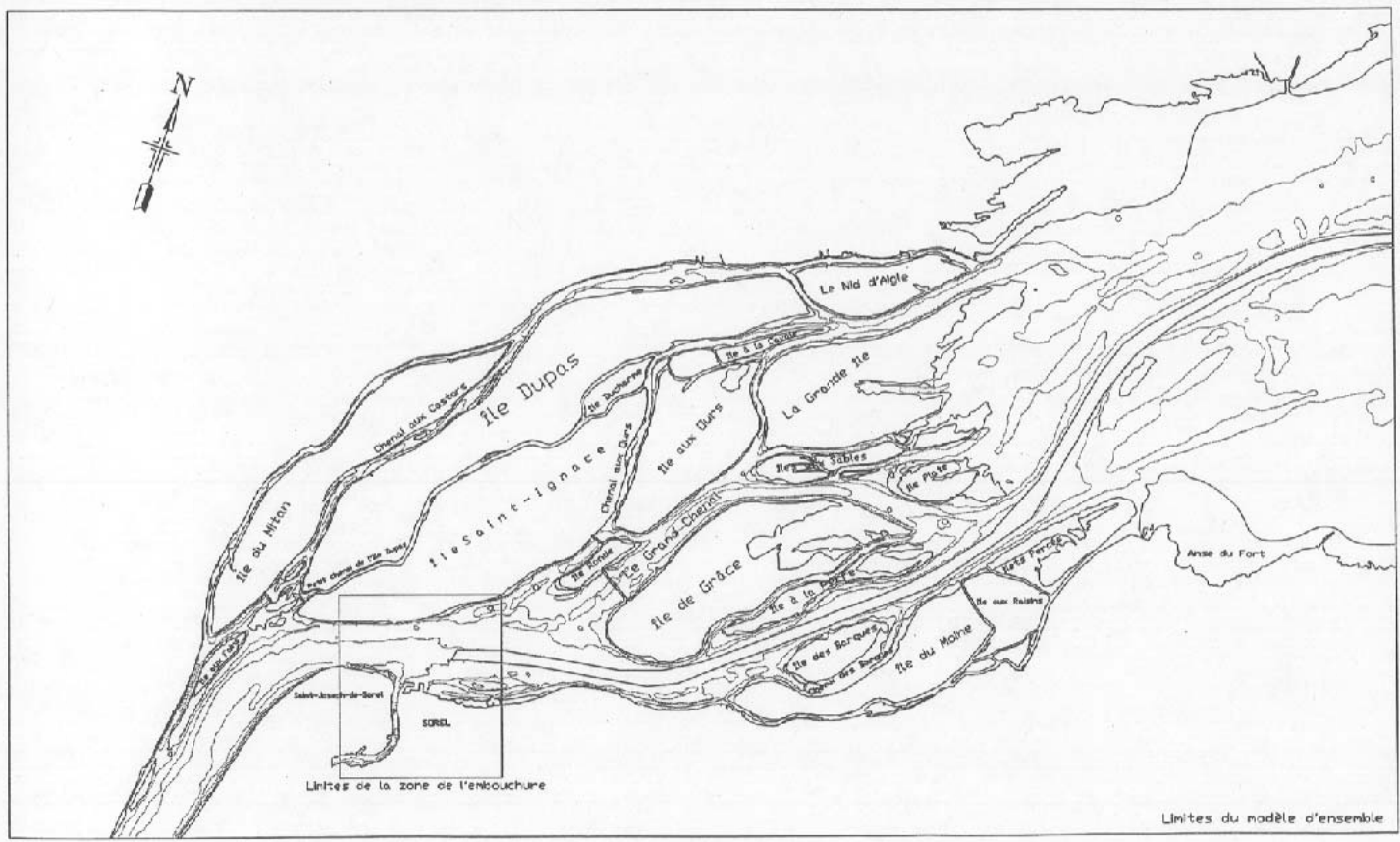
La modélisation numérique bidimensionnelle a été réalisée à l'aide du modèle MIKE 21. Le module HD a été utilisé pour la prédiction des conditions hydrodynamiques dans la zone à l'étude et le module PA a permis de simuler la dispersion et la sédimentation des matériaux remis en suspension par le dragage.

Les résultats obtenus indiquent que les impacts des travaux de dragage se limitent principalement au voisinage immédiat des travaux. Pour un scénario de remise en suspension de 5% du volume dragué, les concentrations maximales sur le site atteignent 30 mg/l et les épaisseurs de dépôt ne dépassent pas 40 mm. À un kilomètre en aval de l'embouchure de la rivière Richelieu, les concentrations de sédiments remis et suspension ainsi que les dépôts de sédiments résultant des travaux de dragage deviennent négligeables.

