

LOTTIER BENOIT
7318-14/8-3

Étude courantométrique dans les baies du secteur 103 de la zone portuaire de Montréal

Sommaire de l'étude

Présenté à :

Environnement Canada,
Métallurgie Noranda - Affinerie CCR,
Pétrolière Impériale,
Produits Shell Canada Limitée et
Société du Port de Montréal

Par :

M. Stéphane Lorrain
Service d'Études Sédimentologiques
Division de Environnement Illimité inc.

En collaboration avec :

G. Ingram Ocean Consultant inc.

24341

SC0702
L67e
Sommaire

Juin 1997

#8395

SC0702 h67e

Sommaire

CSL-6696

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES.....	i
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 APPROCHE DE CARACTÉRISATION.....	3
2.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	3
2.2 MÉTHODOLOGIE.....	3
3.0 RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	7
3.1 DESCRIPTION DU PATRON DE CIRCULATION	7
3.1.1 Baie Sud.....	7
3.1.2 Baie Nord.....	7
3.2 INFLUENCE DES CONDITIONS CLIMATIQUES ET HYDROLOGIQUES SUR LES COURANTS	10
3.2.1 Débit.....	10
3.2.2 Vent.....	10
3.3 BILAN DES ÉCHANGES	11
3.3.1 Baie Sud.....	11
3.3.2 Baie Nord.....	11
3.4 ASPECTS SÉDIMENTOLOGIQUES.....	11
4.0 CONCLUSION	15

CENTRE DE DOCUMENTATION CSL
 105, McGill, 2ième étage
 Montréal (Québec) H2Y 2E7
 Tél.: (514) 283-2762
 Fax: (514) 283-7166

25/11/98

1.0 INTRODUCTION

Le secteur 103 de la zone portuaire de Montréal a été soumis depuis plusieurs années aux rejets industriels et municipaux. La caractérisation physico-chimique des sédiments a mis en évidence une contamination par les métaux lourds et certains composés organiques. Une analyse des risques liés à la santé humaine et à l'environnement est en cours de réalisation afin de faciliter la prise de décision pour statuer sur les actions à entreprendre.

Dans ce contexte, il s'est avéré nécessaire d'entreprendre une étude courantométrique afin de faciliter l'interprétation des résultats de l'analyse de risque. En effet, il était important d'établir le patron de circulation et de décrire les facteurs physiques pouvant affecter la répartition et le transfert des contaminants dans les baies du secteur 103. Les résultats permettent de déterminer l'importance relative des échanges entre les différentes zones du secteur à l'étude.

Le présent document constitue une synthèse du rapport final suivant :

Lorrain, S. et Ingram R.G. 1997. *Étude courantométrique dans les baies du secteur 103 de la zone portuaire de Montréal*. Rapport technique présenté à Environnement Canada, Affinerie CCR - Métallurgie Noranda, Pétrolière Impériale, Produits Shell Canada Limitée et Société du Port de Montréal.

2.0 APPROCHE DE CARACTÉRISATION

2.1 Description de la zone d'étude

La zone d'étude inclut les baies Sud et Nord du secteur 103 et une portion du fleuve Saint-Laurent dans la zone portuaire de Montréal. La superficie de la zone d'étude est d'environ 85 000 m² (figure 1). Les deux baies montrent une physiographie différente. La baie Sud est la plus vaste avec une superficie de 33 000 m² alors que la superficie de la baie Nord est de 20 000 m². Cependant, la morphométrie des deux zones diffère beaucoup. Le profil bathymétrique de la baie Nord montre une pente douce vers le large avec une profondeur moyenne d'environ 10 m. Près des rives, la pente est beaucoup plus abrupte. Le profil bathymétrique de la baie Sud met en évidence un plateau peu profond ($z \approx 1,5$ m), dans la partie sud-ouest de la baie. Une pente très abrupte sépare la partie peu profonde de la partie profonde, qui montre un fond homogène d'une profondeur moyenne d'environ 12 m. Le volume total à l'intérieur des limites de la zone d'étude est de 242 352 m³ et 147 803 m³ pour les baies Sud et Nord respectivement.

Dans les baies, les échanges sont affectés par trois prises d'eau dont l'une est située au fond de la baie Sud et les deux autres sous le quai 103. Dans la baie Nord, on note la présence d'un émissaire situé sur la rive ouest et du collecteur Durocher qui rejette ses eaux en période de surverses. Les échanges entre les baies et le fleuve se font entre les quais 102 et 103 pour la baie Sud et entre les quais 103 et 105 pour la baie Nord. De par la configuration des quais, les échanges se font perpendiculairement au sens de l'écoulement. Les baies Sud et Nord communiquent par l'entremise de cinq ouvertures dans le quai 103.

