

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

Rapport final

Présenté à :
Environnement Canada,
Métallurgie Noranda - Affinerie CCR,
Pétrolière Impériale,
Produits Shell Canada Ltée et
Société du Port de Montréal

Par :
Service d'Études Sédimentologiques
Division de Environnement Illimité inc.

En collaboration avec :
G. Ingram Ocean Consultant inc.

243/40

SC0702
L67e
Rapport
final

Mai 1997

#8394 CSL-6695 546e

SC0702 L61e

Rapport final

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Délégué scientifique :

M. Carroll Bélanger (assisté de M. Alain Latreille)
Intervention SLV 2000
Direction de la protection de l'environnement
Environnement Canada

Chargé de projet :

M. Stéphane Lorrain
Service d'Études Sédimentologiques

Collaborateur principal :

M. Grant Ingram
G. Ingram Ocean Consultant inc.

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

24/11/98

Technicien :

M. Paul Peltola
Université McGill

Cartographie :

M. Bruno Gendron
Carto-Média

Infographie :

M. Daniel Cloutier
Mme Huguette Léonard
Carto-Média

Traitement de texte :

Mme Lise Blais
Mme Manon Morin
En Toutes Lettres

TABLE DES MATIÈRES

ÉQUIPE DE TRAVAIL.....	i
1 INTRODUCTION.....	1
2 OBJECTIFS.....	3
3 DESCRIPTION DU SECTEUR À L'ÉTUDE.....	5
3.1 Physiographie.....	5
3.2 Échanges d'eau.....	5
3.3 Caractéristiques des vents.....	7
4 MÉTHODOLOGIE.....	9
4.1 Échantillonnage.....	9
4.1.1 Activités de terrain.....	9
4.1.2 Plan d'échantillonnage.....	9
4.1.3 Positionnement.....	14
4.1.4 Courantométrie.....	14
4.1.5 Étude de dériveurs.....	17
4.2 Traitement des données.....	17
4.2.1 Calcul du courant moyen et des statistiques descriptives.....	17
4.2.2 Influence des facteurs physiques sur les courants.....	18
4.2.3 Calcul des échanges.....	18
5 RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	21
5.1 Généralités.....	21
5.2 Description du patron de circulation.....	21
5.2.1 Zone de cisaillement libre.....	21
5.2.2 Baie Sud.....	25
5.2.3 Baie Nord.....	25
5.2.4 Comparaison de l'écoulement entre les baies Sud et Nord.....	26
5.3 Influence des conditions climatiques et hydrologiques sur les courants.....	32
5.3.1 Effets du débit sur le patron de circulation.....	32
5.3.2 Effets du vent sur le patron de circulation.....	39
5.3.2.1 Baie Sud.....	39
5.3.2.2 Baie Nord.....	40

5.4	Bilan des échanges.....	40
5.4.1	Généralités.....	40
5.4.2	Baie Sud.....	41
5.4.3	Baie Nord.....	41
5.5	Aspects sédimentologiques.....	42
5.5.1	Vitesse critique d'entraînement.....	42
5.5.2	Stress de cisaillement.....	44
6	CONCLUSION.....	51
7	RECOMMANDATIONS.....	53
	BIBLIOGRAPHIE.....	55

Liste des tableaux

TABLEAU 1 :	Fréquence des vents dans le secteur du Port de Montréal (station météorologique de l'île Charron), 1992 à 1996	7
TABLEAU 2 :	Conditions de vents durant la période d'échantillonnage	11
TABLEAU 3 :	Correspondance entre les coordonnées géographiques mesurées à l'aide du DGPS et certains points cotés (coordonnées NAD 27 MTM)	14
TABLEAU 4 :	Comparaison des caractéristiques des courants et du vent pour les paires de stations ayant servies à décrire l'influence du vent sur l'écoulement.	40
TABLEAU 5 :	Facteurs de rugosité et coefficients de friction pour différents substrats. C_{100} est le coefficient déterminé à partir du courant mesuré à 1 m du fond.....	47
TABLEAU 6 :	Statistiques descriptives du stress de cisaillement (τ_0) et du critère de Shields (θ) pour les baies Sud et Nord du secteur 103.	49

Liste des figures

FIGURE 1 :	Plan de localisation de la zone d'étude – secteur 103 de la zone portuaire de Montréal	6
FIGURE 2 :	Plan prévu d'échantillonnage systématique stratifié pour la campagne de caractérisation du patron de circulation dans les baies du secteur 103	10
FIGURE 3 :	Localisation des stations d'échantillonnage visitées durant la campagne de caractérisation du patron de circulation	12
FIGURE 4 :	Comparaison entre le plan d'échantillonnage prévu et la localisation des stations visitées.....	13
FIGURE 5 :	Installation de l'équipement électronique pour la collecte des données courantométriques et de positionnement.....	15
FIGURE 6 :	Représentation schématique du patron de circulation de surface dans les baies du secteur 103.....	22
FIGURE 7 :	Représentation schématique du patron de circulation à 5 m de profondeur dans les baies du secteur 103.....	23
FIGURE 8 :	Représentation schématique du patron de circulation à 10 m de profondeur dans les baies du secteur 103.....	24
FIGURE 9 :	Zone de cisaillement libre observée à l'entrée de la baie Nord du secteur 103	27
FIGURE 10 :	Répartition spatiale des vecteurs moyens du courant de surface dans les baies du secteur 103.....	28
FIGURE 11 :	Répartition spatiale des vecteurs moyens du courant à 5 m de profondeur dans les baies du secteur 103.....	30
FIGURE 12 :	Répartition spatiale des vecteurs moyens du courant à 10 m de profondeur dans les baies du secteur 103.....	31
FIGURE 13 :	Séquence photographique montrant l'influence de l'écoulement issu des ouvertures sous le quai 103 sur le patron de circulation secondaire dans la baie Nord.....	33
FIGURE 14 :	Répartition spatiale du coefficient de variation des vitesses de courant à la surface	35
FIGURE 15 :	Répartition spatiale du coefficient de variation des vitesses de courant près du fond	36
FIGURE 16 :	Répartition spatiale du facteur d'accélération et de la vitesse moyenne du courant à la surface	37
FIGURE 17 :	Répartition spatiale du facteur d'accélération et de la vitesse moyenne près du fond	38
FIGURE 18 :	Diagramme montrant l'état du mouvement sédimentaire en fonction de la vitesse d'écoulement et de la granulométrie moyenne des sédiments.	43
FIGURE 19 :	Classification des vitesses moyennes près du fond en fonction de l'état du mouvement sédimentaire ($d_{50} = 0,1$ mm).....	45
FIGURE 20 :	Répartition spatiale du facteur d'accélération près du fond.....	46
FIGURE 21 :	Diagramme montrant l'état du mouvement sédimentaire en fonction du critère de Shields et de la granulométrie moyenne.....	48

Liste des annexes

ANNEXE 1

Coordonnées géographiques des positions prévues des stations d'échantillonnage
Coordonnées géographiques des positions réelles des stations d'échantillonnage effectuées
Comparaison des coordonnées géographiques entre le positionnement prévu et réel

ANNEXE 2

Données courantométriques compilées

ANNEXE 3

Données courantométriques compilées des stations de profilage

ANNEXE 4

Annexes cartographiques

ANNEXE 5

Fichiers informatiques

1 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 un problème de contamination par les métaux lourds et certains composés organiques (GPR, 1995). Dans ce contexte, une étude consistant à évaluer les risques pour la santé humaine et l'environnement est actuellement en cours dans le but de fournir un outil décisionnel adéquat afin de faciliter la prise de décision pour statuer sur les actions à entreprendre. Les résultats de cette étude doivent permettre d'identifier les voies d'exposition et de transfert des contaminants.

Dans ce contexte, il s'est avéré nécessaire d'entreprendre une étude courantométrique afin de faciliter l'interprétation des résultats. En effet, il est 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 devraient permettre de déterminer l'importance relative des échanges entre les différentes zones du secteur à l'étude.

2 OBJECTIFS

Cette étude comporte un volet qualitatif et un volet quantitatif. Le volet qualitatif implique la description du patron de circulation moyen et une discussion des effets de paramètres physiques pouvant affecter le patron de circulation. Le volet quantitatif vise à calculer les échanges entre les baies Sud et Nord et entre les baies et le fleuve.

Les objectifs spécifiques sont :

- établir le patron de circulation moyen à différentes profondeurs,
- discuter de l'importance relative du vent et du débit sur le patron de circulation,
- discuter des variations saisonnières du courant en fonction du cycle hydrologique et du vent,
- calculer les échanges entre les différents secteurs de la zone d'étude,
- calculer le temps de renouvellement de l'eau dans les deux baies,
- déterminer certains paramètres physiques pour caractériser le potentiel d'érosion par l'écoulement.

3 DESCRIPTION DU SECTEUR À L'ÉTUDE

3.1 Physiographie

La zone d'étude inclut les baies situées au sud et au nord du quai 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 (GPR, 1995). Dans les deux baies, la profondeur maximale est d'environ 12 m par rapport au niveau de référence du Port de Montréal (GPR, 1995). 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), qui couvre environ 20 % de la superficie totale de la partie sud-ouest de la baie. Une pente très abrupte sépare la partie peu profonde de la partie profonde. Celle-ci montre un fond relativement homogène avec une profondeur moyenne d'environ 12 m.

Le volume total, délimité par les rives, les quais et les zones de cisaillement libres (section 5.2.1) est de 242 352 m³ et 147 803 m³ pour les baies Sud et Nord respectivement. Les rives des deux baies sont principalement constituées de matériel de remblaiement formant une pente raide. Le quai 102, orienté sud-ouest - nord-est, sépare la baie Sud du fleuve. Le quai 103, orienté ouest-sud-ouest - est-nord-est, sépare les deux baies depuis la rive jusqu'au fleuve.

3.2 Échanges d'eau

Au fond de la baie Sud, on note la présence d'une prise d'eau où est pompé un volume de 650 m³/d, qui peut augmenter à 19 500 m³/d en cas d'incendie ou durant des essais. On note également la présence de deux prises d'eau, situées près de la rive sous le quai 103. Leur débit respectif est de 0,18 m³/sec et 0,25 m³/sec. Dans la baie Nord, le débit moyen de l'émissaire situé sur la rive ouest est d'environ 11 350 m³/d (Latreille 1997, comm. pers.). Par ailleurs, le collecteur Durocher, situé à proximité du quai 105, rejette ses eaux en période de pluie lorsqu'il y a surverse du collecteur sud qui est relié à la station d'épuration de la Communauté urbaine de Montréal.

Les échanges entre les baies et le fleuve se font à travers des sections de 2 880 m² et 1 540 m² pour les baies Sud et Nord respectivement. De par la configuration des quais, les échanges se font perpendiculairement au sens de l'écoulement. Des échanges sont également possibles

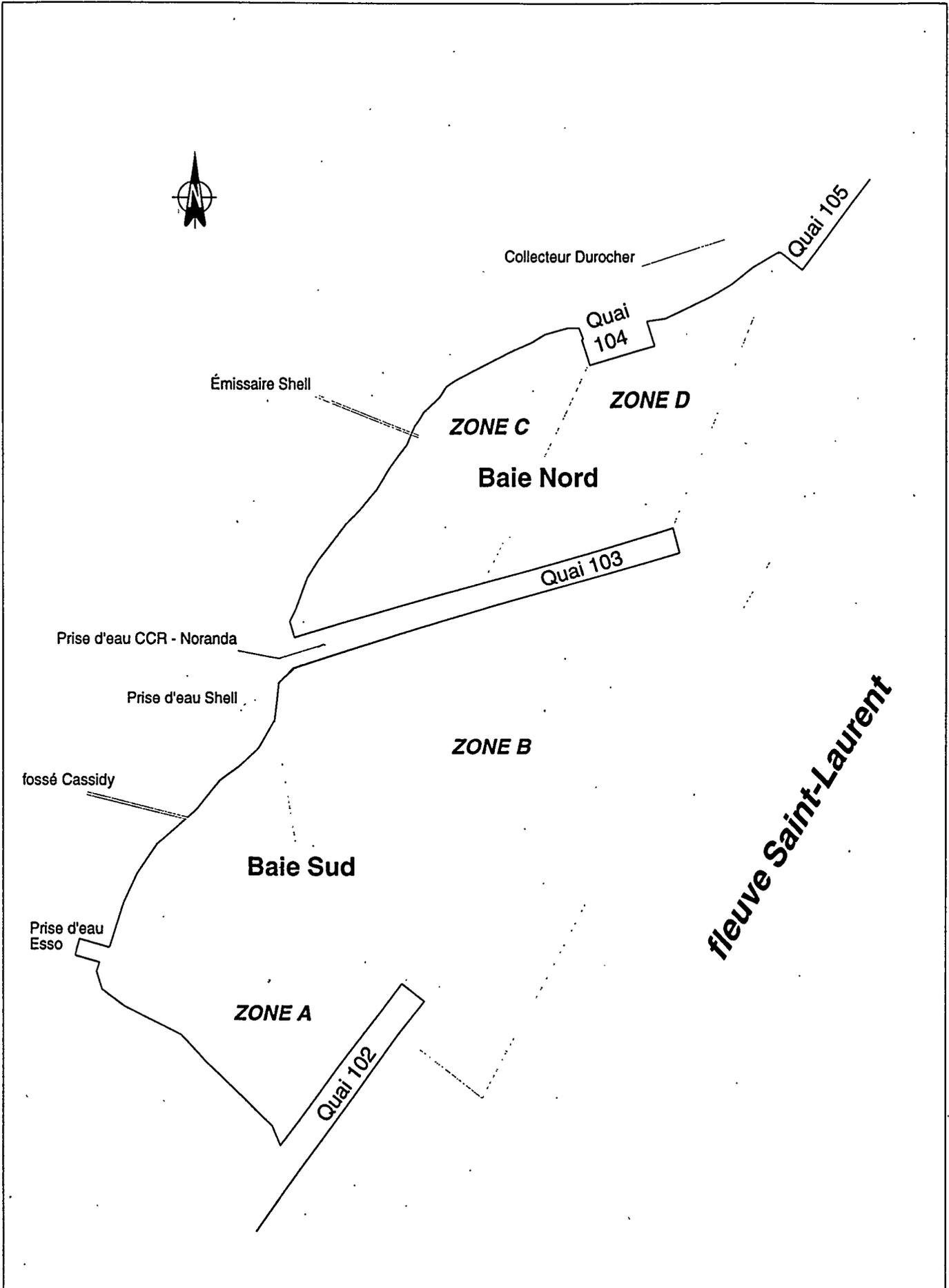


Figure 1 : Plan de localisation de la zone d'étude - secteur 103 de la zone portuaire de Montréal

entre la baie Sud et la baie Nord par l'entremise de cinq ouvertures sous le quai 103. Ces ouvertures sont réparties de manière équidistante et ont une superficie d'environ 7 m² (d≈0,7 m, h≈10 m).

3.3 Caractéristiques des vents

Les données relatives à la vitesse et à la direction du vent ont été mesurées à une station automatisée d'Environnement Canada située à l'île Charron. Cette station mesure des données à une fréquence horaire. Les vents dominants ont une vitesse variant entre 11 et 20 km/h et soufflent principalement du secteur sud-ouest (tableau 1). La moyenne des vents de 1992 à 1996 est de 16 km/h. La plus forte vitesse de vent enregistrée à une fréquence horaire est de 74 km/h.

Tableau 1 : Fréquence des vents dans le secteur du Port de Montréal (station météorologique de l'île Charron), 1992 à 1996

Vitesse* (km/h)	Fréquence %	Provenance [‡]	Fréquence %	Vitesse** (km/h)	Fréquence %
0-10	22	N	2	30	7
11-20	54	N-E	10	30-40	55
21-30	21	E	10	41-50	31
31-40	3	S-E	11	51-60	6
		S	20	61-70	0.5
		S-O	22		
		O	21		
		N-O	4		

‡ Par convention, on identifie l'origine du vent plutôt que la direction.

* Moyenne journalière des données horaires de vent

** Moyenne journalière des rafales (>30 km/h), données horaires

4 MÉTHODOLOGIE

4.1 Échantillonnage

4.1.1 Activités de terrain

La campagne d'échantillonnage s'est échelonnée sur 7 jours, entre le 25 novembre et le 11 décembre 1996. Tous les instruments ont bien fonctionné, à l'exception de la sonde d'oxygène dissous. À cause du gel de la sonde, aucune donnée n'a été recueillie pour ce paramètre qui devait servir à identifier les panaches.

Dans la partie fluviale de la zone d'étude, l'embarcation pouvait difficilement être stabilisée à cause des courants forts et du substrat qui ne favorisaient pas la prise des ancrs. Des obstacles non signalés, près de l'embouchure de la baie Sud, ont rendu l'ancrage périlleux. Par souci de sécurité et d'efficacité, plusieurs stations situées dans la zone fluviale ont été abandonnées. Néanmoins, on s'est assuré d'obtenir suffisamment de mesures à quelques stations fluviales pour établir le courant moyen.

Une attention particulière doit être mise sur les données relatives aux vents qui peuvent influencer le patron de circulation et la vitesse des courants dans certaines conditions. Durant la campagne d'échantillonnage, les conditions météorologiques ont varié de manière notable (tableau 2). Les vents observés durant la campagne d'échantillonnage ne sont pas les plus fréquemment observés, par rapport aux conditions moyennes, mais ne sont pas atypiques pour la saison.

4.1.2 Plan d'échantillonnage

Une approche d'échantillonnage systématique stratifiée a été choisie parce qu'elle permet d'obtenir une meilleure représentativité des résultats. En effet, en utilisant un pas d'échantillonnage variable on peut considérer différentes échelles au point de vue des structures hydrodynamiques présentes.

La zone d'étude a été divisée en quatre secteurs (A, B, C, D) en fonction de la bathymétrie et du patron de circulation grossier établi à partir d'informations anecdotiques obtenues lors d'une visite préalable de la zone d'étude. Le pas d'échantillonnage a été fixé à 30 m X 30 m, sauf pour la zone D où il était de 20 m X 20 m (figure 2). Une meilleure résolution pour ce secteur était souhaitable compte tenu de la complexité du patron de circulation anticipé.