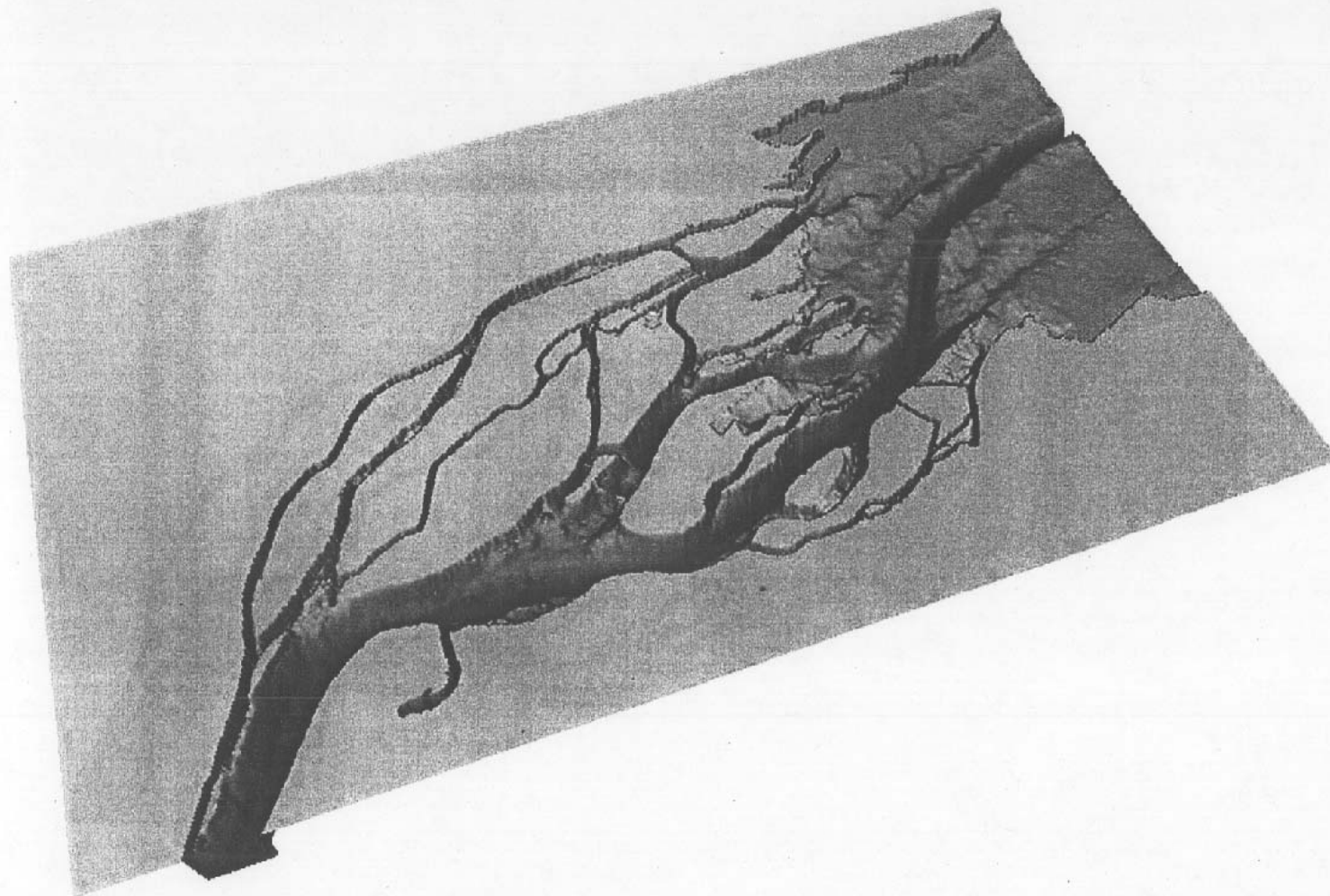
Les résultats de modélisation indiquent également que les travaux de dragage ne devraient pas avoir d'impacts tangibles sur les deux marinas situées à l'aval du site des travaux.

RÉFÉRENCES

- Centre Saint-Laurent (1996). *Rapport-synthèse sur l'état du Saint-Laurent. Volume 1 : L'écosystème du Saint-Laurent.* Environnement Canada – région du Québec, Conservation de l'environnement – et éditions MultiMondes, Montréal. Coll. « BILAN Saint-Laurent ».
- Environnement Canada (1994). *Répercussions environnementales du dragage et de la mise en dépôt des sédiments.* Document préparé par les Consultants Jacques Bérubé inc. pour la Section du développement technologique. Direction de la protection de l'environnement, régions du Québec et de l'Ontario. N° de catalogue EN 153-39/1994F. 109 pages.
- Fischer, H.B., List, J.E., Koh, R.C.Y., Imberger, J., and Brooks, N.H. (1979). *Mixing in inland and coastal waters.* Academic Press, New York, 483 pages.
- Hausser, R. and Galiana, G. (1969). *Study of the influence of bed river alterations in Sorel and Lake St-Peter reach.* Rapport LHL-507.
- Saucet, J-P., Holder, G.K., Boivin, R. (1989). *Évaluation des revoirs de Sorel.* Laboratoire d'Hydraulique LaSalle, rapport LHL-1018.



Le Groupe-Conseil LaSalle Inc.  8550, rue Saint-Fabrice LaSalle, Québec Canada H8B 1R2		
CLIENT: Tecsubit		
PROJET: Port de Sorel Impacts des travaux de dragage		
TITRE: Zone à l'étude		
DÉPOSÉ PAR: C.S.	REF. CLIENT: -	REF. LASALLE: 068-109 (140)
DÉTAILLÉ: -	DATE: MARS 2000	FEUILLE: 1



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
Port de Sorel – Impacts des travaux de dragage

DESCRIPTION :
Vue tridimensionnelle de la zone modélisée

CLIENT :