2.2 Méthodologie

La campagne d'échantillonnage s'est échelonnée sur 7 jours, entre le 25 novembre et le 11 décembre 1996 selon une approche d'échantillonnage systématique stratifiée. Durant la campagne d'échantillonnage, 96 stations ont été visitées (figure 1) et de ce nombre, 88 ont été retenues pour le traitement des données. La localisation des stations a été effectuée à l'aide d'un système de positionnement différentiel par satellite (DGPS).

Les mesures de courant ont été prises à l'aide du courantomètre électromagnétique *Interocean S-4*. La vitesse et la direction du courant sont mesurées par l'appareil à partir des fluctuations du courant électrique engendré par le passage de l'eau dans le champ magnétique créé par l'appareil. Les données de courant ont été prises aux profondeurs suivantes : à la surface, à 5 m, à 10 m et à 1 m du fond. Compte tenu des turbulences observées lors de la visite préalable, la fréquence d'échantillonnage a été établie à 1 sec et la période à au moins 1 minute, de sorte que l'on obtienne pour chacune des stations une moyenne représentative des vitesses instantanées. Un profil des mesures de courant enregistrées à chaque mètre pendant au moins 2 minutes a été réalisé à 6 stations (trois

stations dans les baies Sud et Nord respectivement) pour décrire la distribution verticale des vitesses. Finalement, des mesures de courant ont été effectuées devant les cinq passages reliant les baies Sud et Nord sous le quai 103 pour quantifier les échanges entre les deux baies.

Une étude des trajectoires des courants a été tentée afin de tracer les lignes d'écoulement en suivant le déplacement de dériveurs. En général, les dériveurs se sont rapidement dispersés de telle sorte qu'il a été difficile de les suivre durant l'expérience. Par ailleurs, un câble a été tendu à partir du quai 103 et relié alternativement au quai 105 et 104. Son déplacement sans tension épousait approximativement la forme des cellules de circulation sous le jeu des courants.