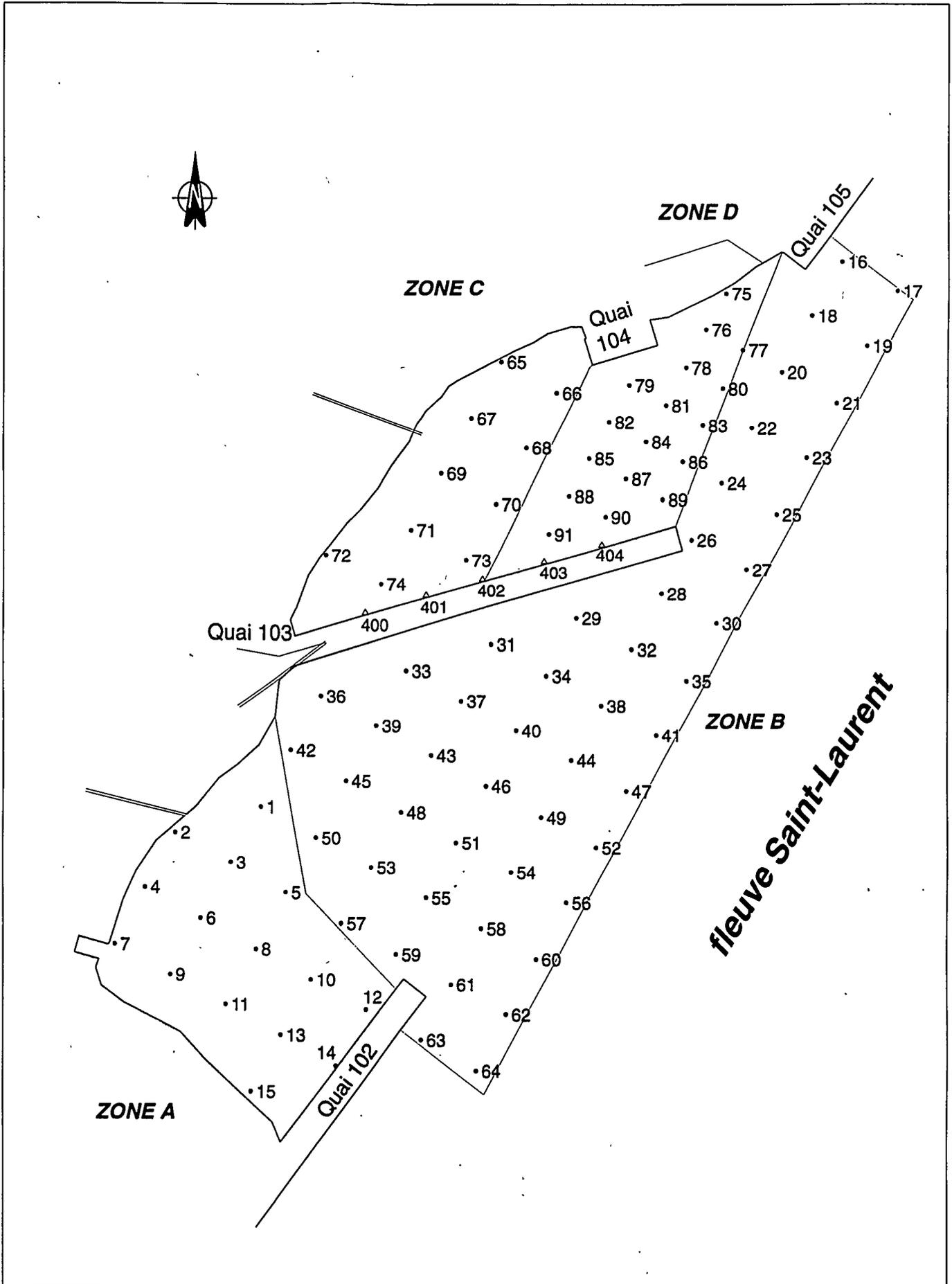


Figure 2 : Plan prévu d'échantillonnage systématique stratifié pour la campagne de caractérisation du patron de circulation dans les baies du secteur 103

Tableau 2 : Conditions de vents durant la période d'échantillonnage

Date	Vitesse moyenne (km/h)	Vitesse maximum (km/h)	Provenance (°)	Variation de la direction	Débit (m ³ /s) [Niveau (cm)]*
11/24/96	12	22	80	40-360	9 610, [nd]
11/25/96	6	11	150	50-360	9 370, [nd]
11/26/96	21	33	60	0-240	9 020, [nd]
11/27/96	24	35	270	240-310	9 100, [nd]
11/28/96	15	19	260	230-280	9 470, [nd]
11/29/96	10	19	260	250-280	9 380, [nd]
11/30/96	17	28	270	260-290	9 280, [nd]
12/1/96	24	48	130	50-290	9 120, [nd]
12/2/96	28	39	160	60-200	9 630, [nd]
12/3/96	18	32	250	90-340	10 200, [624]
12/9/96	12	24	210	20-360	9 700, [631]
12/10/96	11	17	80	40-110	9 640, [626]
12/11/96	16	30	70	50-90	9 510, [625]

Le caractère gras indique les visites sur le terrain.

* Le niveau est exprimé par rapport au zéro des cartes au-dessus du SRIGL (1985).

nd : Information non disponible

Les coordonnées géographiques des stations du plan d'échantillonnage prévu ont été générées comme suit :

- numérisation des limites de la zone d'étude (logiciel de numérisation : *Modèle*) à partir d'une carte de référence (échelle 1:500; système de coordonnées NAD 27 MTM; GPR, (1995)).
- transfert du fichier numérique dans le système d'information géographique (SIG) *ArcInfo*. Les différentes grilles d'échantillonnage sont générées à partir d'un point de référence commun.
- calcul des coordonnées géographiques des stations d'échantillonnage prévu à l'aide du SIG (système universel de coordonnées : WGS-84).
- transfert des coordonnées dans le système de positionnement et création des points de référence (« way points »).

Le plan d'échantillonnage initial comportait 91 stations sans compter les passages sous le quai 103 (annexe 1). Durant la campagne d'échantillonnage, 96 stations ont été visitées (figure 3). Après vérification des données courantométriques et de positionnement, 88 stations ont été retenues pour le traitement des données. En général, l'embarcation se trouvait à moins de 10 m de l'emplacement prévu (figure 4).

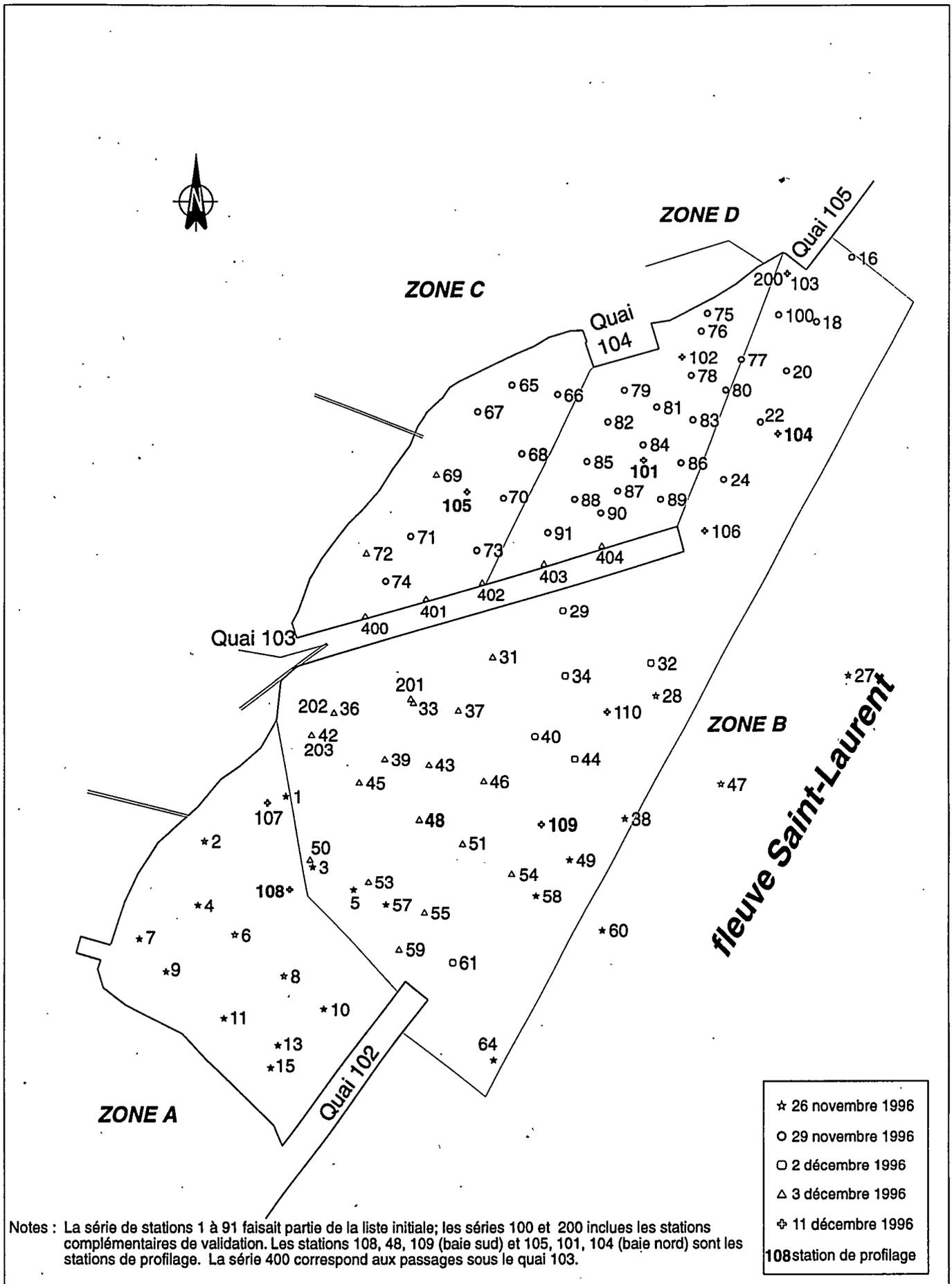


Figure 3 : Localisation des stations d'échantillonnage visitées durant la campagne de caractérisation du patron de circulation : les symboles indiquent les différentes journées de terrain

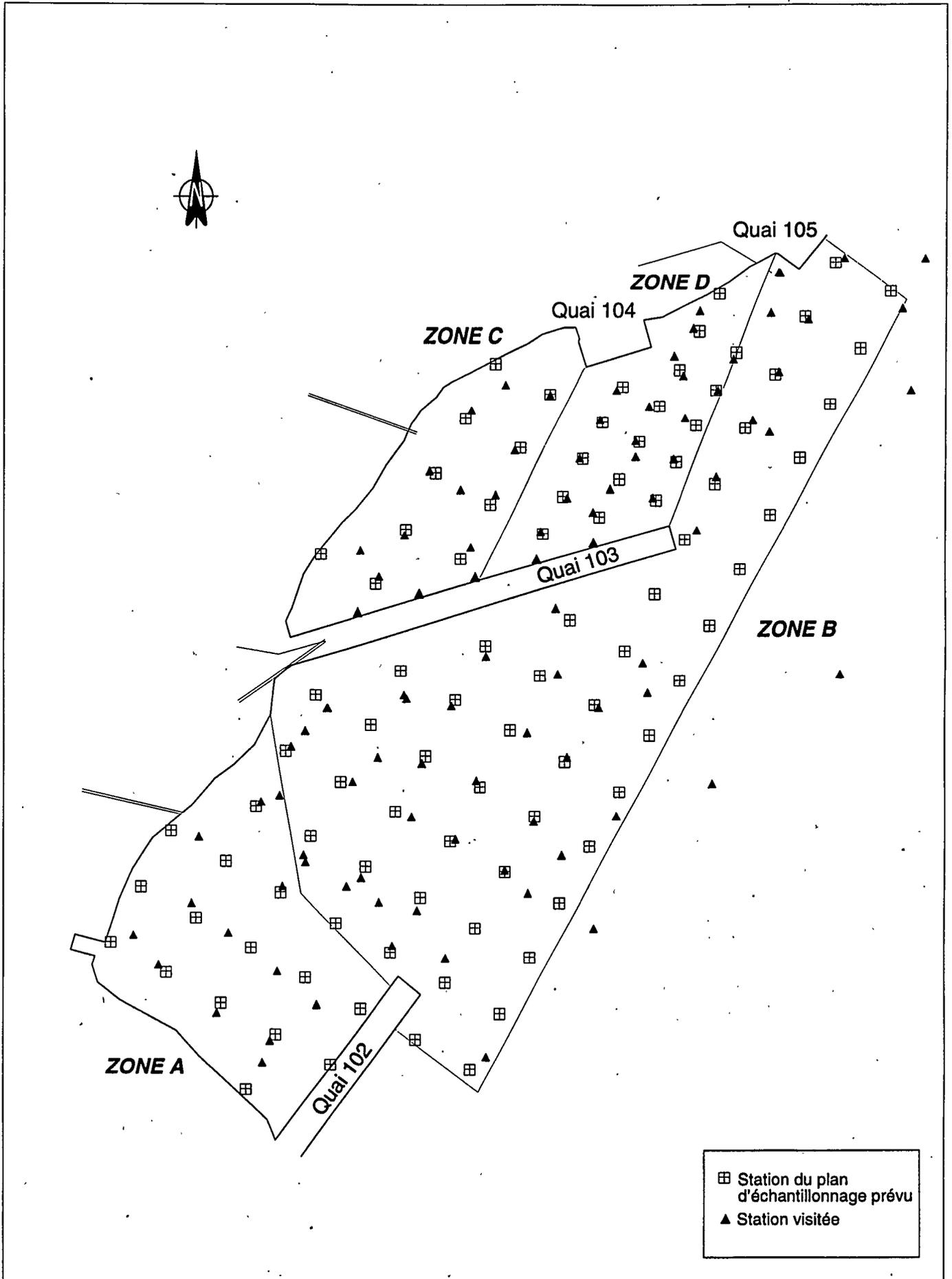


Figure 4 : Comparaison entre le plan d'échantillonnage prévu et la localisation des stations visitées

4.1.3 Positionnement

Les stations ont été localisées à l'aide d'un système de positionnement par satellite (GPS) *Trimble Pathfinder* et d'un correcteur différentiel *Micrologic ML 9100* (figure 5). À chaque station, l'embarcation était ancrée et les coordonnées ponctuelles étaient enregistrées durant toute la période d'échantillonnage. La moyenne des données ponctuelles a servi à établir la position finale des stations d'échantillonnage (figure 3 et annexe 1). Une fois ancrée sur le site, l'embarcation pouvait errer à cause du vent et du courant, causant un changement de la position. La variabilité moyenne est inférieure à 3,3 m ($\pm 4,4$ m) en longitude et à 3,9 m ($\pm 6,4$ m) en latitude. Le déplacement maximum a été observé à la station 21 (longitude : 28 m, latitude : 53 m) (annexe 1). Les plus fortes variations sont toutes associées aux stations du large où les courants sont les plus forts.

Sur le terrain, la qualité du signal de correction différentielle était vérifiée régulièrement pour maximiser la précision du positionnement. Celle-ci a été vérifiée en comparant les coordonnées de quelques points cotés dans le secteur d'étude et celles générées par le système de positionnement (tableau 3). La précision est supérieure à 10 m.

Tableau 3 : Correspondance entre les coordonnées géographiques mesurées à l'aide du DGPS et certains points cotés (coordonnées NAD 27 MTM)

Points cotés*	Longitude DGPS	Latitude DGPS	Longitude Points cotés	Latitude Points cotés	Différence X (m)	Différence Y (m)
104	304978,39	5053650,99	304971,76	5053653,55	6,64	-2,56
GPR-6	304976,05	5053656,55	304968,46	5053664,01	7,59	-7,46
GPR-1	304940,18	5053734,35	304932,26	5053741,93	7,92	-7,58
104-1	304937,84	5053745,46	304929,30	5053752,16	8,55	-6,70
102	304859,09	5053437,62	304851,17	5053441,93	7,92	-4,31

* GPR (1995)

4.1.4 Courantométrie

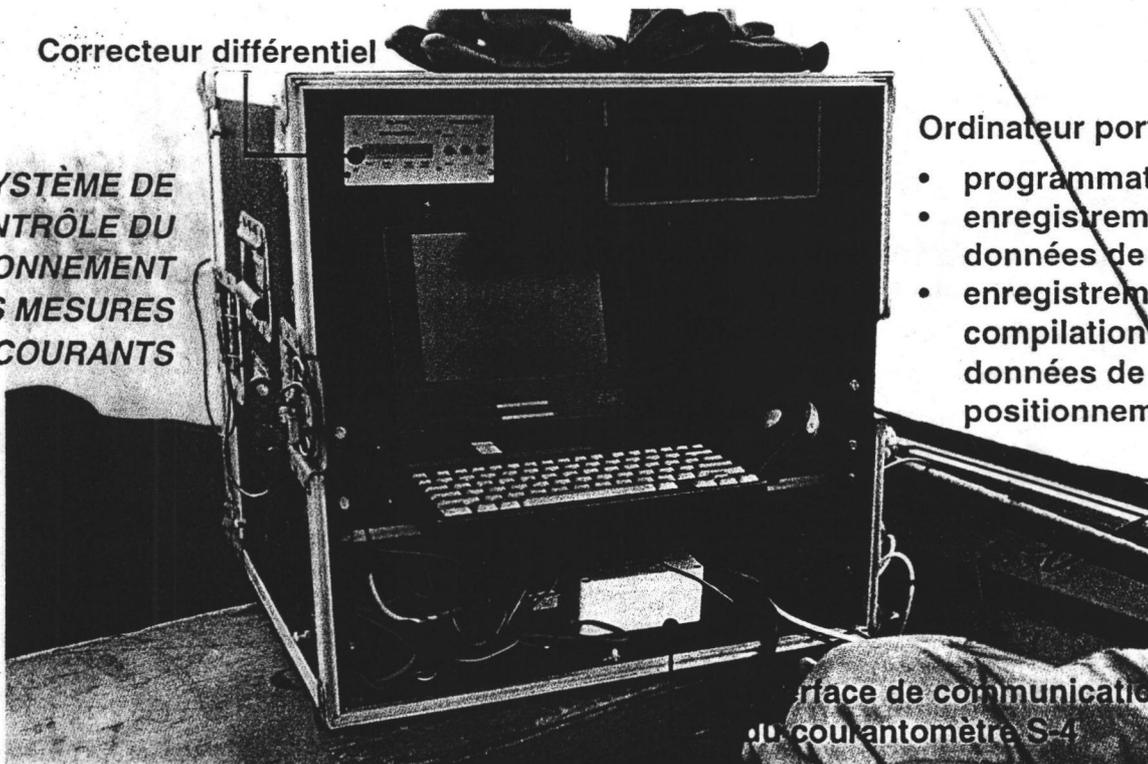
Les mesures de courant ont été prises à l'aide du courantomètre électromagnétique *Interocean S-4* (figure 5). La vitesse et la direction du courant sont obtenues en calculant la résultante des vecteurs V_n et V_e mesurés par l'appareil à partir des fluctuations du courant électrique engendré par le passage de l'eau dans le champ magnétique créé par l'appareil. La direction est établie par rapport au Nord magnétique à l'aide d'une boussole interne. Les paramètres additionnels mesurés incluent la profondeur, la température, la conductivité et l'angle de l'appareil. Ce dernier sert à corriger les vitesses mesurées pour ramener les valeurs selon un plan horizontal.



**Courantomètre
électromagnétique
S-4**

Correcteur différentiel

**SYSTÈME DE
CONTRÔLE DU
POSITIONNEMENT
ET DES MESURES
DE COURANTS**



Ordinateur portable :

- programmation du S-4
- enregistrement des données de courant
- enregistrement et compilation des données de positionnement

**Interface de communication
du courantomètre S-4**

Figure 5 : Installation de l'équipement électronique pour la collecte des données courantométriques et de positionnement

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. À la surface, les mesures étaient prises à 1 m de profondeur pour limiter l'effet des turbulences. Les données étaient simultanément enregistrées dans la mémoire du courantomètre et dans un ordinateur portable et sauvegardées dans un fichier numérique correspondant à chaque station.

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. Cette approche permet d'obtenir une mesure représentative des données de courant instantanées et de calculer la vitesse et la direction moyenne. Afin d'étudier les possibilités d'une circulation stratifiée, 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 à mi-profondeur devant les cinq passages reliant les baies Sud et Nord sous le quai 103 pour quantifier les échanges entre les deux baies.

4.1.5 Étude de dériveurs

Une étude des trajectoires des courants à l'aide de dériveurs a été tentée le 11 décembre 1996 afin de tracer les lignes d'écoulement en suivant le déplacement des dériveurs. Une trentaine de dériveurs ont été lâchés successivement à l'extrémité du quai 103, juste à l'amont du quai 105 et le long d'une ligne est-ouest séparant la baie Nord en deux. En général, les dériveurs se sont rapidement dispersés de telle sorte qu'il a été difficile de les suivre durant l'expérience.

De plus, un câble a été tendu à partir du quai 103 et relié alternativement au quai 105 et 104. Son déplacement en surface, sous l'effet des forces de traction des cellules de circulation a été documenté par photographies et film vidéo. L'objectif était d'identifier les petites cellules de circulation en suivant les mouvements du câble par rapport à une ligne imaginaire qui traverserait plusieurs de ces structures hydrodynamiques. Sans tension, le câble devait épouser approximativement la forme des cellules de circulation sous le jeu des courants.