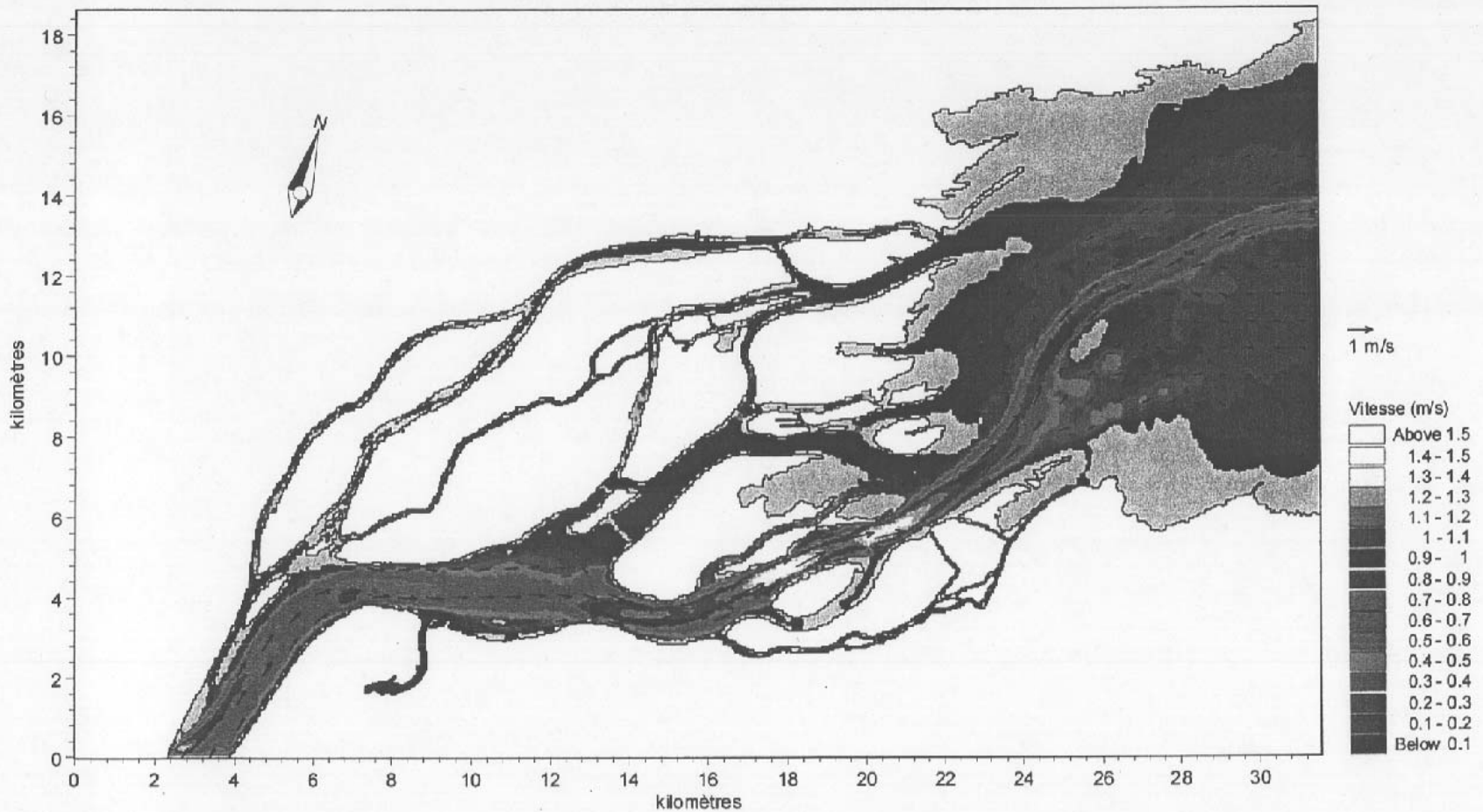


DATE :
Mars 2003

DESSINE PAR :
C.D.

REF LASALLE :
088-109 (760)

FIGURE :
2



PROJET :
Port de Sorel – Impacts des travaux de dragage

DESCRIPTION :
Champs des vitesses en étiage : $Q_{\text{Saint-Laurent}} = 6\,556 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{Richelieu}} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$

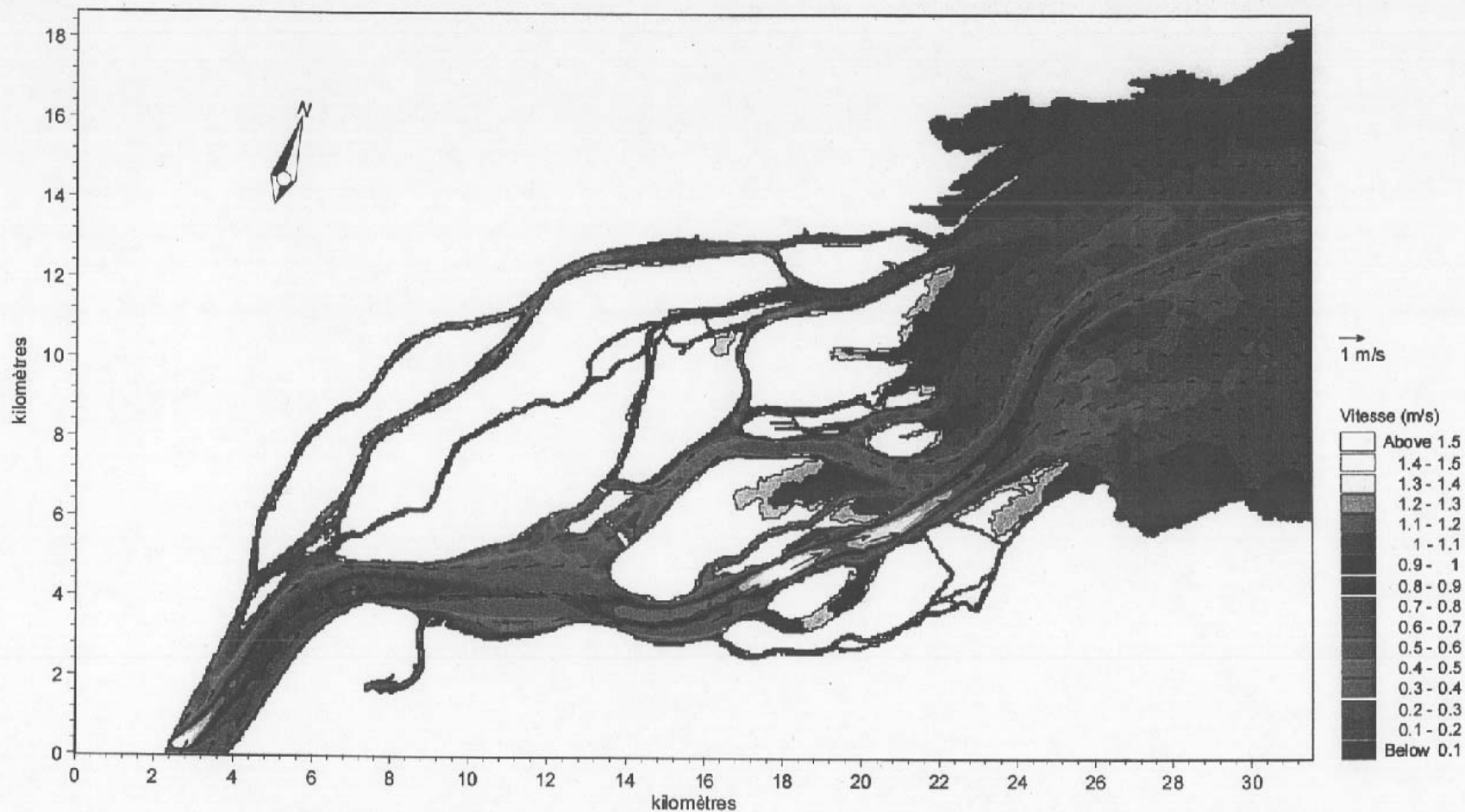


DATE :
Mars 2003

DESSINE PAR :
C.D.