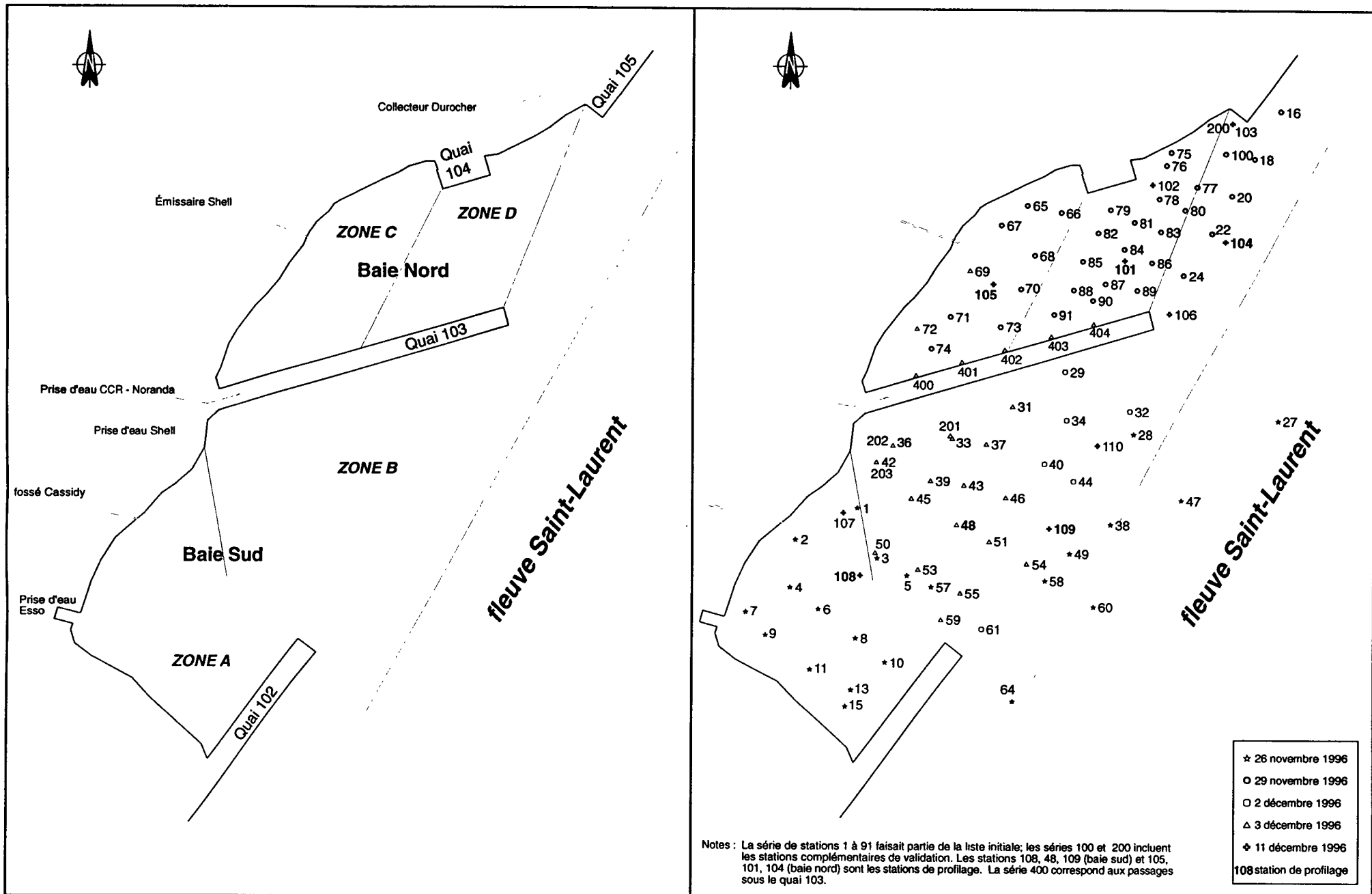


Figure 1 : Plan de la zone d'étude - secteur 103 de la zone portuaire de Montréal - et localisation des stations d'échantillonnage durant la campagne de caractérisation du patron de circulation : les symboles correspondent aux journées de terrain.

3.0 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Description du patron de circulation

Les données courantométriques moyennes (vitesse et direction) et les statistiques descriptives ont été compilées pour les différents niveaux de mesures afin de décrire le patron de circulation et les caractéristiques de l'écoulement. Dans le but de représenter la nature turbulente de l'écoulement, on a calculé un facteur d'accélération qui correspond au rapport entre la vitesse maximale et la vitesse moyenne.