4.2 Traitement des données

4.2.1 Calcul du courant moyen et des statistiques descriptives

Les données de chaque station ont été regroupées en fonction de la profondeur de mesures. Au total, 306 fichiers ont été générés. La vitesse et la direction des courants utilisées pour établir le patron de circulation moyen pour chaque niveau (surface, 5 m et 10 m) sont obtenues en effectuant la moyenne vectorielle de l'ensemble des valeurs mesurées. Les vecteurs obtenus sont ensuite regroupés en fonction de la vitesse par classes de 5 cm/sec, jusqu'à 50 cm/sec et de 10 cm/sec jusqu'à 100 cm/sec. Ces limites correspondent à différents états du transport sédimentaire (Sundborg, 1969). Ensuite, les résultats sont mis en plan à l'aide du SIG en ajoutant la déclinaison magnétique (+16°) pour exprimer l'orientation du

courant par rapport au nord géographique. L'origine du vecteur correspond à la position de la station.

Les données ont été ensuite transférées dans un chiffrier électronique pour calculer certaines statistiques descriptives. Les paramètres statistiques descriptifs suivants sont calculés pour la vitesse seulement : minimum, maximum, écart type et le coefficient de variation (%). L'écart type et le coefficient de variation fournissent une appréciation de la variabilité des courants, ce qui est une information importante pour un milieu possiblement turbulent.

Dans les milieux turbulents, on observe des pics aléatoires de très fortes vitesses qui correspondent aux passages de turbulences. Comme ces événements montrent des augmentations susceptibles de provoquer un changement dans l'état du transport sédimentaire, il est important de les représenter de manière moins équivoque que l'écart type. On a donc calculé un facteur d'accélération qui correspond au rapport entre la vitesse maximale et la vitesse moyenne. Les paramètres statistiques, à l'exception de la vitesse moyenne, sont classés de manière arbitraire en prévision de la représentation cartographique.

4.2.2 Influence des facteurs physiques sur les courants

La discussion de l'influence du débit sur l'écoulement dans les baies s'est limitée à des considérations théoriques dans la mesure où aucune information saisonnière sur la variabilité des courants associée aux fortes variations du débit n'est disponible. De plus, compte tenu des structures d'écoulement complexes observées, l'application de modèles théoriques pour décrire l'amplitude des changements saisonniers et l'importance relative des gradients de vitesse est impossible.

La friction du vent sur la surface de l'eau peut influencer l'écoulement en fonction de la force et de la durée des périodes de vent et de la distance (« fetch ») sur laquelle il souffle. Cette influence est modulée par la force et la direction du courant. L'effet du vent sur le patron de circulation est décrit en considérant les données météorologiques obtenues pour la période d'échantillonnage. Après avoir établi l'amplitude théorique du courant généré par un vent comparable aux conditions observées sur le terrain sur une masse d'eau statique, on évaluera l'influence du vent en comparant les résultats mesurés à des stations rapprochées et visitées dans des conditions météorologiques différentes.

4.2.3 Calcul des échanges

Avant d'entreprendre la description de la méthode de calcul des échanges, il est important de décrire la structure hydrodynamique observée à l'embouchure des baies du secteur 103 dont la présence a une incidence directe sur les flux d'entrée et de sortie. Dans un écoulement, la friction de l'eau sur le fond et/ou les parois d'une structure provoque un cisaillement de la vitesse du courant qui se traduit par une diminution rapide jusqu'à une vitesse nulle. Ce cisaillement se produit sur une petite épaisseur par rapport à celle du flot, que l'on appelle la couche limite (« *boundary layer* »). Lorsque cette couche limite se sépare brusquement du fond à cause d'une rupture abrupte de la pente ou de la fin d'un quai séparant un plan d'eau

tranquille du flot principal, elle se transforme en une zone de turbulences, appelée zone de cisaillement libre. Cette zone s'étend alors sur une grande distance dans le sens de l'écoulement.

À l'intérieur de la zone de cisaillement libre, l'énergie des turbulences se dissipe principalement avec la friction sur le fond. Par conséquent, les zones de cisaillement libre occupent trois dimensions et tendent à inhiber l'échange advectif entre le flot principal et la masse d'eau secondaire qui correspond dans ce cas-ci aux plans d'eau constitués par les baies. À l'embouchure des baies du secteur 103, l'échelle horizontale et verticale des zones de cisaillement libre est de l'ordre de 10 à 15 m et elles s'étendent sur quelques centaines de mètres. On y observe des courants (ascendants au centre et descendants en bordure) avec des vitesses verticales et horizontales du même ordre de grandeur. L'appel d'eau pour nourrir les courants ascendants se fait dans la moitié inférieure de la zone de cisaillement libre. À la surface, la remontée d'eau diverge dans toutes les directions.

À cause de la nature turbulente de cette structure, l'échange entre les baies et le fleuve est chaotique, de haute fréquence et de petite échelle, ce qui complique la quantification par des méthodes de calcul (Barbarutsi *et al.*, 1989). Comme l'échelle spatiale et temporelle du plan d'échantillonnage est supérieure à celle des échanges, le calcul du flux d'entrée et de sortie pour chaque section doit être considéré comme une valeur maximale de l'échange entre les baies et le fleuve. L'échange entre les baies et le fleuve a été calculé en intégrant la composante du courant perpendiculaire à une section verticale correspondant à l'embouchure de la baie. L'axe de cette section a été situé à l'intérieur de la baie par rapport à la zone de cisaillement libre. Par ailleurs, comme il existe d'autres sources de renouvellement de la masse d'eau (émissaires et prises d'eau), on peut calculer un bilan d'entrée et de sortie pour certaines des zones comprises dans les deux baies. On obtiendra ainsi une plage de temps de résidence qui seront appliqués pour différents scénarios.

5 RÉSULTATS ET DISCUSSION

5.1 Généralités

À cause du gradient de vitesse provoqué par la zone de cisaillement libre, la circulation dans les baies du secteur 103 n'est pas en continuité avec l'écoulement principal. Par conséquent, on observe un patron de circulation secondaire entraîné par le flot principal. Dans les baies, le patron de la circulation secondaire est déterminé par la morphologie locale et le gradient latéral de vitesse. En général, les structures hydrodynamiques observées se répartissent selon deux échelles : de larges tourbillons de dimensions comparables à la longueur de la zone de circulation secondaire et des mouvements dont l'échelle horizontale est comparable à la profondeur de la zone en question. Les dimensions des baies Nord et Sud sont de 100 m et 150 m respectivement. Les profondeurs varient de 0 m à 11 - 12 m. Typiquement, l'échelle des structures hydrodynamiques du patron de circulation secondaire devrait correspondre à ces nombres.

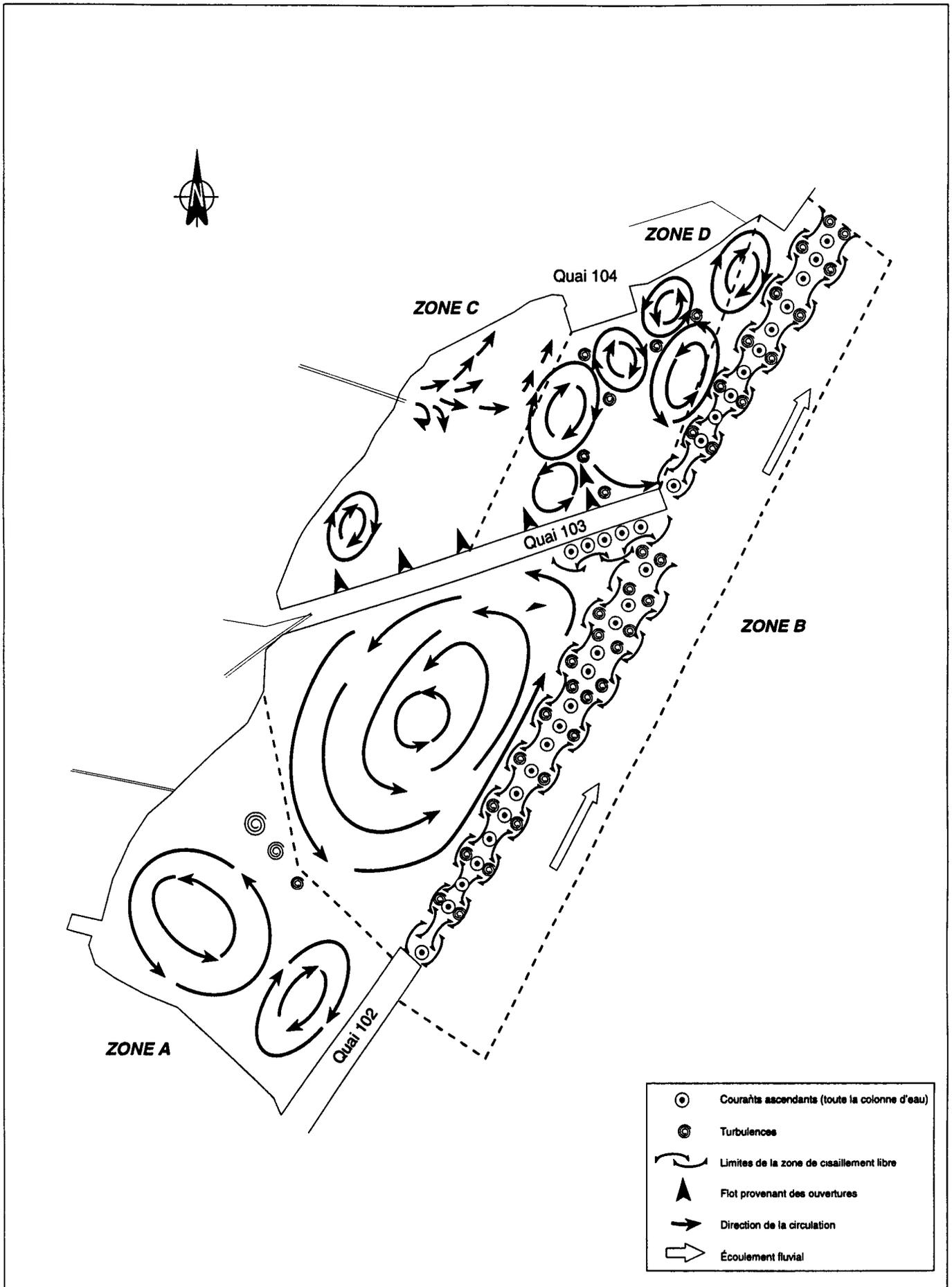
Dans la mesure où le patron de circulation secondaire est entraîné par l'écoulement principal, l'énergie nécessaire pour maintenir les structures hydrodynamiques est transférée en suivant le même chemin. Cette énergie est dissipée par les structures de plus petites échelles et par la friction avec le fond. L'effet de la friction avec le fond sur la dissipation de l'énergie devient important lorsque l'échelle horizontale des structures est de beaucoup supérieure à la profondeur. En fait, la friction avec le fond peut inhiber ou limiter la formation et l'importance des tourbillons à grande échelle. Dans le contexte morphologique de la zone d'étude, la suppression des larges tourbillons se produit à une profondeur inférieure à 1 m¹.

5.2 Description du patron de circulation

5.2.1 Zone de cisaillement libre

La zone de cisaillement libre générée à l'extrémité du quai 102 s'étend sur une distance d'environ 250 m avant de rencontrer l'extrémité du quai 103 (figures 6 à 8). Au point de rencontre, on observe une zone de forts courants ascendants sur une largeur d'environ 5 m et une longueur d'environ 20 m. Cette zone de courant ascendant est permanente et est vraisemblablement causée par l'empiétement de la zone de cisaillement libre sur la paroi du quai. L'orientation du quai 103 semble limiter le transfert de l'écoulement vers le large. Dans la baie Nord, la zone de cisaillement libre générée par 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 (adjacent au quai 105) (figures 6 à 8).

1. La profondeur critique est déterminée par le rapport h/c_f «friction length», où h est la profondeur et c_f un coefficient de friction équivalent à 0,01 (unités mks).



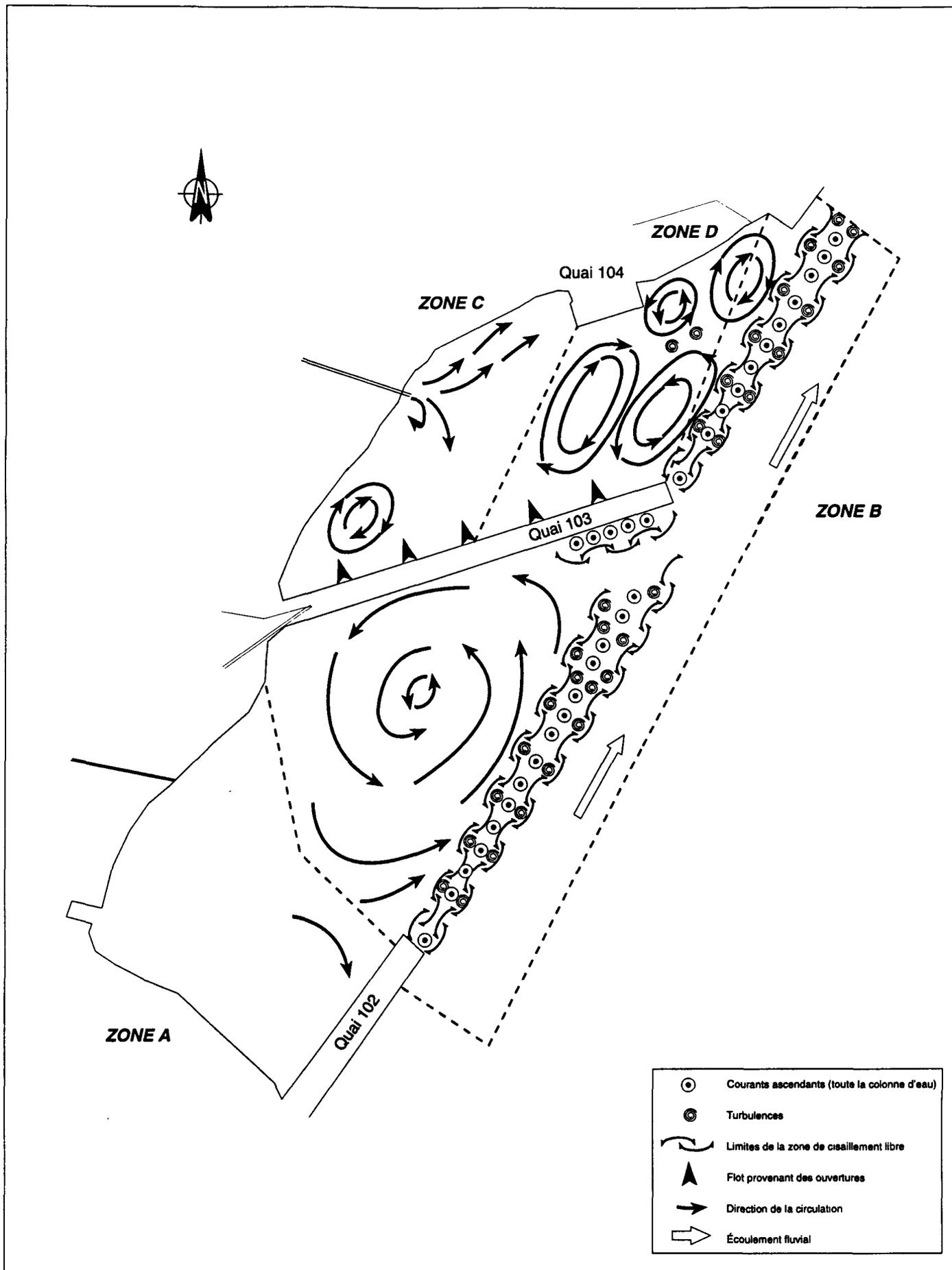


Figure 7 : Représentation schématique du patron de circulation à 5 m de profondeur dans les baies du secteur 103

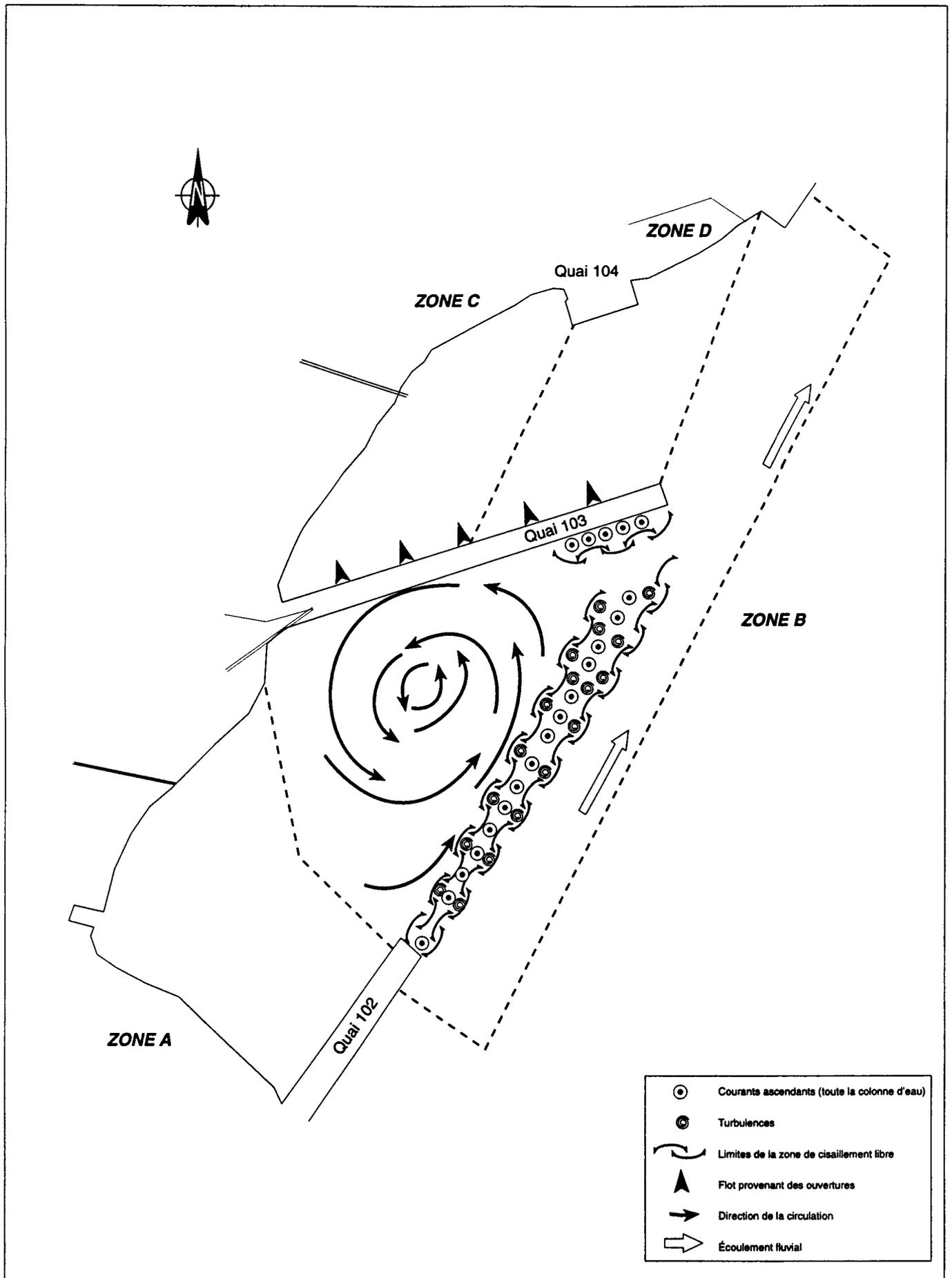


Figure 8 : Représentation schématique du patron de circulation à 10 m de profondeur dans les baies du secteur 103

La largeur des zones de cisaillement varie de manière irrégulière vers l'aval à partir de leur point d'origine. À la surface, l'échelle horizontale des zones de divergence de courant associées aux courants ascendants est typiquement de l'ordre de 10 - 15 m. À proximité ou à la limite des zones de cisaillement libre, on observe des vortex de l'ordre de quelques décimètres, témoignant du flux vertical des courants descendants (figure 9).