REF LASALLE :
088-109 (760)

FIGURE :
3



LaSalle Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
Port de Sorel – Impacts des travaux de dragage

CLIENT :
TECSULT

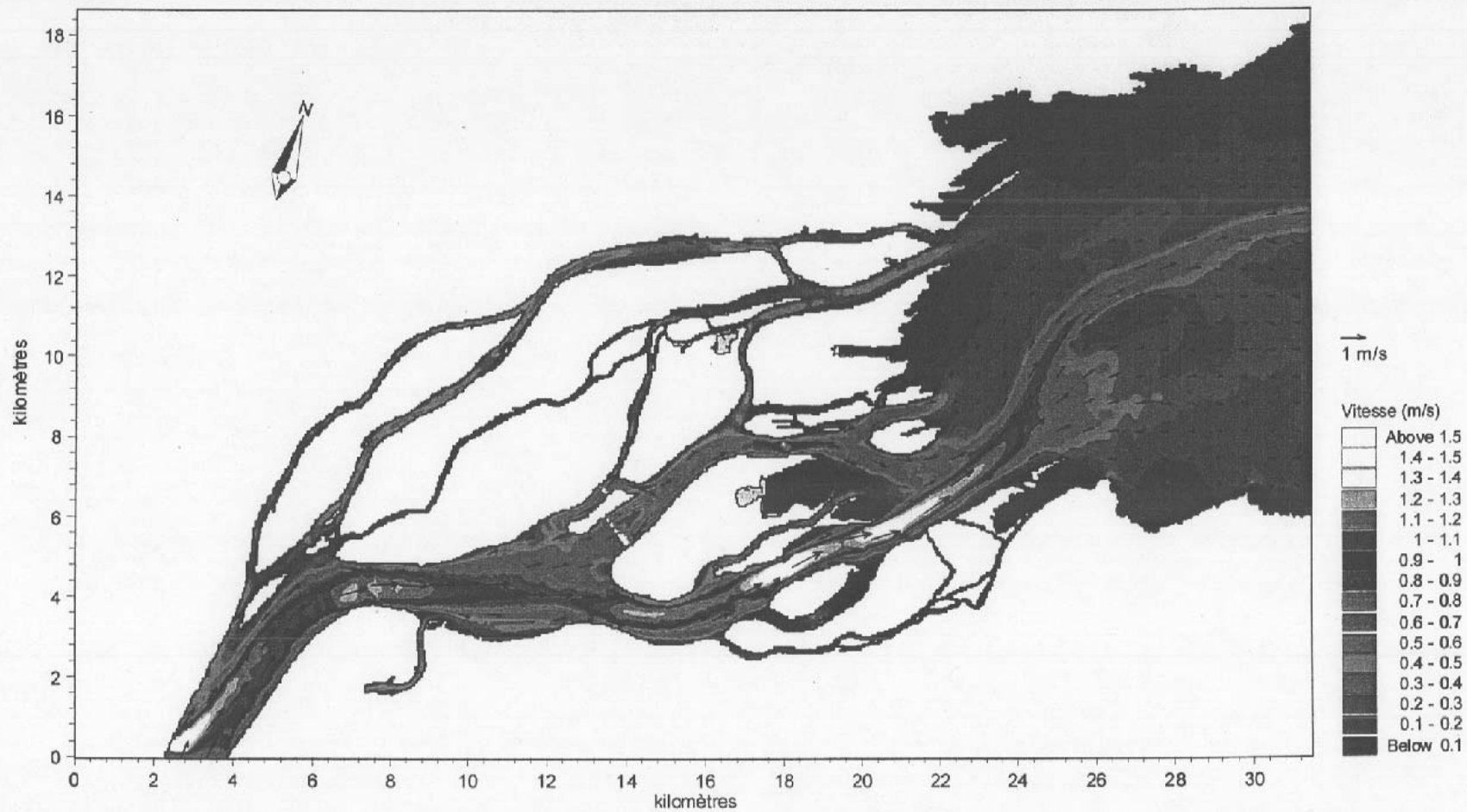
DESCRIPTION :
Champs des vitesses en conditions moyennes : $Q_{\text{Saint-Laurent}} = 10\,478 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{Richelieu}} = 283 \text{ m}^3/\text{s}$

DATE :
Mars 2003

DESSINE PAR :
C.D.

REF LASALLE :
088-109 (760)

FIGURE :
4



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
Port de Sorel – Impacts des travaux de dragage

DESCRIPTION :
Champs des vitesses en crues : $Q_{\text{Saint-Laurent}} = 13\,594 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{Richelleu}} = 566 \text{ m}^3/\text{s}$

CLIENT :