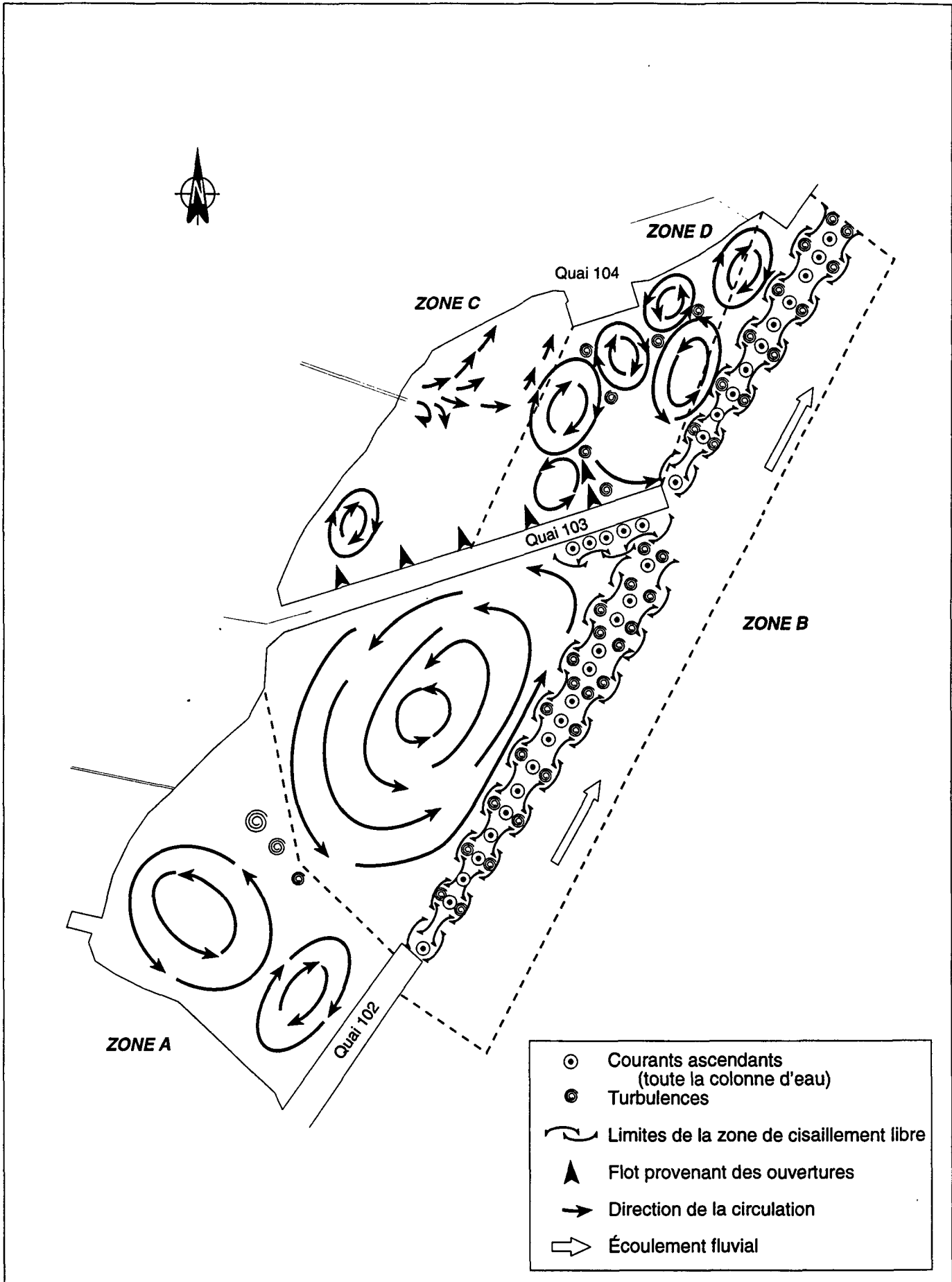
3.1.1 Baie Sud

Dans la baie Sud, le patron de circulation est relativement simple. La zone de cisaillement libre¹ générée à l'extrémité du quai 102 s'étend sur une distance d'environ 250 m jusqu'à l'extrémité du quai 103 (figure 2). À ce point de rencontre, on observe une zone permanente de remontée d'eau sur une largeur d'environ 5 m et une longueur d'environ 20 m. Dans la zone B, on observe un grand tourbillon de forme elliptique et de dimension comparable à l'échelle de la baie, avec un sens de rotation qui est conforme à la direction de l'écoulement principal. Dans la zone A, on observe un tourbillon de dimension intermédiaire et un autre plus petit qui circulent conformément l'un par rapport à l'autre. Par contre, la direction du tourbillon intermédiaire et du tourbillon principal n'est pas conforme, ce qui implique que des structures hydrodynamiques de moindres dimensions n'ont pas été résolues par l'échelle de l'approche d'échantillonnage. Celles-ci ont été symbolisées par des turbulences (figure 2). Les vitesses de courant dans les deux zones de circulation sont typiquement de 25 - 50 cm/sec pour les trois niveaux de profondeur caractérisés. En général, les vitesses instantanées dans la baie Sud sont jusqu'à 3 fois plus rapides que la vitesse moyenne à chacune des stations (figure 3). Finalement, les profils de mesures de courant ont montré que la structure verticale de l'écoulement est homogène.

3.1.2 Baie Nord

Dans la baie Nord, le patron de circulation est beaucoup plus complexe (figure 2). Tout d'abord, la zone de cisaillement libre générée à l'extrémité du quai 103 s'étend vers l'aval sur plus de 200 m, bien au-delà de la limite de la zone d'étude. Dans la zone D, on observe une demi-douzaine de tourbillons, d'environ 50 m de diamètre, dont certains circulent à contresens de leurs voisins, ce qui implique que des structures hydrodynamiques plus petites n'ont pas été résolues par l'approche d'échantillonnage. Le long du quai 103, près de son extrémité, on observe un courant de retour dirigé vers le large (figure 3). Au fond de la baie,

¹ Rupture de la friction du flot sur une surface solide (fond, parois) qui se termine de manière abrupte (rupture de pente, fin d'un quai) en provoquant une séparation de l'écoulement et la génération de turbulences dans l'écoulement principal.