L'augmentation du niveau d'énergie dans la zone de cisaillement libre et l'interaction avec le substrat peut générer des forces instantanées de traction sur les sédiments, résultant en une plus grande agitation et un transport des sédiments sableux (Allen, 1969). Ce processus explique vraisemblablement pourquoi la limite des dépôts fins (GPR, 1995) correspond aux limites des zones de cisaillement libres si l'on intègre une certaine fluctuation latérale (en fonction du débit et des turbulences internes).

5.2.2 Baie Sud

Le patron de circulation dans la baie Sud est relativement simple. Dans la zone profonde (zone B), on observe un grand tourbillon qui tourne dans le sens anti-horaire et conforme à la direction de l'écoulement principal. Ce tourbillon est de forme elliptique et de dimension comparable à l'échelle de la baie (figures 6 à 8). Dans la zone peu profonde (zone A), on observe deux tourbillons plus petits qui circulent conformément l'un par rapport à l'autre. Le plus grand de ces deux tourbillons, situé à l'ouest de la zone A, circule dans le sens anti-horaire alors que le plus petit tourne dans le sens horaire. Par contre, la direction du tourbillon intermédiaire et du tourbillon principal n'est pas conforme, ce qui implique que des structures hydrodynamiques n'ont pas été résolues par l'échelle de l'approche d'échantillonnage. Celles-ci ont été symbolisées par des vortex (figure 6).

Les vitesses de courant dans les deux zones de circulation sont typiquement de 25 - 50 cm/sec pour les trois niveaux de profondeur caractérisés (figures 10 à 12). Bien que les mesures de courant se soient déroulées sur une période de 4 jours, la magnitude des vecteurs était constante et reproductible avec moins de 25 % de différence.

5.2.3 Baie Nord

Le patron de circulation dans la baie Nord est beaucoup plus complexe (figures 6 et 7). Le profil bathymétrique est hétérogène et génère avec la morphologie des rives un certain nombre (≈ 6) de tourbillons d'environ 50 m de diamètre dans la zone D. Certains tourbillons circulent à contresens des cellules adjacentes, ce qui implique que des structures hydrodynamiques n'ont pas été résolues avec l'approche d'échantillonnage. Près de l'embouchure, on observe un courant de retour le long du quai 103 et dirigé vers le large. Les essais avec les dériveurs ont montré qu'ils étaient rapidement transportés par ce courant dans la zone de cisaillement libre puis vers l'aval (figure 6). Au fond de la baie, l'émissaire qui se déverse de la rive provoque une circulation locale de type jet¹ (en panache). Dans le coin formé par le quai 103 et la rive, on observe un tourbillon de plus petite dimension circulant

1. À proximité de l'effluent, la température de l'eau était plus chaude que la température ambiante.

dans le sens horaire. Dans la zone D, le nombre de structures hydrodynamiques qui ont été résolues diminue avec la profondeur (figures 6 et 7). Ce phénomène est vraisemblablement lié à la nature complexe et variable de l'écoulement plutôt qu'à une stratification de l'écoulement.

On a également observé un échange de la baie Sud vers la baie Nord par l'intermédiaire de cinq ouvertures sous le quai 103. Il en résulte une circulation de type jet face à ces ouvertures, sur une distance de 10 à 15 m du quai, comparable en vitesse au mouvement des tourbillons secondaires générés par l'écoulement principal. Localement, ce flot semble même être plus fort que les petites cellules de circulation avec une portée de 10 à 15 m. Par conséquent, le patron de circulation locale sera modifié lorsque des navires sont à quai.

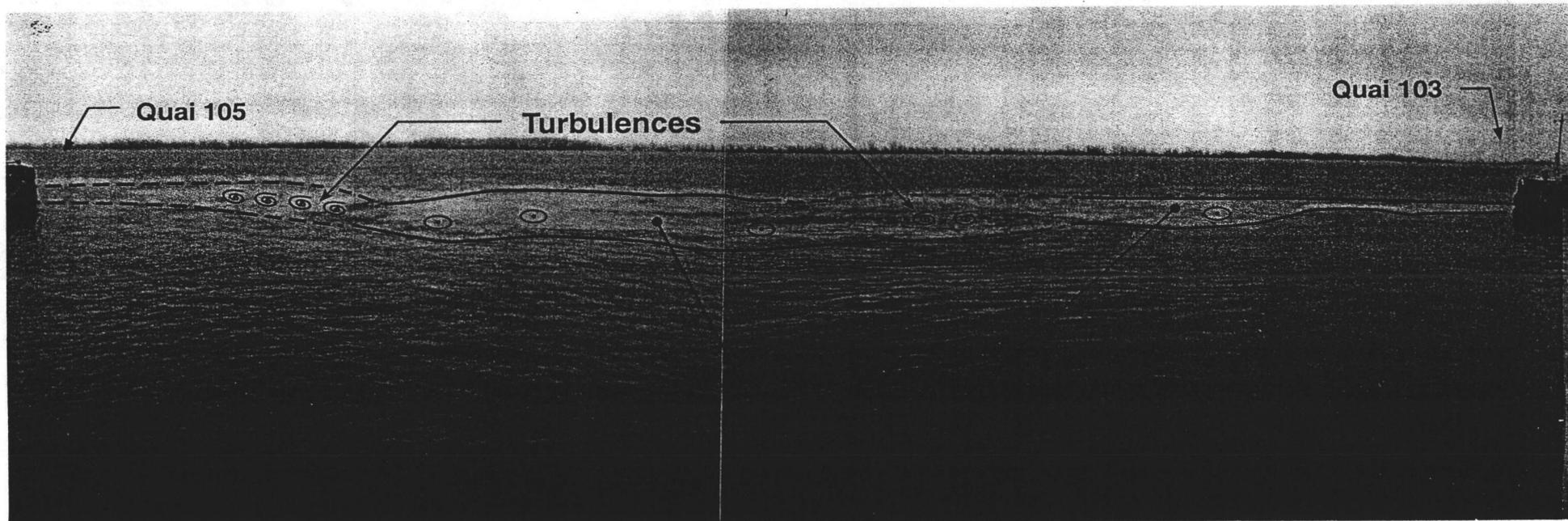
Compte tenu de la lenteur relative de la circulation dans la baie Nord, il est possible que les surverses épisodiques du collecteur Durocher modifient le patron de circulation locale. L'orientation du courant dans le secteur du collecteur Durocher fait en sorte que les apports de l'émissaire seront repris par le patron de circulation et distribués à l'intérieur de la zone D et peut-être jusque dans la zone C. Cependant, l'absence d'information sur les débits de cet émissaire ne permet pas d'évaluer l'ampleur à cet effet.

Dans la baie Nord, les vitesses de courant sont typiquement de 10 - 15 cm/sec pour les deux niveaux de profondeur considérés (figures 10 et 11). Les données de courant ont été mesurées sur une période de 3 jours et la magnitude des vecteurs était comparable. Les vitesses de courant mesurées aux ouvertures sous le quai 103 sont d'environ 20 cm/sec. Cependant, la direction des vecteurs de courant mesurés aux ouvertures est vraisemblablement faussée. En effet, les données mesurées ne concordent pas avec les observations de terrain. La masse de béton et d'acier que représente le quai a probablement affecté la boussole de l'instrument en formant une anomalie magnétique locale.

La représentation schématique du patron de circulation pour la baie Nord s'est avérée plus difficile que pour la baie Sud. D'abord, les 5 ouvertures sous le quai génèrent des cellules de circulation dont l'échelle est inférieure à celle de l'approche d'échantillonnage. De plus, l'échantillonnage des stations dans la baie Nord s'est déroulé durant une période de temps pendant laquelle il y eu des mouvements de navires. Compte tenu de la nature du patron de circulation et des faibles vitesses de courant, ces mouvements ont vraisemblablement modifié le patron de circulation. Finalement, les courants de faibles vitesses impliquent que les structures hydrodynamiques observées sont vraisemblablement instables et qu'elles peuvent être affectées par différents facteurs comme le vent et les navires. Cette instabilité se traduit par la formation de cellules dont l'échelle est inférieure à celle de l'approche d'échantillonnage, mais qui sont mises en évidence par la dérive du câble en surface (figure 13). Par conséquent, le schéma du patron de circulation présenté (figures 6 et 7) apparaît comme étant une représentation plausible compte tenu des facteurs en cause.

5.2.4 Comparaison de l'écoulement entre les baies Sud et Nord

L'écoulement dans la baie Sud est plus constant que dans la baie Nord avec un coefficient de variation des vitesses 20 % plus faible (surface : 51 % vs 73 %, fond : 57 % vs 63 %)



**Courants
ascendants**

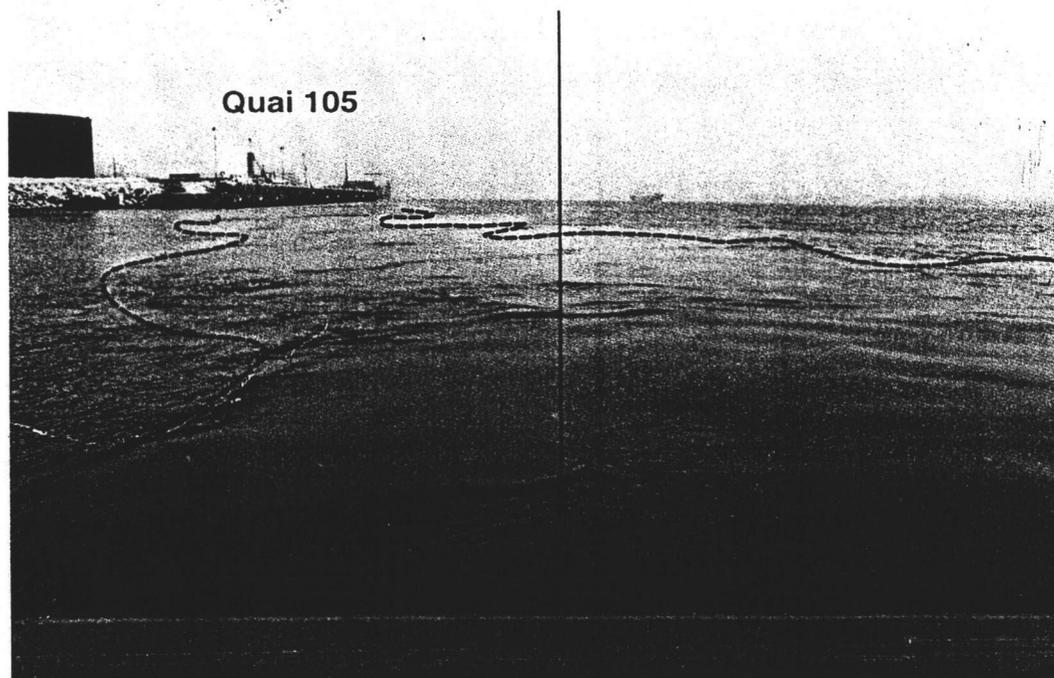


Figure 9 : Zone de cisaillement libre (courants ascendants et turbulences) observée à l'entrée de la Baie Nord du secteur 103 et délimitant l'écoulement fluvial et le patron de circulation secondaire

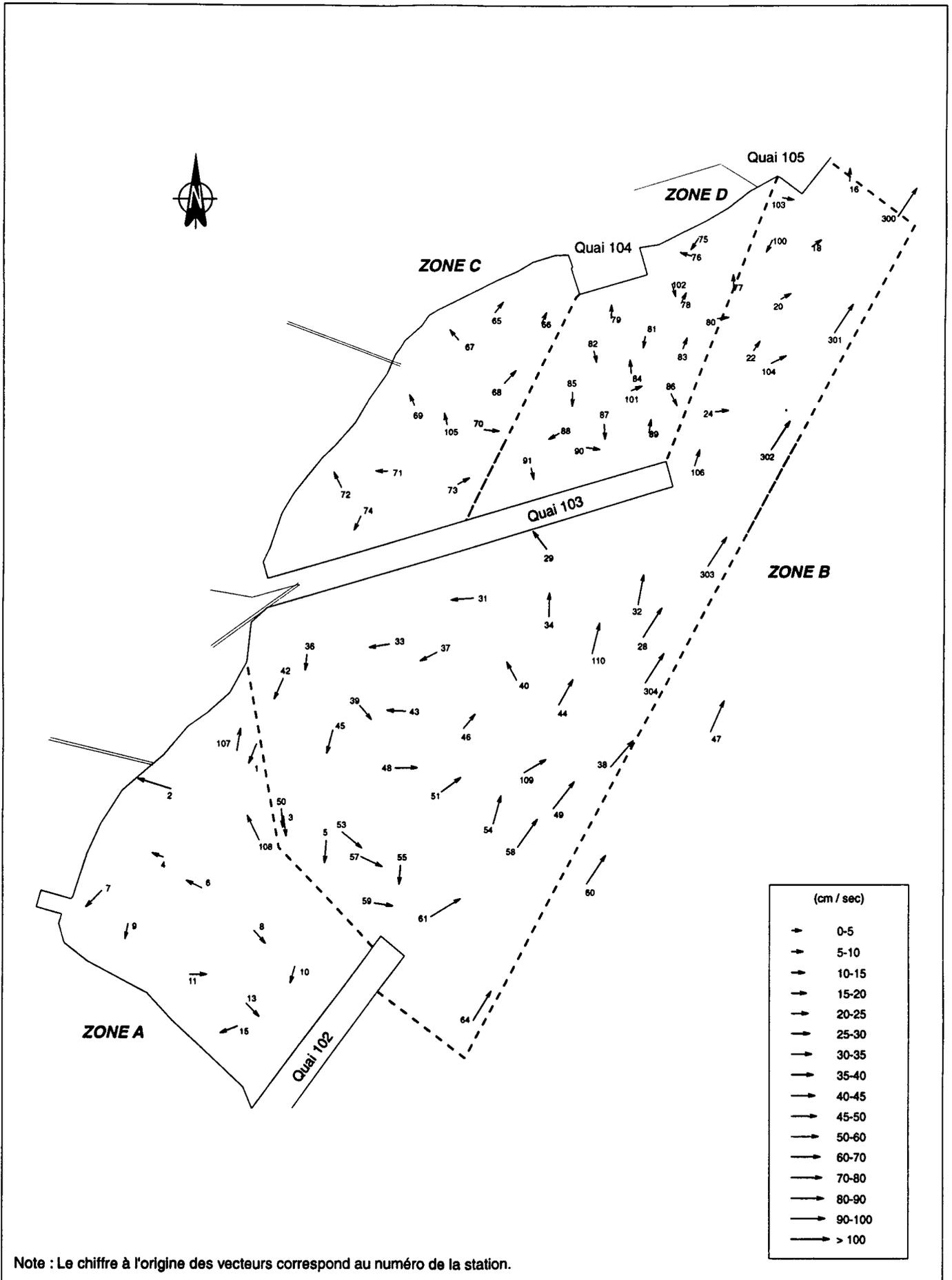


Figure 10 : Répartition spatiale des vecteurs moyens du courant de surface dans les baies du secteur 103

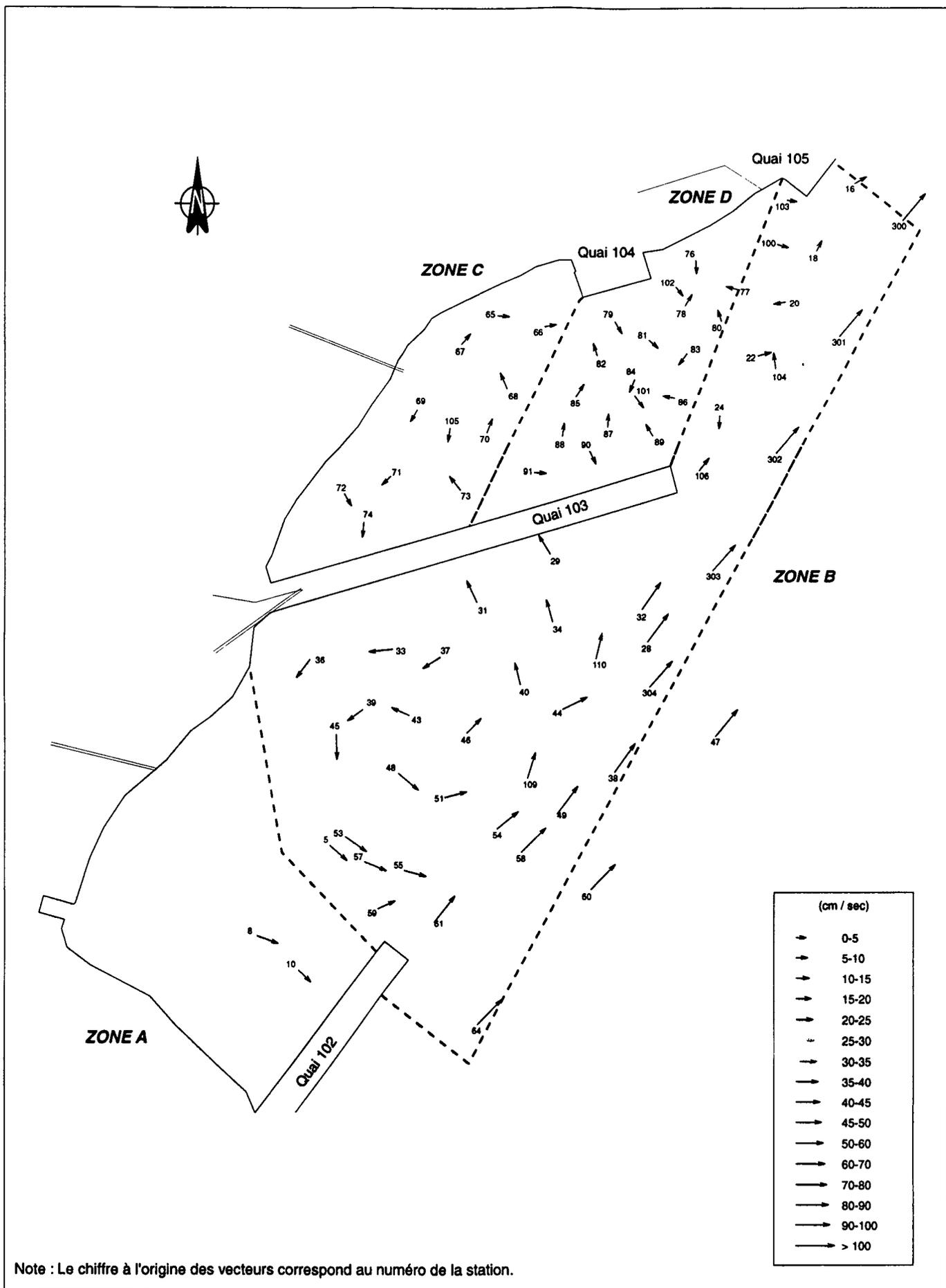


Figure 11 : Répartition spatiale des vecteurs moyens du courant à 5 m de profondeur dans les baies du secteur 103