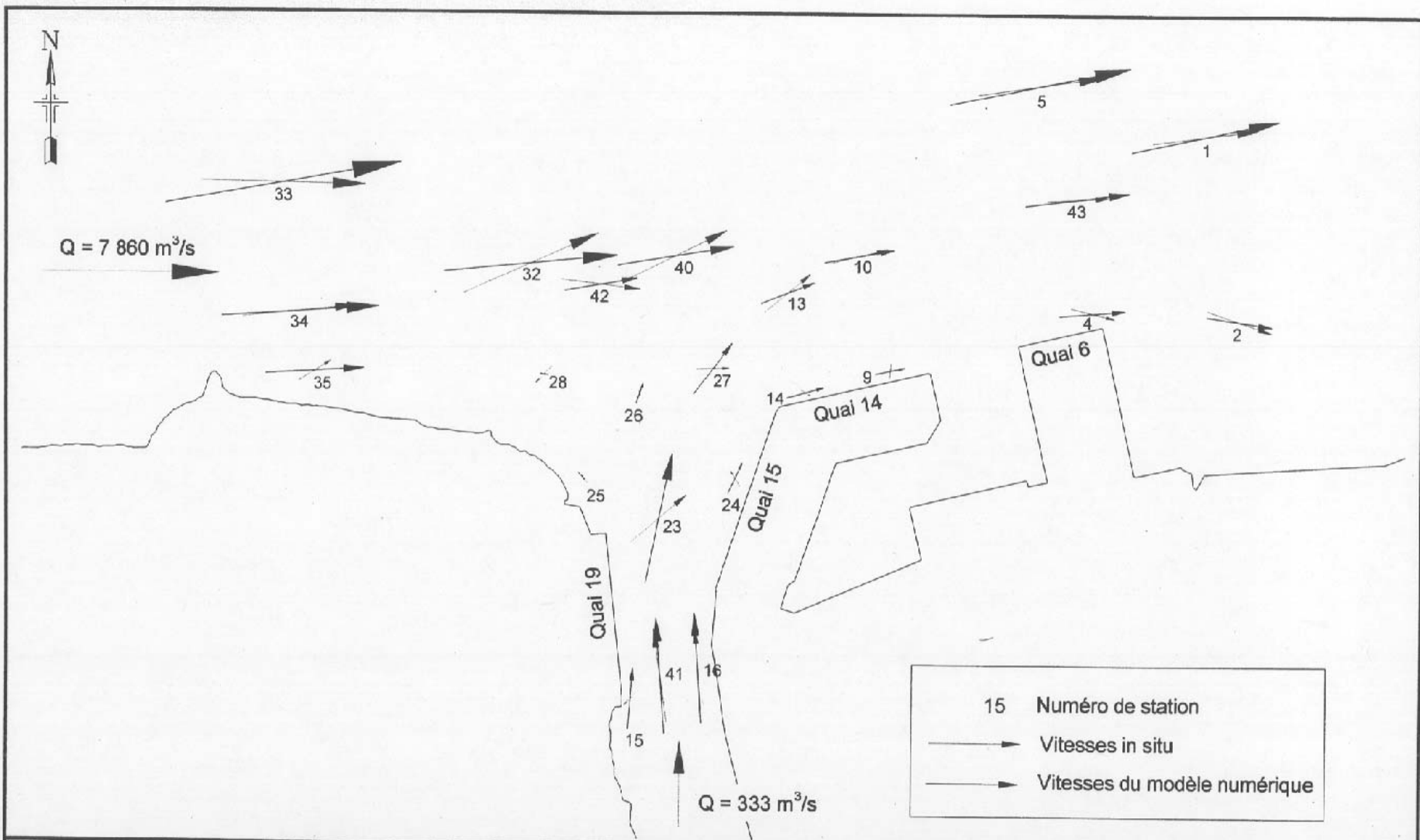


DATE :
Mars 2003

DESSINE PAR :
C.D.

REF LASALLE :
088-109 (760)

FIGURE :
5



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
Port de Sorel – Impacts des travaux de dragage

DESCRIPTION :
Campagne de relevés - Comparaison avec les résultats de modélisation

CLIENT :

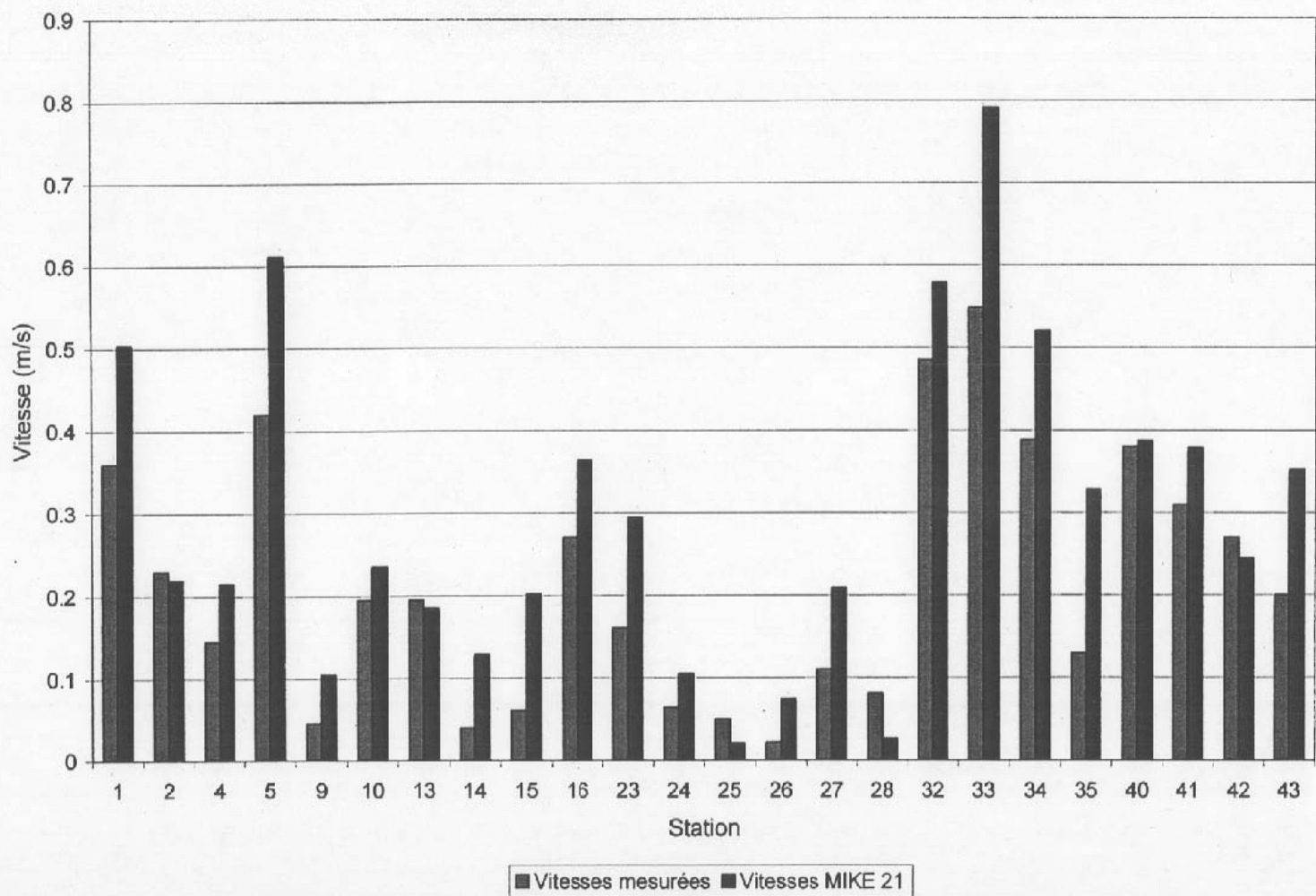


DATE :
Mars 2003

DESSINE PAR :
C.D.