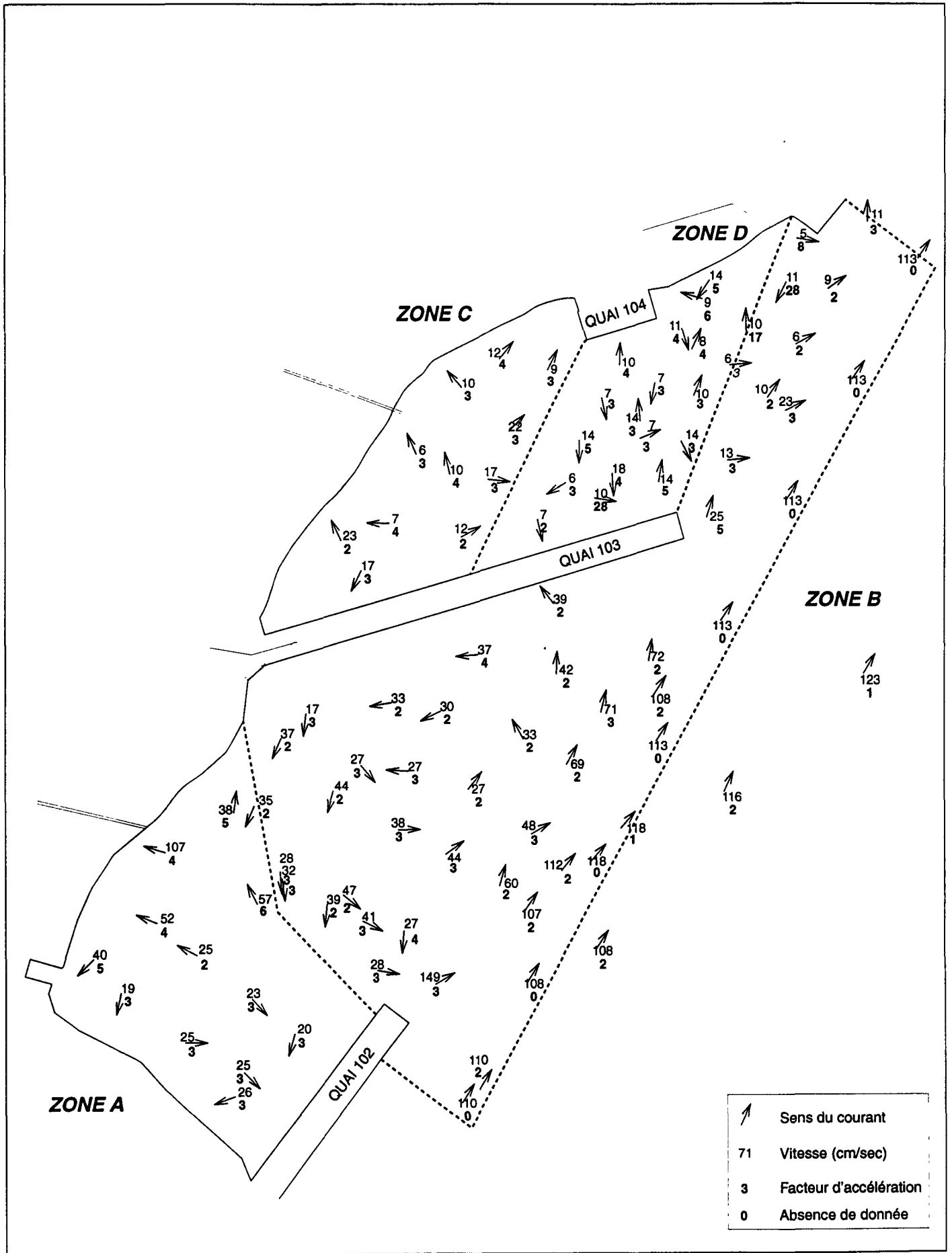


Figure 3 : Répartition spatiale du facteur d'accélération et de la vitesse moyenne du courant à la surface

l'émissaire provoque une circulation locale en forme de panache (jet) alors que dans le coin formé par le quai 103 et la rive, on observe un tourbillon de petite dimension. La nature complexe et variable de l'écoulement dans l'ensemble de la baie, se traduit par une diminution du nombre de structures hydrodynamiques en fonction de la profondeur. Les échanges de la baie Sud vers la baie Nord par les ouvertures du quai 103 entraînent une circulation de type jet sur une distance de 10 à 15 m du quai. Par conséquent, le patron de circulation locale sera modifié lorsque des navires sont à quai. Les surverses épisodiques du collecteur Durocher modifient possiblement le patron de circulation locale et les apports seront repris par le courant et distribués à l'intérieur de la zone D et même jusque dans la zone C. Dans l'ensemble, les vitesses de courant sont typiquement de 10 - 20 cm/sec. Les vitesses instantanées sont jusqu'à 5 fois plus rapides que la vitesse moyenne (figure 3). Finalement, les profils de mesures de courant ont montré que la structure verticale de l'écoulement est homogène comme dans le cas de la baie Sud.