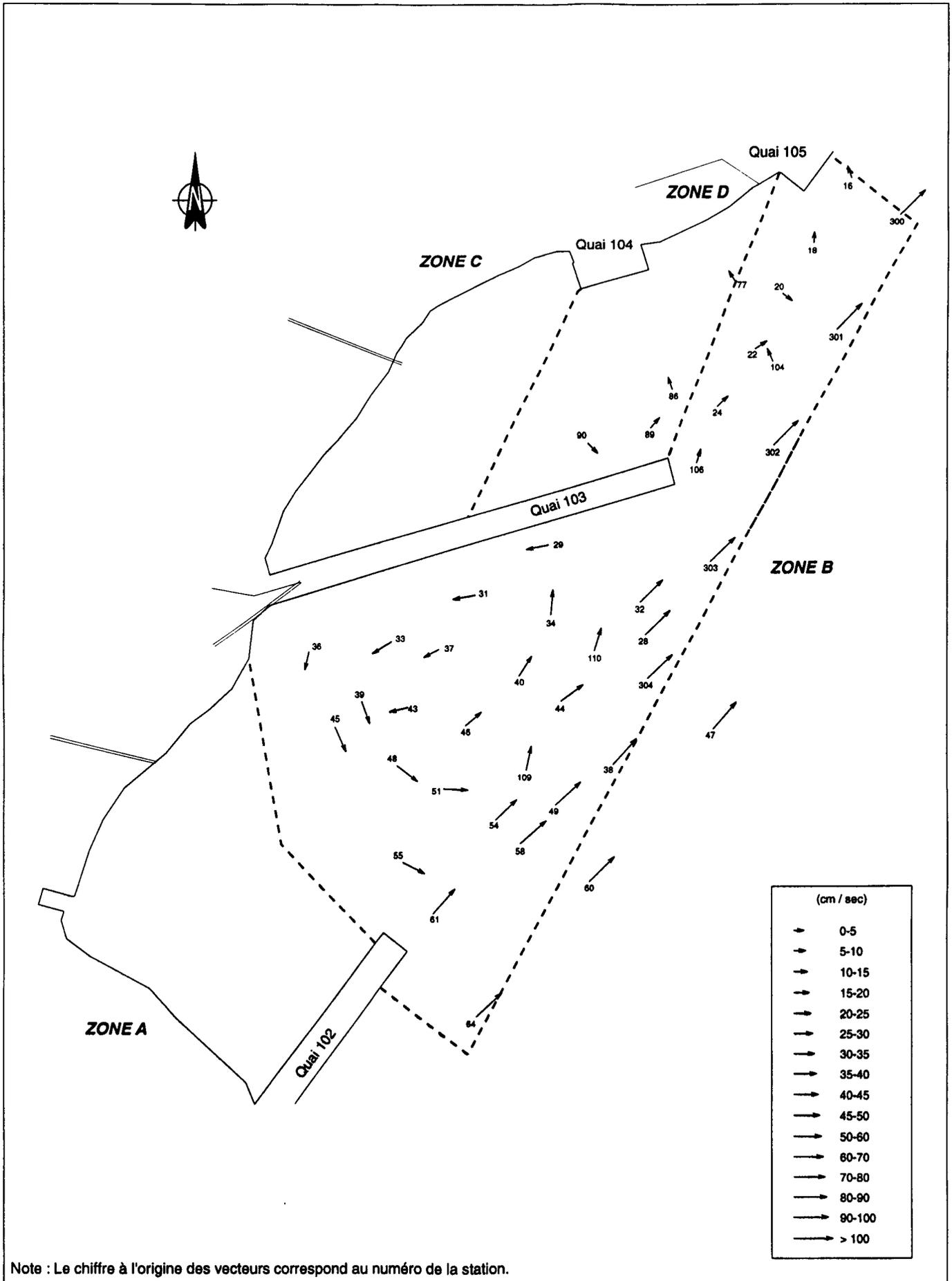


Figure 12 : Répartition spatiale des vecteurs moyens du courant à 10 m de profondeur dans les baies du secteur 103

(figures 14 et 15). Dans les deux cas, on a pu observer des vortex de petites tailles dont la vitesse est comparable aux vitesses moyennes de l'écoulement en général et qui se superposent au patron de circulation. Le passage de ces vortex explique la variabilité plus importante des courants de surface (baie Nord : 73 %, 61 %, 62 %, 63%; baie Sud : 51 %, 46 %, 45 %, 57 % de la surface vers le fond).

Le facteur d'accélération est en général plus grand dans la baie Nord que dans la baie Sud (figures 16 et 17). En général, les vitesses instantanées y sont jusqu'à 5 fois plus rapides que la vitesse moyenne, ce qui peut provoquer des changements importants au niveau de l'état du transport sédimentaire (figure 17). Ce rapport tombe à 3 pour la baie Sud. Il est intéressant de noter que les valeurs minimum du facteur d'accélération sont comparables dans les deux baies.

La structure verticale de l'écoulement est comparable dans les deux baies. En effet, si l'on exclu les 2 à 3 premiers mètres qui sont très variables, les valeurs moyennes des composantes du vecteur de courant sont comparables tant au point de vue de la magnitude que de l'orientation. Cela indique qu'il n'y a pas de stratification de l'écoulement. La compilation des données obtenues aux 6 stations de profilage sont présentées en annexe.

5.3 Influence des conditions climatiques et hydrologiques sur les courants

5.3.1 Effets du débit sur le patron de circulation

L'effet des variations saisonnières du débit du fleuve ($\approx 20\%$ entre la crue et le débit moyen) va se traduire par un changement du niveau d'eau et des vitesses de l'écoulement principal. Ainsi, la baisse du niveau d'eau et les courants plus faibles associés à l'étiage devraient causer une augmentation des effets de friction dans les parties peu profondes de la zone d'étude. En retour, le mouvement des tourbillons serait ralenti et les échanges entre les baies et le fleuve diminués. L'inverse devrait être observé lors des crues.

Comme on l'a décrit précédemment, l'énergie nécessaire pour maintenir la circulation secondaire et qui est transmise par l'écoulement principal est éventuellement dissipée par les structures hydrodynamiques de petites échelles et par la friction avec le fond. On a également déterminé que la profondeur critique en deçà de laquelle la friction avec le fond inhibe ou limite la formation et l'importance des grands tourbillons était égale à 1 m. 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 secondaire qui se traduira par un courant de plus grande vitesse et un échange plus rapide.

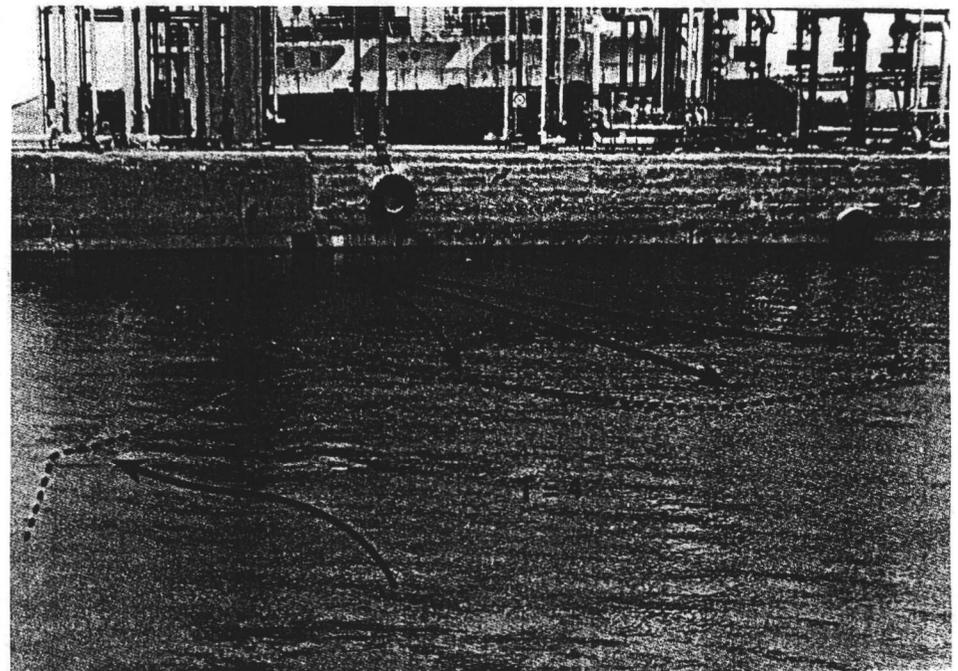
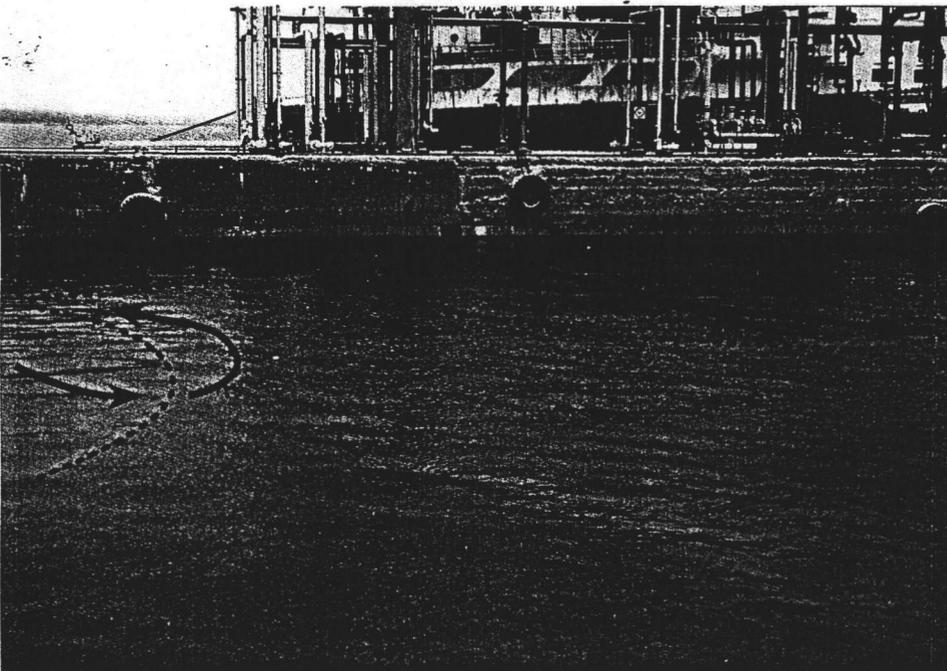
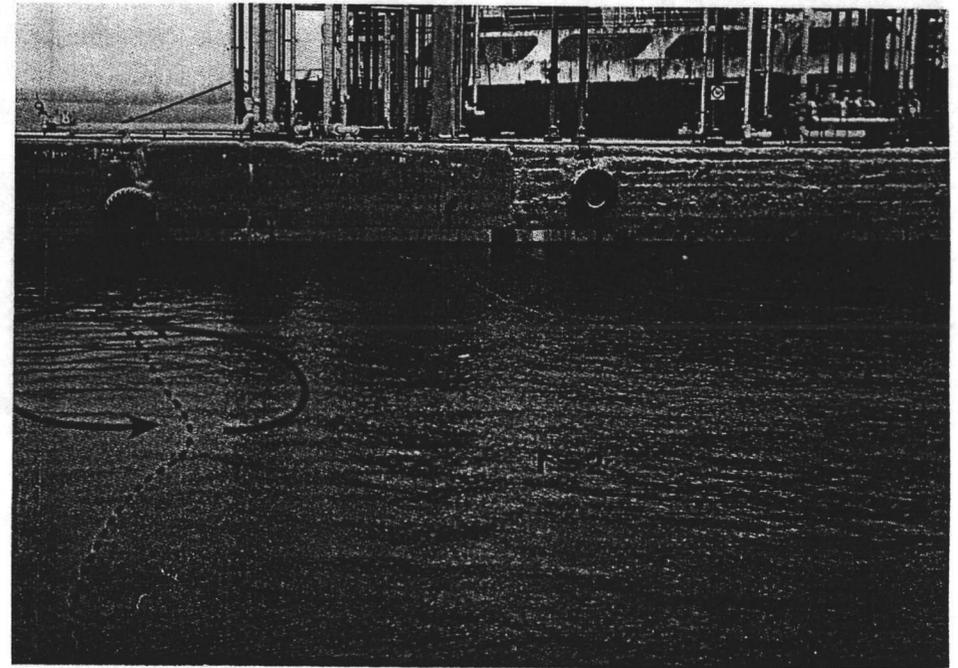
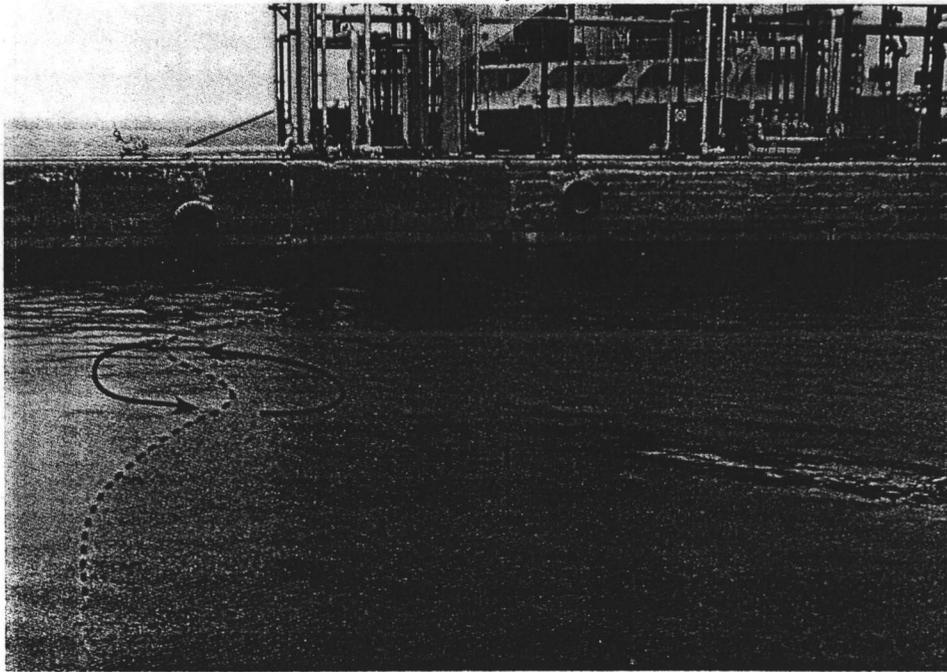


Figure 13 : Séquence photographique montrant l'influence de l'écoulement issu des ouvertures sous le quai 103 sur le patron de circulation secondaire dans la Baie Nord (durée \approx 1 heure) c.m. 22070308.fh5

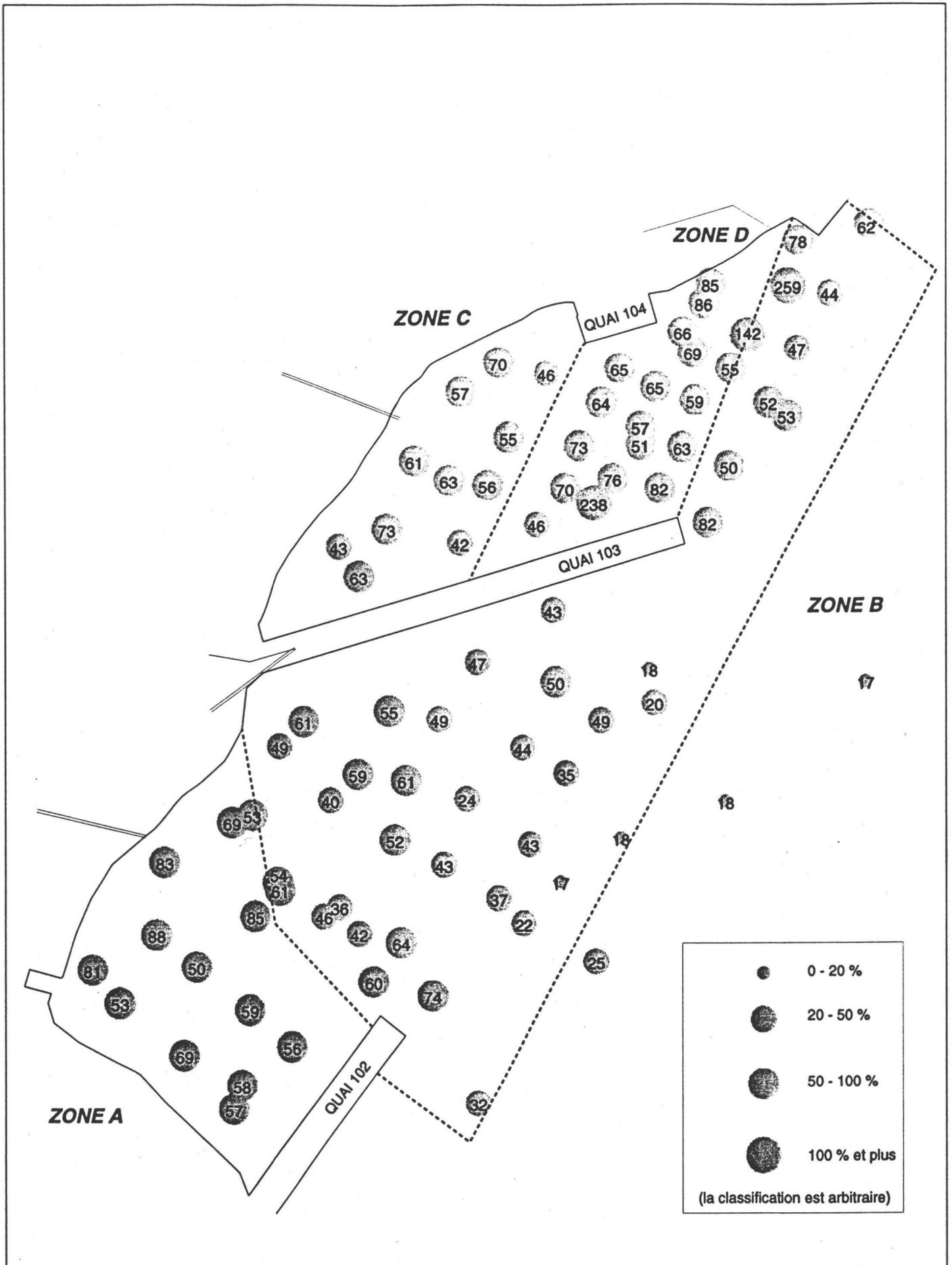


Figure 14 : Répartition spatiale du coefficient de variation des vitesses de courant à la surface