REF LASALLE :
088-109 (760)

FIGURE :
6



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT :



PROJET :

Port de Sorel – Impacts des travaux de dragage

DESCRIPTION :

Comparaison des vitesses mesurées lors de la campagne de relevés et celles calculées par MIKE 21

DATE :

Mars 2003

DESSINE PAR :

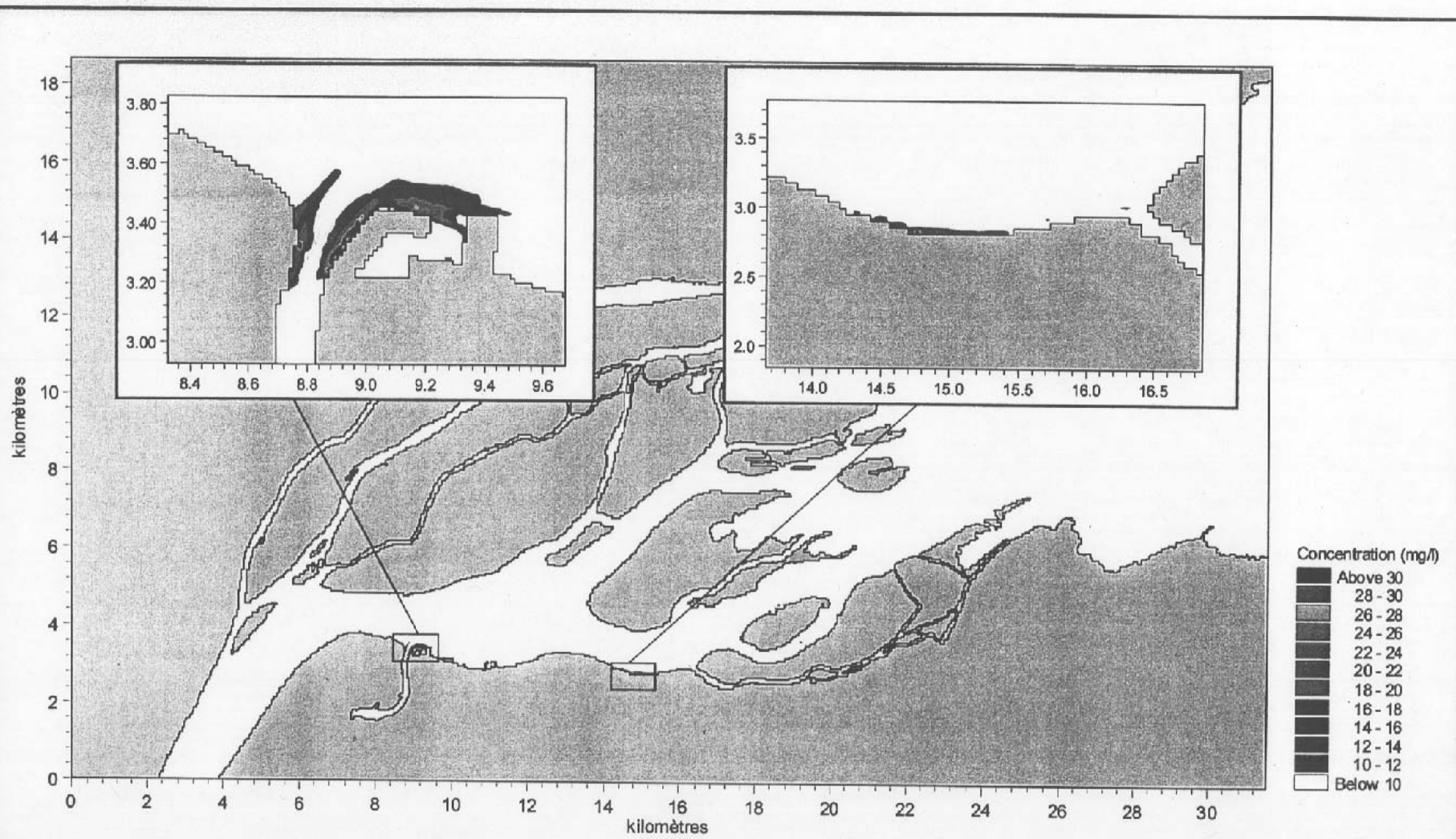
C.D.

REF LASALLE :

088-109 (760)

FIGURE :

8



LaSalle Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT :



PROJET :
Port de Sorel – Impacts des travaux de dragage

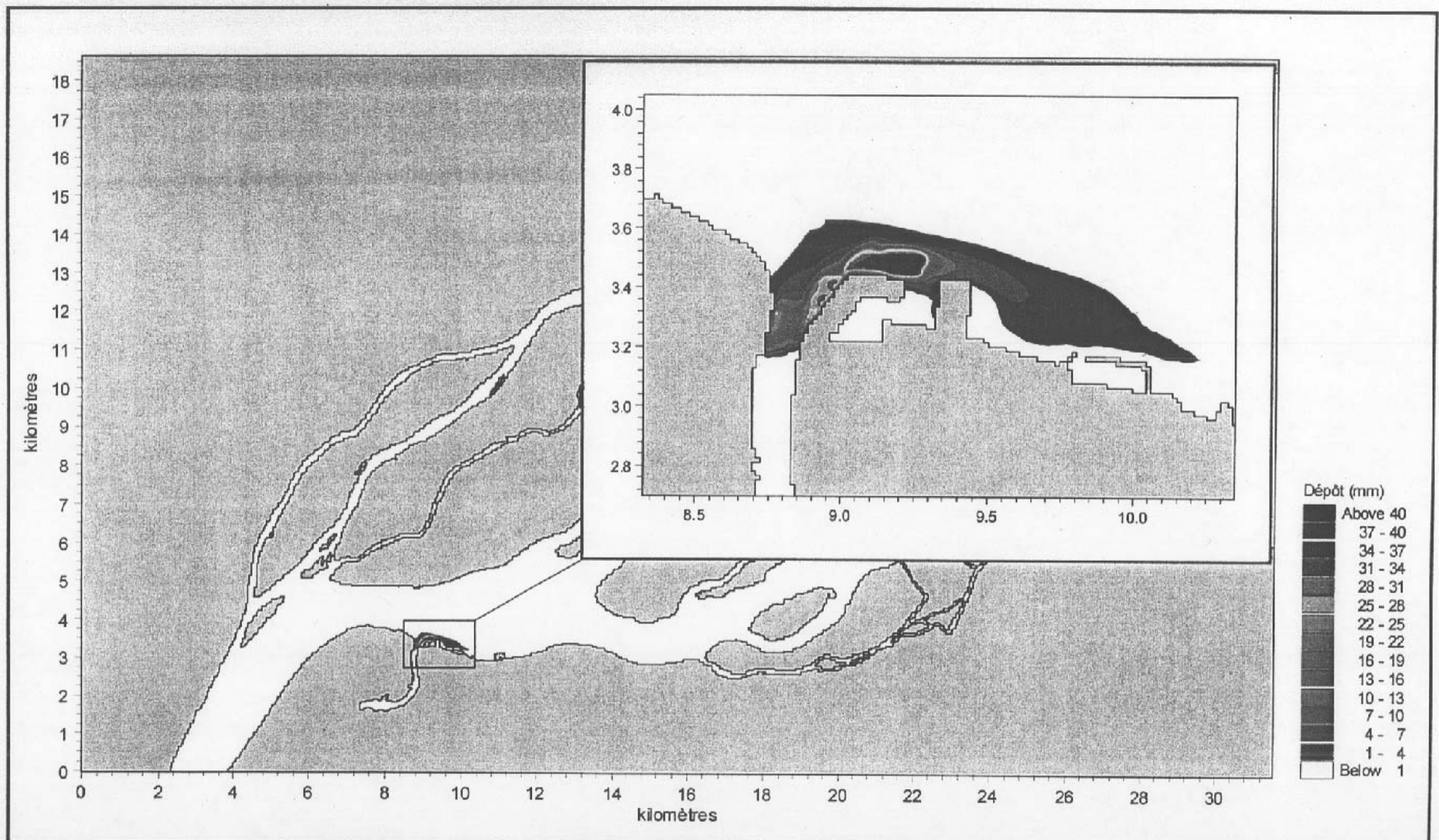
DESCRIPTION :
Concentration maximale des sédiments en suspension pour la durée des travaux de dragage – taux de remise en suspension de 5%

DATE :
Mars 2003

DESSINE PAR :
C.D.

REF LASALLE :
088-109 (760)

FIGURE :
9



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
Port de Sorel – Impacts des travaux de dragage

DESCRIPTION :
Déposition totale sur les fonds pour une remise en suspension initiale de 5%

CLIENT :