3.2 Influence des conditions climatiques et hydrologiques sur les courants

3.2.1 Débit

L'augmentation du débit en période de crue se traduira par un changement du niveau d'eau et des vitesses de l'écoulement principal. Par conséquent, l'effet des changements du débit sur le patron de circulation se fera surtout sentir dans la zone peu profonde située au fond de la baie Sud, en particulier en période d'étiage. Le mouvement tourbillonnaire observé dans cette zone pourra être instable et facilement affecté par les conditions de vent durant la période de basses eaux. En période de crue, l'augmentation du débit implique un plus grand transfert d'énergie à la circulation dans les baies qui se traduira par un courant de plus grande vitesse et un échange plus rapide.

3.2.2 Vent

En général, l'effet du vent sur le patron de circulation est faible. Selon Kullenberg (1976), les vitesses de courant induit par un vent comparable à ce qui a été observé durant la campagne de terrain, seraient de l'ordre de 3 à 10 cm/sec. Les vents du secteur nord-est auront la plus grande influence sur le patron de circulation dans les deux baies compte tenu de leur orientation et de la longueur du « fetch¹ ». Les vents provenant des autres secteurs auront un effet limité compte tenu de l'orientation des baies et de la protection offerte par les hautes rives. Dans la baie Sud, les courants générés par l'écoulement fluvial sont généralement élevés de telle sorte que l'impact du vent sur les courants sera faible. Dans la baie Nord, on pourrait s'attendre à ce que le vent ait davantage d'influence sur le patron de circulation compte tenu des plus faibles vitesses, mais la variabilité intrinsèque du patron de circulation provoque des changements qui peuvent annuler ou surpasser ceux du vent.

¹ Distance sans obstacle sur laquelle souffle le vent et qui contribue à générer des vagues dont la hauteur est proportionnelle au « fetch »

3.3 Bilan des échanges

3.3.1 Baie Sud

Dans la baie sud, les échanges (entrées et sorties) se font principalement avec le fleuve. Les sorties incluent aussi le transfert à la baie Nord par les 5 ouvertures du quai 103, qui représente un flux total de 7 m³/sec, et les prises d'eau situées au fond de la baie et au début du quai 103. Le débit de chaque prise d'eau ne dépasse pas 0,2 m³/sec. Si l'on considère le flux d'entrée entre la baie et le fleuve, soit 264 m³/sec, le temps de renouvellement de la masse d'eau de la baie Sud serait de 15 minutes. Dans la zone A, en supposant que le volume pompé à la prise d'eau est uniquement compensé par les échanges avec la zone B, on obtient un temps de renouvellement de 3,5 jours. Cependant, la présence de tourbillons et d'une zone de cisaillement témoignent d'un temps de renouvellement qui pourrait être de l'ordre d'une dizaine d'heures.

3.3.2 Baie Nord

Dans la baie Nord, les principaux échanges se font aussi avec le fleuve. Les apports fluviaux sont complétés par ceux de l'émissaire situé dans la zone C (0,1 m³/sec) et par les apports à travers les ouvertures du quai 103 (7 m³/sec). Les pertes incluent les deux prises d'eau localisées dans le quai 103 (0,22 m³/sec). Selon que l'on détermine le temps de renouvellement en fonction de l'émissaire de la prise d'eau ou encore des ouvertures du quai 103, celui-ci varie de quelques heures à quelques jours. Par contre, si l'on considère le flux d'entrée à l'embouchure de la baie, soit 167 m³/sec, le temps de renouvellement pour l'ensemble de la baie n'est plus que de l'ordre de quelques minutes. Ce résultat est probablement valable pour la zone D, comme on a pu le constater avec les dériveurs mais n'est pas applicable à la zone C car le déplacement y est plus lent. On estime donc que le temps de renouvellement pour l'ensemble de la baie Nord est d'environ 10 heures sans navire à quai. Par contre, l'obstruction des ouvertures du quai 103 provoquera une augmentation du temps de renouvellement dans la zone C, qui sera supérieur à 10 heures. Le temps de résidence dans la zone D sera inférieur à 10 heures.

3.4 Aspects sédimentologiques

Dans le cadre de l'analyse de risque, l'évaluation du transfert des contaminants provenant de la remise en suspension des sédiments demeure un objectif important. Les données courantométriques obtenues nous permettent d'évaluer le potentiel d'érosion du matériel sédimentaire. Deux approches ont été utilisées dans le cadre de la présente étude.

La première approche consiste à comparer la vitesse mesurée à 1 m du fond avec la vitesse critique d'entraînement des sédiments, laquelle est fonction de la texture du matériel. Dans la baie Nord, pour des vitesses moyennes variant de 4 à 23 cm/sec selon la station, l'écoulement n'a pas la capacité d'éroder le matériel sédimentaire. Dans la baie Sud par

contre, la vitesse moyenne à la plupart des stations serait suffisante pour provoquer l'érosion et le transport d'un sédiment de même taille (figure 4).