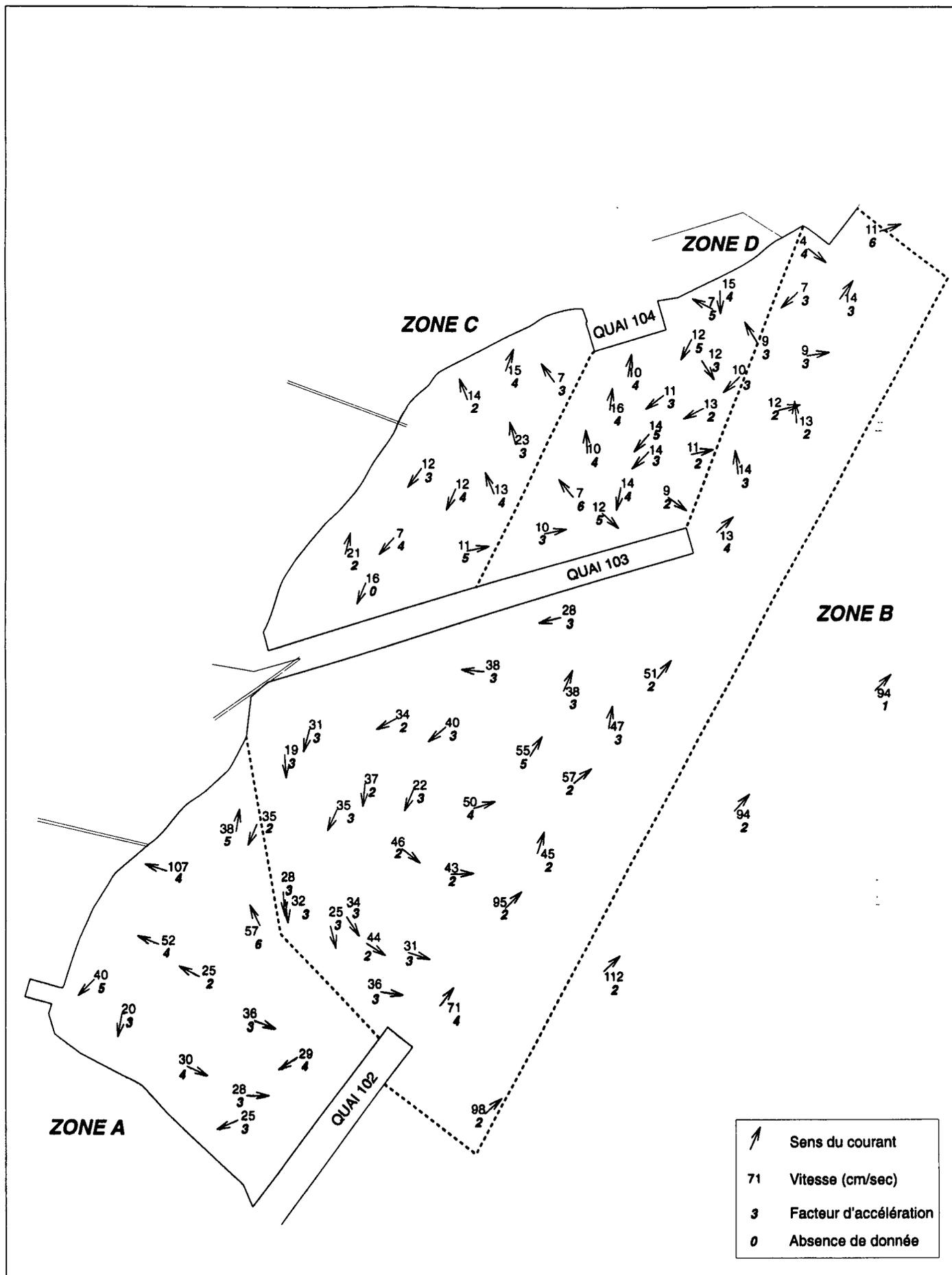


Figure 17 : Répartition spatiale du facteur d'accélération et de la vitesse moyenne du courant près du fond

Durant la période d'échantillonnage, le débit du fleuve à la station limnimétrique de Ville LaSalle variait à l'intérieur d'une fourchette comprise entre 9 020 et 10 200 m³/s (tableau 2). Le débit moyen en période de crue (mai) était de 10 900 m³/s alors que le débit moyen d'étiage (septembre) était de 8 520 m³/s. La moyenne mensuelle du niveau d'eau en octobre et décembre était de 577 et 634 cm respectivement, au-dessus du niveau de référence (zéro des cartes au-dessus du SRIGL (1985)). La moyenne mensuelle du mois de novembre n'a pas été calculée à cause de l'insuffisance de données. En 1996, le niveau mensuel moyen le plus bas a été mesuré en octobre et le niveau le plus haut au mois de mai (717 cm).

5.3.2 Effets du vent sur le patron de circulation

En général, l'effet du vent sur le patron de circulation est faible, surtout dans les zones profondes. Les vitesses de vent mesurées durant la campagne de terrain varient de 10 à 30 km/h (tableau 2). Selon Kullenberg (1976), les vitesses de courant induit par un vent comparable seraient de l'ordre de 3 à 10 cm/sec. Le 26 novembre et le 11 décembre, le vent soufflait du nord¹ et avait probablement peu d'effet sur la baie Nord et un effet limité sur la baie Sud. En effet, la hauteur et la forte pente des rives offrent une bonne protection contre les vents de ce secteur et ceux du secteur ouest (29 novembre). Au contraire, les forts vents du sud-sud-ouest (2 et 3 décembre) ont vraisemblablement influencé la circulation dans les zones les plus exposées. Cependant, les vents du secteur nord-est auront la plus grande influence sur le patron de circulation dans les deux baies compte tenu de l'orientation des baies et de la longueur du « fetch ». Ces vents soufflent en moyenne 10 % du temps (tableau 1). Finalement, l'influence du vent en profondeur sera limitée au premier mètre, compte tenu des vitesses du vent moyen et du « fetch ».

5.3.2.1 Baie Sud

Dans la baie Sud, les courants générés dans la zone de circulation par l'écoulement fluvial sont généralement élevés de telle sorte que l'impact du vent sur les courants sera faible. Néanmoins, les paires de stations suivantes ont été comparées : (55, 57), (5, 53), (3, 50), (1, 107) (tableau 4). Les valeurs obtenues à la surface et à 5 m ont été utilisées pour l'exercice. Des différences dans la vitesse et la direction ont été observées aux stations 55 (3 décembre), et 57 (26 novembre) et aux stations 5 (26 novembre) et 53 (3 décembre). À 5 m de profondeur, la direction était consistante pour les deux ensembles de données. Cependant, la réorientation du courant contraste beaucoup avec ce que l'on se serait attendu de trouver en fonction de la direction des vents enregistrés à l'île Charron. Dans la partie peu profonde, aucun effet notable n'a été observé aux stations 3 et 50. Finalement, la direction des courants aux stations 1 et 107 est à l'opposé de la direction des vents. Par conséquent, les courants réguliers favorisent l'influence du vent mais la force des courants et la morphologie des rives de la baie modifient la direction et l'amplitude du vent localement, de telle sorte que dans l'ensemble, le vent a peu d'effet sur le courant.

1. L'orientation moyenne présentée au tableau 2 diffère parce que la comparaison des données de vent et de courant a été effectuée pour la période correspondant à l'échantillonnage des stations spécifiques, alors que la direction moyenne au tableau 2 est calculée sur 24 heures.

5.3.2.2 Baie Nord

Les paires de stations (72, 74) et (78, 102) peuvent servir à l'exercice de comparaison pour déterminer l'effet du vent sur le courant (tableau 4). Dans l'ensemble, aucun lien évident n'a pu être établi avec les conditions de vent mesurés à la station de l'île Charron aux stations 72 et 74. Par contre, la direction du courant aux stations 78 et 102 est conforme à l'orientation du vent. Il semble donc que dans la baie Nord, les faibles vitesses de courant favorisent l'influence du vent sur la circulation mais que le patron de circulation complexe et variable provoque des changements qui peuvent annuler ou surpasser ceux du vent.

Tableau 4 : Comparaison de la vitesse et de la direction des courants et du vent pour les paires de stations ayant servies à décrire l'influence du vent sur l'écoulement

Station	Courant _{surface} (cm/s, °)	Vent* (km/h, °)	Courant _{5m} (cm/s, °)
<i>Baie Sud</i>			
55	27, 201	25, 338	39, 121
57	41, 131	25, 180	40, 128
5	39, 200	25, 180	37, 147
53	47, 145	12, 180	48, 141
3	32, 189	25, 180	so
50	28, 192	25, 338	so
1	35, 219	25, 180	so
107	38, 025	12, 180	so
<i>Baie Nord</i>			
72	23, 350	25, 338	14, 165
74	17, 222	10, 090	18, 201
78	9, 041	10, 090	11, 047
102	11, 179	12, 180	9, 158

* La direction du vent est exprimée de la même manière que la direction du courant (orientation du vecteur plutôt que l'origine).

so : sans objet

5.4 Bilan des échanges

5.4.1 Généralités

Les échanges entre l'écoulement principal et les zones de circulation secondaire par l'intermédiaire d'une zone de cisaillement libre, sont peu documentés (Barbarutsi and Chu, 1991; Fisher *et al.*, 1979). Néanmoins, il est clair que les échanges sont chaotiques et se produisent à haute fréquence et à petite échelle. Cela rend la quantification difficile compte tenu du pas d'échantillonnage et de la fréquence de mesure appliqués dans cette étude qui ne permettent d'obtenir qu'une image ponctuelle d'un phénomène complexe et variable. Cependant, en considérant individuellement les flux d'entrée et de sortie à l'embouchure des

baies et aux différents émissaires et prises d'eau, on peut établir une plage de différents temps de résidence.

5.4.2 Baie Sud

Les flux d'entrée et de sortie à l'embouchure (section formée par les stations 59, 55, 51, 46, 40, 34 et 29) sont respectivement de 264 m³/sec et 274 m³/sec. On obtient donc un transfert global en direction du fleuve de 10 m³/sec. Ce flux représente le seul apport d'eau à la baie Sud. Les pertes incluent le transfert à la baie Nord par les 5 ouvertures du quai 103 (surface : 0,7 m², vitesses : 20 cm/sec), 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. Dans la zone peu profonde, le débit de la prise d'eau est de 0,01 m³/sec avec un maximum de 0,2 m³/sec. Le débit aux prises d'eau du quai 103 est de 0,22 m³/sec pour la baie Sud (débit partagé également entre les deux baies).

Si l'on considère le volume de la baie Sud (242 350 m³) et le flux d'entrée (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 des tourbillons témoigne d'un échange plus vigoureux qui pourrait être de l'ordre d'une dizaine d'heures.

L'approche de calcul des échanges à l'embouchure de la baie est considérée comme très précise pour la baie Sud. En effet, le bilan net ($Q_e + Q_s$) est égal à 2,8 m³/sec. Cette valeur est très près du volume de continuité (0 m³/sec) compte tenu de l'approche d'échantillonnage.

5.4.3 Baie Nord

Les flux d'entrée et de sortie à l'embouchure (section formée par les stations 89, 86, 83, 77, 100 et 103), sont respectivement de 195 m³/sec et 167 m³/sec. On obtient donc un transfert global en direction de la baie de 28 m³/sec. Les apports à la baie sont complétés par celui de l'émissaire (zone C) avec un débit de 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).

Le volume de la baie Nord est de 147 800 m³. Le transport de la masse d'eau y est lent, complexe et variable à des échelles spatio-temporelles plus petites que ce que l'approche d'échantillonnage permet de déterminer. Le ralentissement du patron de circulation du large vers la rive indique que le temps de renouvellement de l'eau augmente dans la même direction. Par conséquent, le temps de résidence sera différent pour les zones C et D.

Si l'on utilise le débit de l'émissaire comme seule source de renouvellement pour toute la baie, on obtient un temps de résidence de 13 jours. On obtient un temps équivalent si l'on considère un apport de l'extérieur pour compenser le débit à la prise d'eau du quai 103, soit 8 jours. Par contre, le temps de renouvellement diminue si l'on considère le débit des ouvertures du quai 103, avec un temps de l'ordre de 8 à 10 heures. Dans la zone C, l'apport à

travers deux des ouvertures du quai ($\approx 2 \text{ m}^3/\text{sec}$) donne un temps de résidence du même ordre que pour l'ensemble de la baie avec les 5 ouvertures, soit 8 à 10 heures.

Enfin, le débit d'entrée à l'embouchure de la baie provoque le renouvellement de la masse d'eau de toute la baie en moins de 14 minutes. Ce résultat est valable pour la zone D comme on a pu le constater avec le déplacement des dériveurs. En effet, dans la plupart des cas, les dériveurs étaient entraînés vers le large et l'aval après une ou deux rotations. Ce temps de renouvellement n'est pas applicable à la zone C car le déplacement des dériveurs y était plus lent.

Lorsque l'on considère globalement tous ces calculs, on évalue que le temps de renouvellement pour l'ensemble de la baie Nord est de 8 à 10 heures si aucun navire n'est 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 8 ou 10 heures.

Compte tenu des approches de calcul et d'échantillonnage, le bilan des échanges est relativement précis avec un bilan net de $35 \text{ m}^3/\text{sec}$. L'erreur la plus importante provient du calcul des débits à l'embouchure de la baie (80 %).

5.5 Aspects sédimentologiques

Les données colligées dans le cadre de la présente permettent d'évaluer la capacité du flot pour éroder et transporter les sédiments. Nous décrivons deux approches graphiques qui utilisent les données courantométriques pour évaluer le potentiel d'érosion. La première approche est basée sur la vitesse critique d'entraînement et la seconde est basée sur le calcul du stress de cisaillement. Des exemples sont présentés afin de représenter l'application des deux approches en utilisant des chiffres globaux. Ces exemples ne doivent pas être considérées comme une étude hydro-sédimentologique des baies du secteur 103.

5.5.1 Vitesse critique d'entraînement

Cette approche utilise la vitesse du courant mesurée à une distance typique de 1 m au-dessus du fond pour représenter l'énergie du flot. À partir de données empiriques, plusieurs chercheurs ont établi les vitesses critiques d'entraînement de sédiments de différentes textures. Cette relation est représentée sous la forme d'un diagramme dont le plus connu est celui tiré des travaux de Hjulström (1935) repris par Sundborg (1967) (figure 18).

On observe sur le diagramme que pour une granulométrie donnée, la vitesse critique nécessaire pour arracher les sédiments est supérieure à la vitesse critique pour en assurer le transport. Ce phénomène s'explique par le fait que la force du flot doit surpasser les forces qui assurent la cohésion et l'imbrication des grains composant le matériel sédimentaire. On remarque également que la relation entre la vitesse critique et la granulométrie est bien décrite pour des sédiments de taille supérieure à 0,1 mm (sable fin). En deçà de cette taille, la

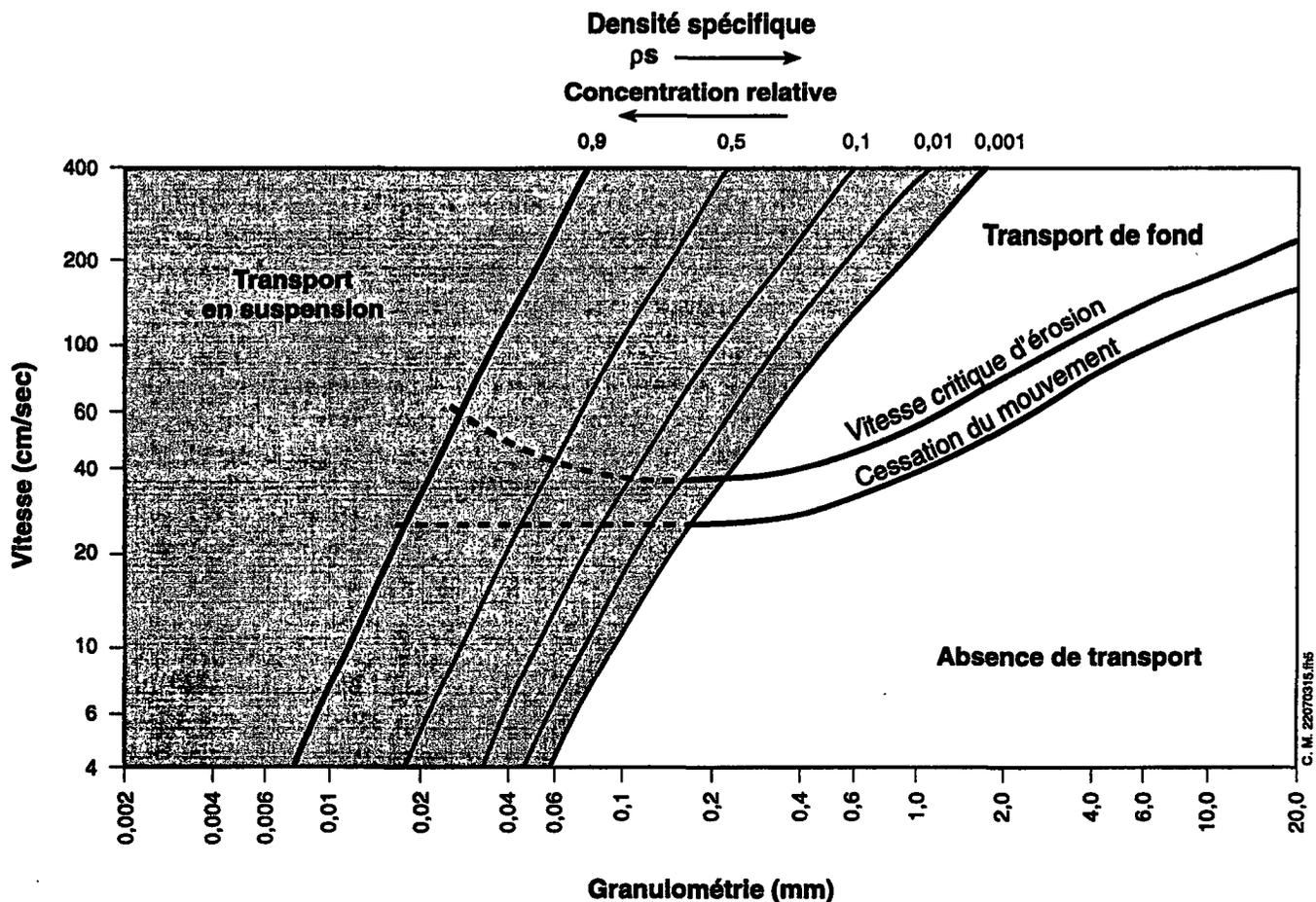


Figure 18 : Diagramme montrant l'état du mouvement sédimentaire en fonction de la vitesse d'écoulement (1 m du fond) et de la granulométrie moyenne des sédiments. Les courbes de la concentration relative limitent les champs des différents états de mouvement en fonction du rapport entre la concentration de la matière en suspension à la moitié de la profondeur et près du fond. Compte tenu des faibles concentrations de la matière en suspension dans le Saint-Laurent, un rapport de 0,9 est idéal. Le diagramme a été établi pour un matériel de densité 2,65 (quartz). Un matériel plus organique aura une densité plus faible, d'où une diminution des vitesse nécessaire pour l'arracher du substrat et le garder en suspension.

proportion d'argile est suffisamment élevée pour que les sédiments développent des forces de cohésion plus grandes, d'où l'augmentation de la vitesse critique d'érosion par rapport à un matériel de taille supérieur. Ces sédiments sont décrits comme cohésifs. Ces forces varient selon la composition des sédiments et la proportion des différentes fractions granulométriques. Typiquement, un sédiment avec plus de 10 % de matériel argileux tombe dans cette catégorie. Étant donnée que ces propriétés sont spécifiques, il est difficile d'établir une relation précise entre la taille du matériel sédimentaire et la vitesse critique d'entraînement. Cette imprécision est représentée par la ligne pointillée (figure 18).

Dans la baie Nord, l'écoulement n'a pas la capacité requise pour éroder et transporter les sédiments en fonction d'une vitesse moyenne de 13 cm/sec et d'une taille granulométrique moyenne de 0,1 mm (figure 18). Dans la baie Sud par contre, la vitesse moyenne (42 cm/sec) serait suffisante pour provoquer l'érosion et le transport des sédiments d'un diamètre moyen de 0,1 mm. La compilation des résultats obtenus en exemple sont présentés à la figure 19.

Compte tenu de la variabilité de l'écoulement dans les baies du secteur 103, la vitesse maximale peut être jusqu'à 5 fois plus grande que la vitesse moyenne ponctuelle. Par conséquent, la vitesse maximale peut être supérieure à la vitesse critique d'érosion des sédiments et suffisante pour arracher le matériel sédimentaire (figure 20).

5.5.2 Stress de cisaillement

Dans une autre approche, on représente l'énergie du flot par le stress de cisaillement (τ_0). L'avantage principal de cette variable, au point de vue mathématique, est qu'elle correspond à la force réelle qui agit sur le matériel sédimentaire. Par ailleurs, cette valeur peut être appliquée de manière graphique ou mathématique. Dans le premier cas, l'approche est comparable à l'approche précédente; cette approche est décrite ci-dessous. Dans le deuxième cas, le stress de cisaillement de l'écoulement est comparé à la mesure géotechnique de la résistance au cisaillement du matériel sédimentaire. De toutes les approches pour évaluer le potentiel d'érosion, c'est la plus précise car la mesure géotechnique représente l'interaction de toutes les forces qui agissent pour assurer la cohésion des sédiments.