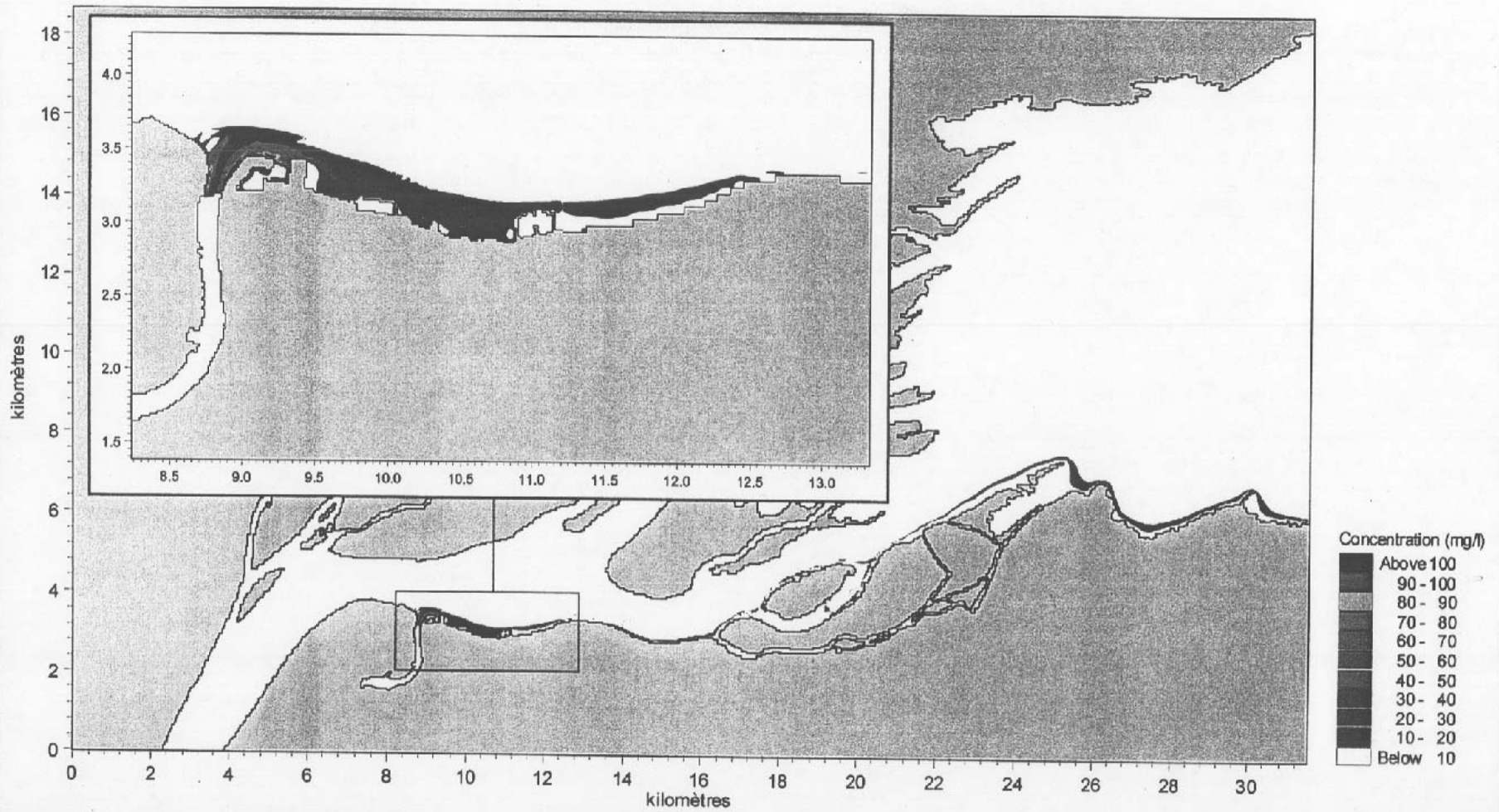


DATE :
Mars 2003

DESSINE PAR :
C.D.

REF LASALLE :
088-109 (760)

FIGURE :
11



Le Groupe-Consell LaSalle

PROJET :
Port de Sorel – Impacts des travaux de dragage

DESCRIPTION :
Concentration maximale des sédiments en suspension pour la durée des travaux de dragage – taux de remise en suspension de 20%

CLIENT :

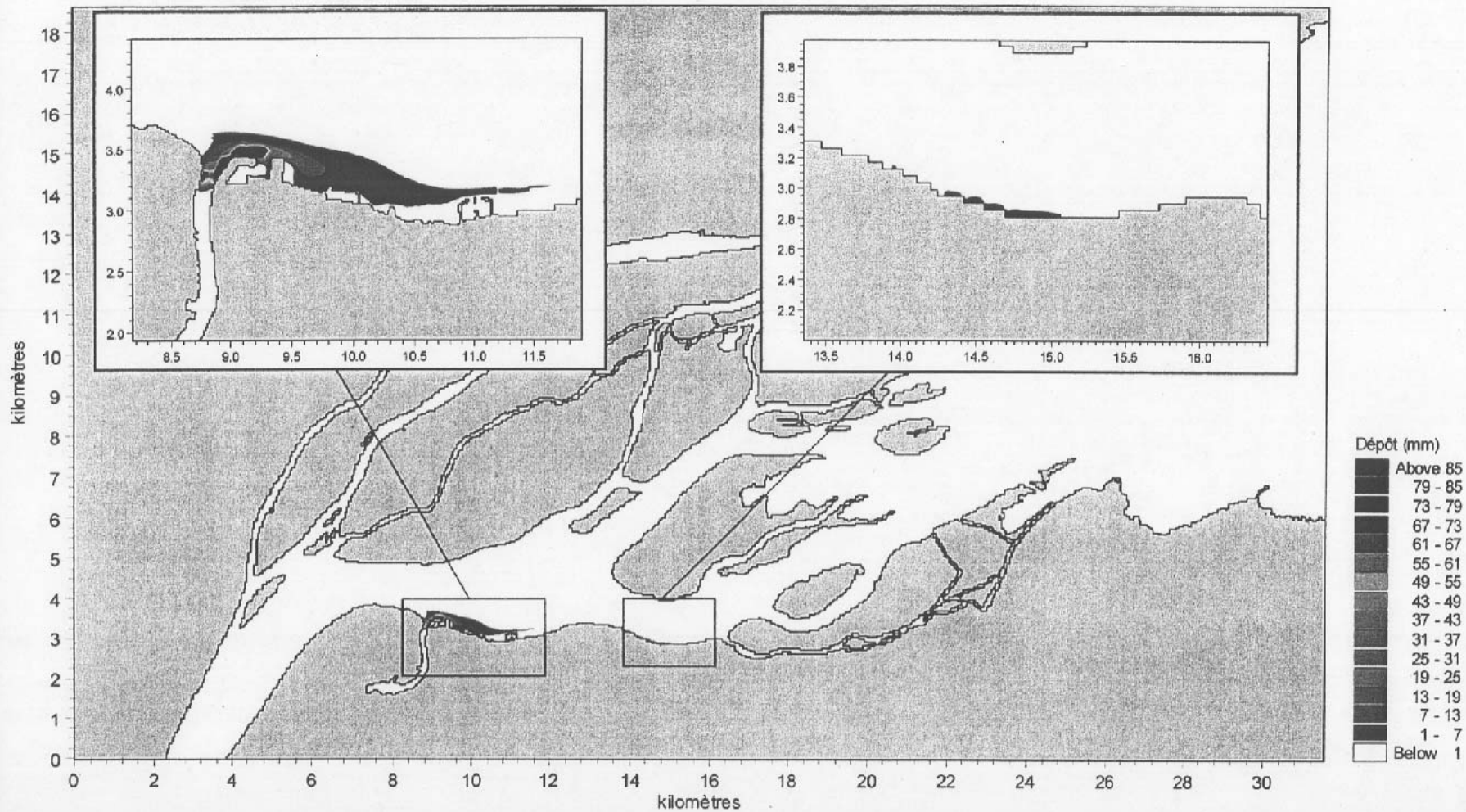


DATE :
Mars 2003

DESSINE PAR :
C.D.

REF LASALLE :
088-109 (760)

FIGURE :
12



LaSalle Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
Port de Sorel – Impacts des travaux de dragage

DESCRIPTION :
Déposition totale sur les fonds pour une remise en suspension initiale de 20%

CLIENT :
TECSULT

DATE :
Mars 2003

DESSINE PAR :
C.D.

REF LASALLE :
088-109 (760)

FIGURE :
13