La seconde approche consiste à représenter l'énergie du flot par le stress de cisaillement (τ_0), lequel correspond à la force réelle qui agit sur le matériel sédimentaire. Le stress de cisaillement est ensuite utilisé pour calculer le critère de Shields (θ) qui, exprimé en fonction de la granulométrie moyenne, permet de caractériser l'état du mouvement sédimentaire. En fonction d'une granulométrie moyenne de 0,03 mm et en considérant la vitesse moyenne à chacune des stations, le critère ne dépasse pas le seuil critique d'érosion et de transport des sédiments dans la baie Nord (figure 5). Par contre, le critère dépasse le seuil critique dans la baie Sud, suggérant un potentiel d'érosion et de transport.

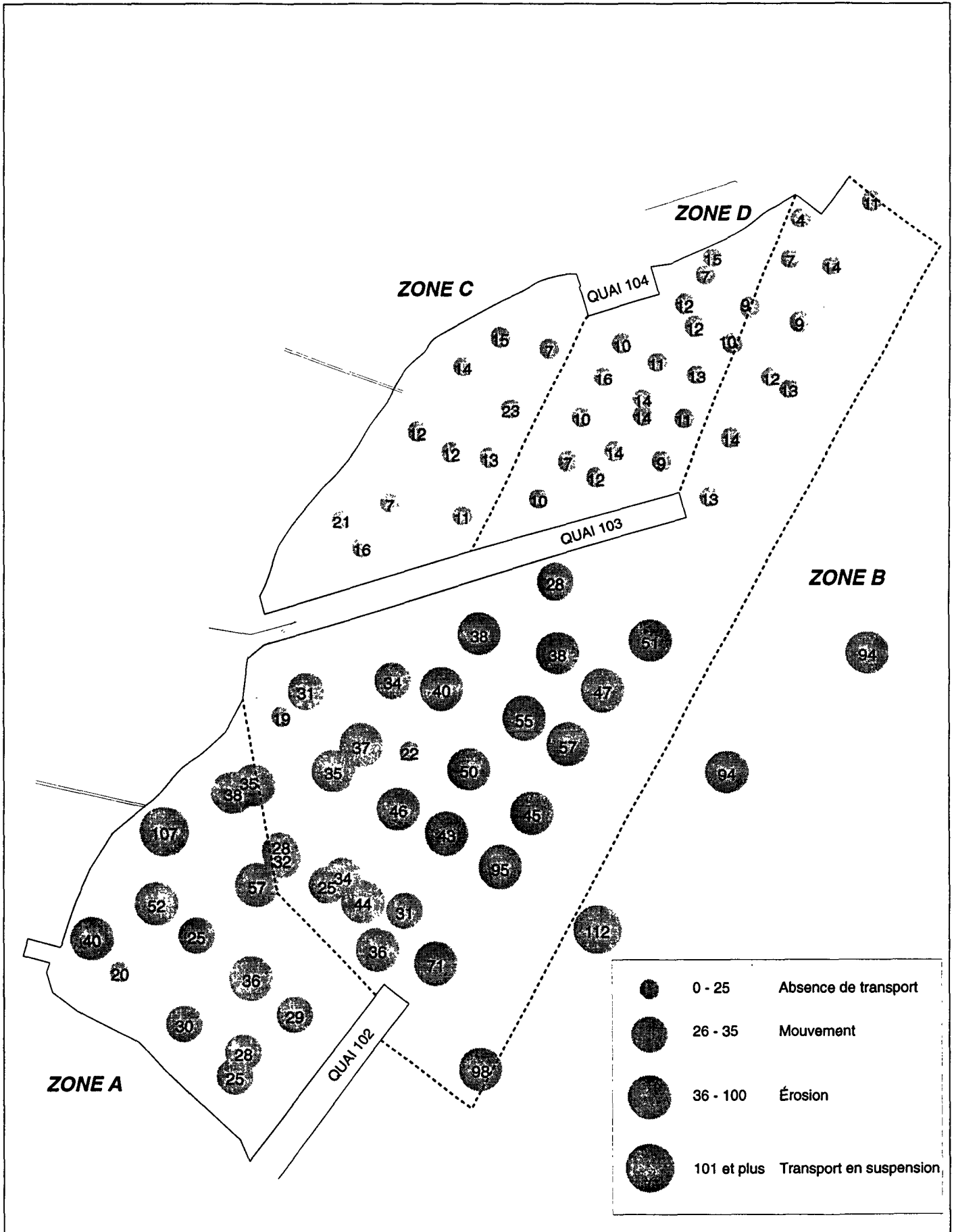


Figure 4 : Classification de l'état du mouvement sédimentaire en fonction des vitesses moyennes près du fond.