L'écoulement de l'eau sur le fond provoque une friction entre l'eau et les sédiments. Dans la couche limite au contact avec les grains, l'écoulement est nul. Par conséquent, on observe une augmentation logarithmique de la vitesse qui se produit à l'intérieur d'une épaisseur de la colonne d'eau, appelée couche limite. Dans cette couche, l'écoulement peut être caractérisé par une série de tranches d'eau glissant les unes sur les autres. Le cisaillement causé par le déplacement différentiel des tranches d'eau est appelé stress de cisaillement. Le stress de cisaillement au niveau du lit (τ_0) est calculé avec l'équation suivante :

$$\tau_0 = \rho C_D U^2$$

où τ_0 est exprimé en Newton/cm², ρ correspond à la densité de l'eau (1 g/cm³), C_D est un coefficient de friction (aucune dimension) et U est la vitesse du courant (cm/sec).

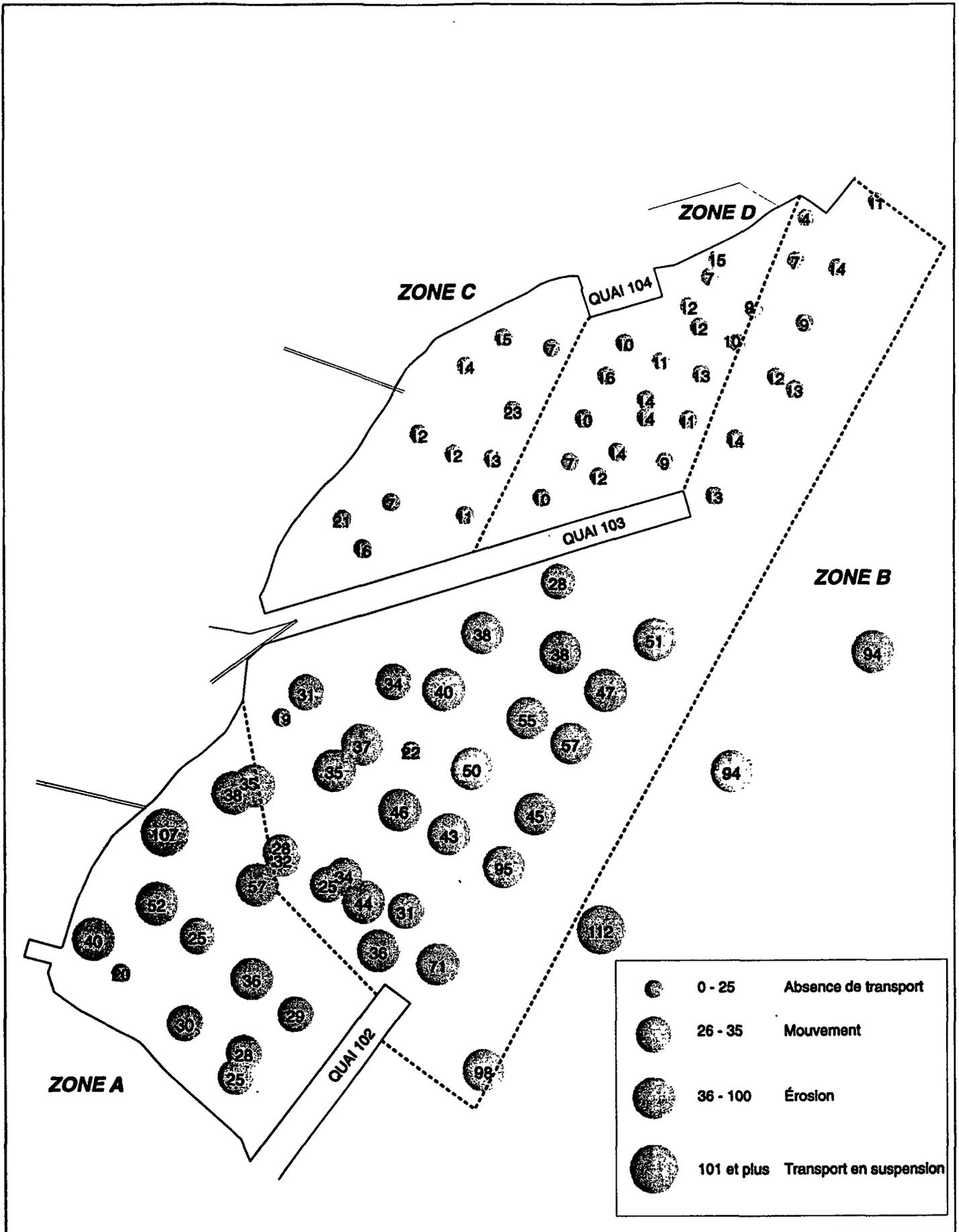


Figure 19 : Classification des vitesses moyennes près du fond en fonction de l'état du mouvement sédimentaire ($d_{50} = 0,1 \text{ mm}$)

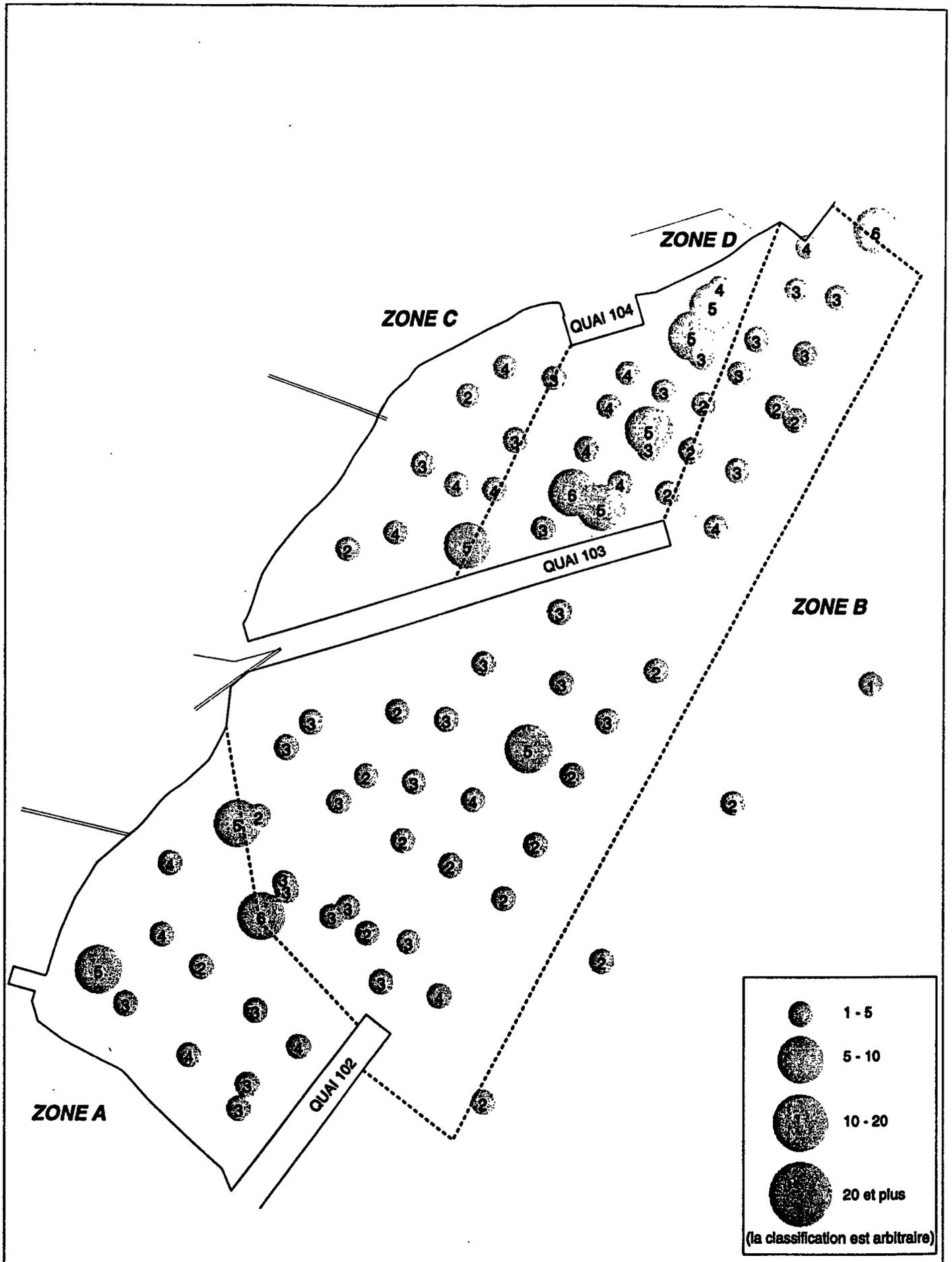


Figure 20 : Répartition spatiale du facteur d'accélération près du fond

Le stress de cisaillement est ensuite utilisé pour calculer le critère de Shields pour le mouvement des sédiments. Ce critère est sans dimension et intègre le stress de cisaillement, la densité spécifique du fluide et des sédiments, la granulométrie et la viscosité. Exprimé en fonction de la granulométrie moyenne, il permet de caractériser l'état du mouvement sédimentaire. Le critère a été calculé avec l'équation suivante :

$$\theta_{crit} = \frac{\tau_0}{(\rho_s - \rho)gD_{50}}$$

où ρ_s est la densité des sédiments, g est la constante d'accélération gravitationnelle et D_{50} est le diamètre moyen des sédiments.

À titre d'exemple, les valeurs suivantes seront utilisées pour décrire les modalités d'application de l'approche. Afin de calculer le stress de cisaillement, le coefficient de friction et la vitesse doivent être déterminés à 1 m du fond. Le coefficient de friction C_D a été obtenu à partir du tableau 5. La densité du matériel sédimentaire est de 2,65 g/cm³, la constante d'accélération gravitationnelle est de 980 cm/sec² et le diamètre moyen du matériel sédimentaire est de 0,03 mm.

Tableau 5 : Facteurs de rugosité et coefficients de friction pour différents substrats. C_{100} est le coefficient déterminé à partir du courant mesuré à 1 m du fond

Substrat	C_{100}
Boue	0,0022
Boue/sable	0,0030
Limon/sable	0,0014
Sable (sans ride)	0,0026
Sable (avec rides)	0,0061
Sable et gravier	0,0024
Matériel mixte	0,0024
Gravier	0,0047

(tiré de Soulsby, 1983 dans Dyer, 1985)

En fonction de ces paramètres et en considérant la vitesse à chacune des stations, le critère varie entre 0,007 et 0,24 dans la baie Nord (tableau 6). Cela signifie qu'il n'y a pas de remaniement d'un matériel limoneux (figure 21). Par contre, le critère varie entre 0,17 et 5,19 dans la baie Sud, suggérant un potentiel d'érosion et de transport (figure 21).

Dans le cadre d'une étude hydro-sédimentologique des baies du secteur 103, le critère de Shields devra être évalué pour différents points en considérant les propriétés du matériel sédimentaire et les caractéristiques des courants. Ainsi, le stress de cisaillement va varier en fonction de la granulométrie (influence le coefficient de friction) et de la vitesse du courant. Quant au critère de Shields, il va varier en fonction du stress de cisaillement, de la

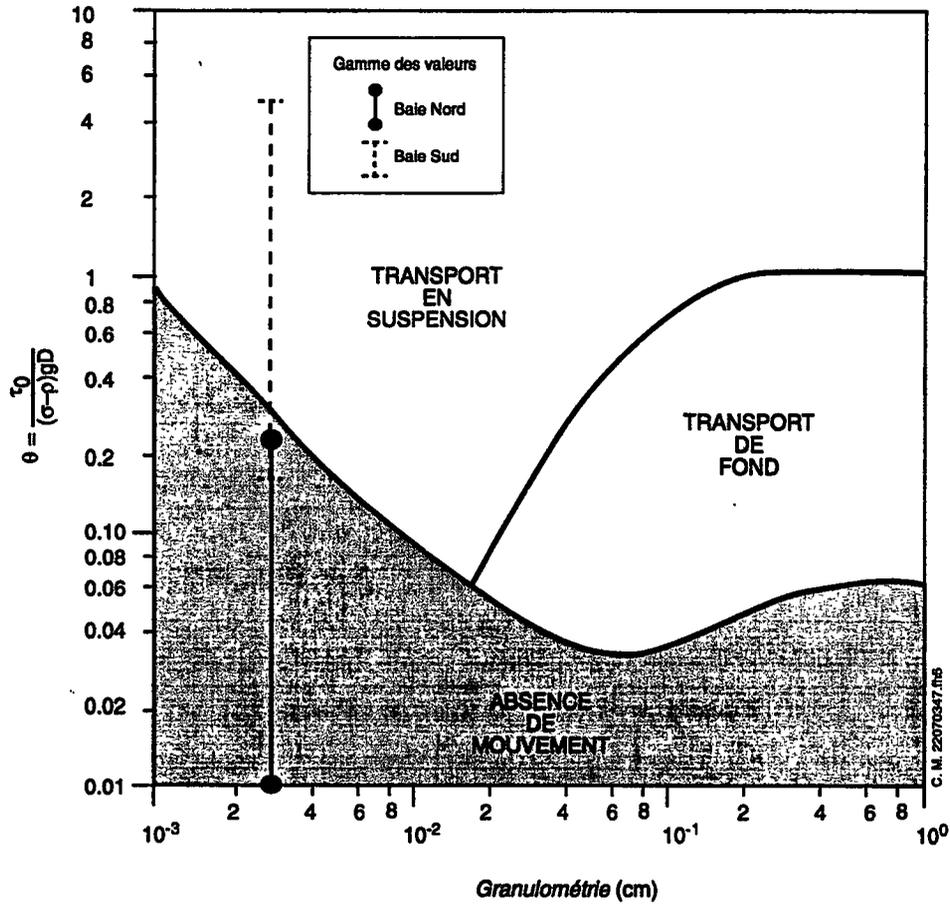


Figure 21 : Diagramme montrant l'état du mouvement sédimentaire en fonction du critère de Shields et de la granulométrie moyenne. Le critère est calculé à partir du stress de cisaillement (τ_0) obtenu de la vitesse de courant mesurée à 1 m du fond. (tiré des travaux de Bagnold et Shields dans Allen, 1969)

granulométrie des sédiments et de leurs densités. La présence de matière organique dans les sédiments diminue grandement la densité. Or la densité influence de manière importante le critère de Shields. Par exemple, une diminution d'environ 30 % de la densité (2,65 g/cm³ à 1,8 g/cm³) amène une augmentation de près de 100 % du critère.

Tableau 6 : Statistiques descriptives du stress de cisaillement (τ_0) et du critère de Shields (θ) pour les baies Sud et Nord du secteur 103

	Baie Nord		Baie Sud	
	τ_0	θ	τ_0	θ
Moyenne	0,34	0,07	4,73	0,98
Écart type	0,2	0,04	5,17	1,07
Minimum	0,03	0,007	0,8	0,17
Maximum	1,17	0,241	25,16	5,19

6 CONCLUSION

La différence entre le patron de circulation de la baie Sud et de la baie Nord s'explique par la morphologie, la bathymétrie et l'orientation des baies par rapport à l'écoulement principal. Le patron de circulation dans la baie Sud est relativement simple et est bien décrit par l'approche d'échantillonnage. Il est dominé par un grand tourbillon dans la zone B qui entraîne deux tourbillons plus petits dans la zone A. Le sens de rotation entre le tourbillon principal et le tourbillon intermédiaire n'est pas conforme, ce qui implique que certaines structures hydrodynamiques n'ont pas été résolues par l'approche d'échantillonnage. Le mouvement des tourbillons est rapide et de l'ordre de 25 à 50 cm/sec. Compte tenu de l'orientation de la baie Sud, le vent du secteur nord-est a un effet limité compte tenu des vitesses élevées de courant. Par ailleurs, l'augmentation du débit du fleuve entraîne un plus grand transfert d'énergie aux cellules de circulation secondaire provoquant une augmentation des vitesses de courant et une diminution du temps de renouvellement des eaux. L'inverse devrait être observé en condition d'étiage avec une modification du patron de circulation dans la zone A compte tenu de la faible profondeur.

À l'opposé, le patron de circulation dans la baie Nord est beaucoup plus complexe. Il est caractérisé par la présence de quelques cellules de circulation de taille moyenne dans la zone D et d'un écoulement de type jet au niveau de l'émissaire dans la zone C. Dans la zone D, le sens de rotation des différentes cellules est souvent non-conforme ce qui implique que la résolution de l'approche d'échantillonnage n'a pas permis de définir plusieurs structures hydrodynamiques de plus petites tailles. Par ailleurs, il semble que le patron de circulation est également variable dans le temps. L'influence des jets provenant des ouvertures du quai 103 est importante sur le patron de circulation locale et le mouvement des navires au quai 103 aura un grand impact. Le mouvement associé au patron de circulation est lent et de l'ordre de 10 - 20 cm/sec. Compte tenu de ces petites vitesses, l'effet du vent sur le patron de circulation devrait se faire sentir plus fortement dans la baie Nord. Cependant, la nature complexe et variable du patron de circulation peut limiter ou surpasser l'effet du vent.

Les courants dans les baies du secteur 103 sont variables. Bien que la variabilité de l'écoulement soit observée sur toute la colonne d'eau, elle apparaît comme étant plus importante sur les 2 ou 3 premiers mètres. Cette variabilité est provoquée par de nombreux vortex de petites tailles. On observe aucune stratification de l'écoulement.

Le bilan des échanges pour chaque baie donne de petites valeurs qui témoignent de la précision de l'approche d'échantillonnage pour quantifier les échanges globaux, surtout en ce qui concerne la baie Sud. Néanmoins, la présence des zones de cisaillement libre aux embouchures impliquent que les temps de renouvellement calculés à partir des bilan d'entrée et sortie sont surestimés. En effet, les échanges entre le fleuve et les baies par l'intermédiaire des zones de cisaillement libre s'effectuent de manière chaotique, à haute fréquence et à petite échelle, ce qui en rend la quantification difficile.

Le renouvellement de l'eau dans la baie Nord pourrait varier entre 0,25 heures et 7 à 8 jours. Typiquement, il est vraisemblablement inférieur à 8 – 10 heures si il n'y a aucun navire au

quai 103. Dans le cas contraire, le temps de résidence dans la zone D serait inférieur à 8-10 heures et supérieur à 10 heures dans la zone C. Même si ces temps peuvent permettre le transfert des sédiments, il est probable qu'une partie des apports provenant de l'émissaire au fond de la baie Nord soient repris par la prise d'eau située sous le quai 103. À l'embouchure, le collecteur Durocher contribue de manière épisodique aux apports selon l'occurrence des surverses. Même si le temps de renouvellement est court dans la zone D, l'orientation de l'écoulement fait en sorte que les apports épisodiques du collecteur Durocher seront repris et distribués par les tourbillons secondaires à l'intérieur de la baie Nord.

Le temps de renouvellement dans la baie Sud est relativement rapide (entre 0,25 heures et quelques dizaines d'heures), de telle sorte que si les sédiments étaient remis en suspension dans la zone B, ils pourraient être exportés hors de la baie avant leur déposition. En plus des échanges entre la baie et le fleuve, il y a un échange de la baie Sud vers la baie Nord relativement important qui est modulé par le mouvement des navires au quai 103.

Finalement, les données courantométriques permettent d'évaluer le potentiel d'érosion des sédiments en fonction de deux approches graphiques utilisant la vitesse critique d'entraînement et le stress de cisaillement pour représenter l'énergie du flot. Ces approches ont été décrites à l'aide d'exemples types. Cependant, l'étude du contexte hydro-sédimentologique nécessite une application plus approfondie des différents paramètres. Cette application ne faisait pas partie des objectifs de l'étude.