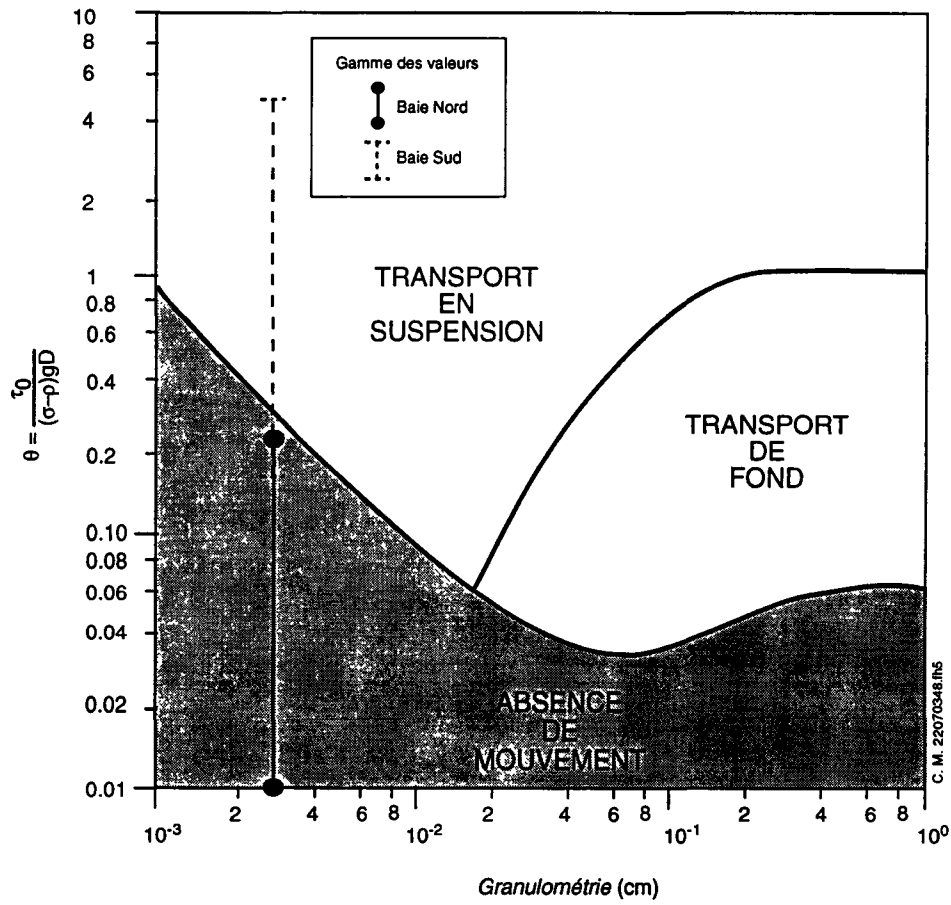


Figure 5 : Diagramme montrant l'état du mouvement sédimentaire en fonction du critère de Shields et de la granulométrie moyenne. Le critère est calculé à partir du stress de cisaillement (τ_0) obtenu de la vitesse de courant mesurée à 1 m du fond.

4.0 CONCLUSION

Le patron de circulation des baies Sud et Nord, est contrôlé par la morphologie, la bathymétrie et l'orientation des baies par rapport à l'écoulement principal. La circulation dans la baie Sud est dominée par de grandes structures hydrodynamiques alors que dans la baie Nord, la patron de circulation est plus complexe et variable avec plusieurs structures hydrodynamiques de plus petites dimensions qui n'ont pu être résolues.

En ce qui concerne les échanges entre les baies et le fleuve, ceux-ci sont en partie inhibés par la présence de zones de cisaillement libre à l'entrée des baies. Par conséquent, la nature chaotique des échanges rend difficile leur quantification. En considérant différents scénarios, le temps de renouvellement pour la baie Nord et la baie Sud est de l'ordre d'une dizaine d'heures. Toutefois, le temps de renouvellement pour la baie Nord varie avec la présence de navires le long du quai 103 et peut atteindre une semaine.

Finalement, l'ensemble des mesures de courant a permis d'évaluer le potentiel d'érosion et de remise en suspension des sédiments selon deux approches. Les exemples présentés suggèrent un potentiel d'érosion et de transport du matériel sédimentaire dans la baie Sud seulement. Cependant, le contexte sédimentologique des deux baies ne peut être clairement établi que par un examen approfondi des paramètres physiques du matériel sédimentaire.