7 RECOMMANDATIONS

Dans le déroulement du projet, on s'est heurté à certaines limites définies par notre approche d'échantillonnage qui ne nous ont pas permis de quantifier avec précision le temps de renouvellement dans les baies et les échanges entre celles-ci et le fleuve. On propose certaines recommandations qui permettraient d'améliorer la précision du calcul du temps de renouvellement et des échanges.

- 1- Déploiement de quelques grands dériveurs submergés en grande partie dans les deux baies. La trajectoire des dériveurs serait suivie et le temps de transit à travers les différentes zones serait mesuré. L'expérience devrait être répétée au moins 4 fois (avec et sans navire au quai 103). Les résultats fourniront un estimé du temps de résidence moyen et de la portée des échanges. Cette expérience est simple et peu coûteuse. Elle nécessite quelques visites sur le terrain.
- 2- Largage de dériveurs devant les ouvertures du quai 103 pour calculer le temps de passage pour différentes conditions de vents et de vagues. De plus, la trajectoire des dériveurs à la sortie des ouvertures permettra d'identifier les limites de la zone d'influence des courants de type jet. Cette expérience permettra de déterminer si il y a renversement de la direction d'écoulement entre la baie Sud et la baie Nord. Cette expérience est simple et peu coûteuse. Elle nécessite quelques visites sur le terrain.
- 3- Injection de colorant près du fond. L'injection près du fond permettra d'imiter le processus de remise en suspension. Le suivi sur quelques jours de la dispersion du panache s'effectuera jusqu'à ce que les concentrations de colorant soient sous la limite de détection. Cette expérience permettra d'évaluer la diffusion et l'advection de l'eau dans les baies.
- 4- Mouillage d'instruments de mesure pour obtenir de longues séries temporelles de données courantométriques et de transmission de la lumière (évaluation de la matière en suspension). Les instruments seraient installés juste au-dessus du substrat. Cette expérience permettrait d'évaluer la variabilité de la vitesse des courants et de la remise en suspension pour différentes conditions de vents, vagues et mouvements de navires.
- 5- Mesures courantométriques à l'aide du courantomètre à effet Doppler. L'utilisation de cet appareil permettrait de générer une image ponctuelle de l'ensemble de l'écoulement dans une baie à l'intérieur d'une période d'environ 2 heures. Cependant, cette approche ne permettrait pas de caractériser la zone de cisaillement libre. Les mesures devraient être répétées pour différentes conditions de vents, vagues et mouvements de navires. Cette expérience permettrait de générer un patron de circulation consistant pour chaque baie avec une résolution horizontale d'environ 10 m. Cette approche implique des coûts élevés (logistique de terrain, location d'instruments de mesure et de positionnement, traitement d'ensembles de données importants).

BIBLIOGRAPHIE

- Allen, J.R.L. 1969. *Physical processes of sedimentation*. Earth Science Series 1. J. Sutton (éd.). American Elsevier.
- Barbarutsi, S. et V, Chu. 1991. *Dye concentration distribution in shallow recirculating flows*. J. Hydraulic Eng., 117, 643-659.
- Barbarutsi, S. J. Ganoulis et V, Chu. 1989. *Experimental investigation of shallow recirculating flows*. J. Hydraulic Eng., 115, 906-924.
- Brown, J., A. Colling, D. Park, J. Phillips, D. Rothery et J. Wright. 1989. *Waves, tides and shallow - water processes*. Open University, Oceanography course team & Pergamon Press, England. 187 p.
- Carter, R.W. et al. 1963. *Task force on friction factors in open channels*. J. Hydraulic Div. ASCE, vol. 69.
- Dyer. K. 1985. *Coastal and estuarine sediment dynamics*. J. Wiley & sons. New-York, USA. 342 p.
- Fisher H. et al. 1979. *Mixing in inland an coastal waters*. Academic Press. 438 p.
- GPR International inc. 1995. *Caractérisation et répartition spatiale des sédiments dans les baies situées de par et d'autre du quai 103 (Port de Montréal). Volume 1*. Environnement Canada, Métallurgie du cuivre Noranda - Affinerie CCR, Pétrolière Impériale, Produits Shell Canada Ltée., Société du Port de Montréal.
- Hjulström, F. 1935. *Studies in the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris*. Geol. Inst. Univ. Upsala, Bull. 25, 221-528.
- Kullenberg, K. 1976. *On vertical mixing and the energy transfer from the wind to the water*. Tellus 28, 159-165.
- Latreille, A. 1997. Communication personnelle du 16 janvier 1997. Intervention SLV 2000. Direction de la Protection de l'environnement. Environnement Canada.
- Reineck H.-E. et Singh I.B. 1986. *Depositional sedimentary environments with reference to terrigenous clastics*. Springer-Verlag, New-York. 551 p.

- Soulsby, R.L. 1983. The bottom boundary layer of shelf seas. In Johns B. (ed.) *Physical Oceanography of Coastal and Shelf Seas*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Chapter 5.
- Sundborg, A. 1967. *Some aspects of fluvial sediments and fluvial morphology. I General views and graphic methods*. Geogr. Ann. 49, 333 - 343.
- Tennekes H. et J. Lumley. 1972. *A first course in turbulence*. MIT Press.
- V. Chu et S. Barbarutsi. 1988. *Confinement and bed-friction effects in shallow rotating mixing layers*. J. Hydraulic Eng., 114, 1257-1274.

ANNEXE 1

Coordonnées géographiques des positions prévues des stations d'échantillonnage

Coordonnées géographiques des positions réelles des stations d'échantillonnage effectuées

Comparaison des coordonnées géographiques entre le positionnement prévu et réel

**Coordonnées géographiques des positions prévues
des stations d'échantillonnage (Datum : WGS-84)**

Station	Longitude	Latitude	Station	Longitude	Latitude
1	-73,49997	45,62366	48	-73,49911	45,62360
2	-73,50049	45,62355	49	-73,49825	45,62360
3	-73,50016	45,62342	50	-73,49964	45,62350
4	-73,50068	45,62331	51	-73,49878	45,62350
5	-73,49982	45,62329	52	-73,49792	45,62340
6	-73,50034	45,62318	53	-73,49930	45,62340
7	-73,50086	45,62307	54	-73,49844	45,62330
8	-73,50000	45,62305	55	-73,49896	45,62320
9	-73,50053	45,62295	56	-73,49810	45,62320
10	-73,49967	45,62290	57	-73,49948	45,62310
11	-73,50019	45,62280	58	-73,49862	45,62310
12	-73,49933	45,62270	59	-73,49914	45,62300
13	-73,49985	45,62260	60	-73,49828	45,62300
14	-73,49951	45,62250	61	-73,49881	45,62290
15	-73,50003	45,62240	62	-73,49847	45,62270
16	-73,49641	45,62590	63	-73,49899	45,62260
17	-73,49607	45,62580	64	-73,49865	45,62250
18	-73,49660	45,62570	65	-73,49850	45,62550
19	-73,49626	45,62560	66	-73,49816	45,62540
20	-73,49678	45,62550	67	-73,49868	45,62530
21	-73,49644	45,62530	68	-73,49835	45,62510
22	-73,49696	45,62520	69	-73,49887	45,62500
23	-73,49663	45,62510	70	-73,49853	45,62490
24	-73,49715	45,62500	71	-73,49905	45,62480
25	-73,49681	45,62490	72	-73,49957	45,62470
26	-73,49733	45,62480	73	-73,49871	45,62470
27	-73,49699	45,62460	74	-73,49924	45,62460
28	-73,49752	45,62450	75	-73,49712	45,62580
29	-73,49804	45,62440	76	-73,49724	45,62560
30	-73,49718	45,62440	77	-73,49702	45,62560
31	-73,49856	45,62430	78	-73,49737	45,62550
32	-73,49770	45,62430	79	-73,49772	45,62540
33	-73,49908	45,62420	80	-73,49714	45,62540
34	-73,49822	45,62420	81	-73,49749	45,62530
35	-73,49736	45,62410	82	-73,49784	45,62530
36	-73,49960	45,62410	83	-73,49726	45,62520
37	-73,49874	45,62410	84	-73,49761	45,62520
38	-73,49789	45,62400	85	-73,49796	45,62510
39	-73,49927	45,62400	86	-73,49739	45,62510
40	-73,49841	45,62390	87	-73,49774	45,62500

Station	Longitude	Latitude	Station	Longitude	Latitude
41	-73,49755	45,62390	88	-73,49808	45,62490
42	-73,49979	45,62380	89	-73,49751	45,62490
43	-73,49893	45,62380	90	-73,49786	45,62490
44	-73,49807	45,62380	91	-73,49821	45,62480
45	-73,49945	45,62370			
46	-73,49859	45,62370			
47	-73,49773	45,62370			

**Coordonnées géographiques des positions réelles
des stations d'échantillonnage effectuées**

Station SIG	Longitude	Longitude Écart type	Minimum	Maximum	Latitude	Latitude Écart type	Minimum	Maximum	N
1	-73,499825	0,1	-73,499826	-73,499824	45,623705	1,6	45,623694	45,623725	4
2	-73,500323	1,7	-73,500346	-73,500302	45,623522	2,1	45,623508	45,623543	3
3	-73,499666	7,8	-73,499752	-73,499486	45,623416	10,5	45,623254	45,623607	8
4	-73,500368	0,4	-73,500373	-73,500363	45,623243	1,8	45,623226	45,623259	3
5	-73,499415	1,8	-73,499439	-73,499387	45,623315	0,7	45,623307	45,623324	6
6	-73,500143	2,2	-73,500177	-73,500108	45,623117	0,5	45,623112	45,623123	4
7	-73,500725	1,8	-73,500758	-73,500706	45,623106	1,9	45,623090	45,623130	4
8	-73,499840	4,8	-73,499925	-73,499756	45,622950	1,4	45,622930	45,622962	5
9	-73,500572	1,3	-73,500593	-73,500548	45,622976	1,4	45,622961	45,622988	5
10	-73,499597	0,5	-73,499604	-73,499591	45,622810	3,1	45,622780	45,622835	3
11	-73,500214	4,0	-73,500300	-73,500168	45,622775	2,3	45,622741	45,622793	5
13	-73,499885	0,9	-73,499896	-73,499872	45,622660	0,4	45,622655	45,622665	5
15	-73,499932	0,3	-73,499935	-73,499926	45,622566	3,0	45,622534	45,622600	4
16	-73,496357	1,9	-73,496402	-73,496318	45,626002	1,2	45,625980	45,626023	46
18	-73,496577	2,3	-73,496645	-73,496533	45,625733	2,1	45,625700	45,625787	41
20	-73,496758	1,1	-73,496790	-73,496728	45,625520	1,2	45,625496	45,625541	38
21	-73,495627	28,3	-73,495861	-73,494770	45,625803	53,0	45,625434	45,626883	8
22	-73,496917	1,4	-73,496947	-73,496877	45,625306	1,7	45,625272	45,625333	41
23	-73,495945	10,4	-73,496145	-73,495669	45,625440	15,8	45,625129	45,625587	10
24	-73,497140	1,3	-73,497169	-73,497094	45,625063	0,9	45,625047	45,625077	41
27	-73,496377	15,7	-73,496462	-73,495842	45,624222	5,9	45,624083	45,624261	9
28	-73,497560	16,2	-73,498053	-73,497349	45,624141	9,0	45,624068	45,624288	8
29	-73,498126	4,9	-73,498300	-73,498038	45,624501	2,3	45,624457	45,624559	37
31	-73,498556	1,3	-73,498587	-73,498522	45,624300	1,1	45,624270	45,624318	49
32	-73,497590	3,5	-73,497673	-73,497514	45,624272	2,2	45,624231	45,624306	74
33	-73,499046	3,3	-73,499137	-73,498984	45,624113	5,8	45,624025	45,624208	51
34	-73,498113	4,5	-73,498181	-73,497979	45,624222	3,2	45,624166	45,624284	50
36	-73,499531	1,5	-73,499559	-73,499487	45,624071	3,8	45,623991	45,624158	47
37	-73,498769	3,7	-73,498860	-73,498695	45,624081	2,3	45,624036	45,624120	29
38	-73,497750	16,9	-73,497913	-73,497306	45,623614	19,5	45,623205	45,623887	9
39	-73,499223	2,5	-73,499302	-73,499144	45,623866	2,4	45,623839	45,623925	31
40	-73,498301	5,8	-73,498376	-73,498155	45,623968	3,4	45,623914	45,624019	35
42	-73,499669	7,8	-73,499808	-73,499526	45,623975	11,9	45,623768	45,624127	61
43	-73,498951	1,2	-73,498987	-73,498921	45,623842	3,1	45,623798	45,623903	55
44	-73,498055	1,8	-73,498108	-73,498007	45,623867	1,4	45,623841	45,623894	60
45	-73,499378	1,6	-73,499428	-73,499340	45,623764	2,4	45,623723	45,623814	25
46	-73,498615	1,6	-73,498686	-73,498564	45,623769	1,7	45,623736	45,623820	82
47	-73,497161	3,0	-73,497200	-73,497080	45,623756	2,2	45,623738	45,623796	7
48	-73,499014	1,3	-73,499054	-73,498978	45,623610	2,5	45,623566	45,623657	98
49	-73,498087	4,2	-73,498123	-73,497955	45,623445	6,5	45,623312	45,623547	10
50	-73,499678	1,1	-73,499715	-73,499664	45,623445	1,5	45,623427	45,623464	13
51	-73,498743	1,3	-73,498774	-73,498704	45,623513	4,0	45,623455	45,623595	41
53	-73,499325	2,7	-73,499381	-73,499265	45,623351	2,8	45,623286	45,623428	30
54	-73,498438	2,0	-73,498487	-73,498369	45,623383	1,9	45,623319	45,623436	47
55	-73,498980	1,0	-73,499017	-73,498960	45,623214	1,6	45,623194	45,623273	28
57	-73,499215	3,7	-73,499321	-73,499150	45,623249	11,3	45,623142	45,623500	11
58	-73,498295	1,0	-73,498318	-73,498283	45,623287	0,5	45,623280	45,623293	6
59	-73,499134	0,8	-73,499155	-73,499119	45,623060	1,4	45,623044	45,623080	20
60	-73,497888	17,1	-73,498176	-73,497586	45,623137	20,2	45,622912	45,623370	7
61	-73,498805	0,5	-73,498819	-73,498795	45,623006	1,7	45,622952	45,623027	44
64	-73,498553	9,1	-73,498627	-73,498272	45,622590	2,5	45,622545	45,622619	8
65	-73,498436	1,3	-73,498463	-73,498406	45,625464	1,4	45,625429	45,625488	33
66	-73,498162	1,0	-73,498200	-73,498144	45,625420	0,8	45,625410	45,625443	32
67	-73,498648	1,7	-73,498685	-73,498606	45,625350	1,7	45,625322	45,625379	28

Station SIG	Longitude	Longitude	Minimum	Maximum	Latitude	Latitude	Minimum	Maximum	N
68	-73,498379	0,5	-73,498391	-73,498367	45,625175	1,2	45,625151	45,625199	22
69	-73,498905	1,3	-73,498934	-73,498875	45,625086	3,0	45,625040	45,625125	33
70	-73,498498	1,7	-73,498535	-73,498437	45,624989	3,6	45,624917	45,625039	32
71	-73,499059	2,9	-73,499195	-73,498913	45,624817	2,9	45,624747	45,624871	59
72	-73,499331	1,3	-73,499371	-73,499306	45,624749	1,6	45,624719	45,624768	29
73	-73,498652	5,1	-73,498748	-73,498460	45,624763	9,5	45,624717	45,625178	28
74	-73,499217	3,3	-73,499337	-73,499074	45,624634	4,7	45,624562	45,624811	36
75	-73,497242	1,3	-73,497262	-73,497206	45,625768	1,9	45,625741	45,625813	25
76	-73,497281	0,7	-73,497293	-73,497262	45,625696	1,4	45,625671	45,625720	34
77	-73,497036	2,4	-73,497082	-73,496987	45,625572	1,8	45,625549	45,625612	35
78	-73,497343	1,8	-73,497400	-73,497313	45,625503	2,2	45,625483	45,625555	33
79	-73,497752	1,4	-73,497784	-73,497706	45,625440	0,8	45,625425	45,625454	33
80	-73,497131	0,8	-73,497155	-73,497116	45,625440	3,0	45,625413	45,625539	37
81	-73,497553	0,9	-73,497573	-73,497536	45,625367	2,8	45,625317	45,625411	42
82	-73,497854	1,5	-73,497886	-73,497822	45,625307	0,8	45,625292	45,625323	32
83	-73,497331	3,3	-73,497397	-73,497245	45,625315	3,1	45,625242	45,625380	31
84	-73,497635	1,6	-73,497661	-73,497579	45,625214	2,1	45,625159	45,625253	29
85	-73,497979	2,9	-73,498023	-73,497875	45,625141	1,1	45,625120	45,625163	31
86	-73,497402	1,2	-73,497426	-73,497372	45,625136	2,2	45,625082	45,625194	35
87	-73,497792	3,4	-73,497837	-73,497717	45,625013	3,7	45,624960	45,625066	27
88	-73,498057	4,5	-73,498185	-73,497911	45,624975	5,1	45,624838	45,625031	34
89	-73,497530	2,2	-73,497605	-73,497490	45,624976	2,0	45,624949	45,625007	34
90	-73,497896	1,2	-73,497934	-73,497856	45,624916	0,7	45,624906	45,624941	50
91	-73,498220	4,8	-73,498354	-73,498118	45,624832	9,3	45,624722	45,625017	35
100	-73,496808	1,4	-73,496834	-73,496771	45,625761	1,1	45,625747	45,625788	31
101	-73,497636	2,8	-73,497731	-73,497561	45,625146	2,6	45,625146	45,625263	104
102	-73,497399	1,9	-73,497459	-73,497345	45,625584	1,3	45,625561	45,625603	40
103	-73,496751	3,1	-73,496818	-73,496650	45,625935	1,7	45,625886	45,625955	47
104	-73,496814	1,7	-73,496873	-73,496754	45,625255	3,4	45,625146	45,625312	139
105	-73,498714	1,0	-73,498742	-73,498663	45,625009	2,5	45,624967	45,625101	111
106	-73,497259	1,7	-73,497296	-73,497210	45,624839	2,7	45,624777	45,624878	59
107	-73,499941	1,0	-73,499967	-73,499926	45,623676	0,7	45,623667	45,623687	14
108	-73,499808	1,0	-73,499835	-73,499786	45,623315	2,3	45,623289	45,623379	25
109	-73,498259	3,2	-73,498358	-73,498167	45,623591	3,2	45,623521	45,623676	124
110	-73,497859	2,8	-73,497926	-73,497778	45,624074	1,8	45,624036	45,624112	43
111	-73,495861				45,626000				
112	-73,496000				45,625778				
200	-73,496760				45,62593762				
201	-73,49906219				45,62412902				
202	-73,49953595				45,62407092				
203	-73,499756				45,623910				
300	-73,49607				45,62580				
301	-73,49644				45,62530				
302	-73,49681				45,62490				
303	-73,49718				45,62440				
304	-73,49755				45,62390				
400	-73,49945				45,62454				
401	-73,49907				45,62462				
402	-73,49865				45,62470				
403	-73,49825				45,62478				
404	-73,49787				45,62486				

Notes :

- 300 vecteur moyen calculé à partir des résultats des stations 64, 60, 47, 27, 38 mis en carte aux positions prévues des stations
- 21 stations dont les résultats ont été abandonnés parce que le S4 avait un angle trop prononcé, données non-représentatives
- 200 stations dont la coordonnée a été modifiée
- 400 stations du quai 103 à mi-profondeur

Comparaison des coordonnées géographiques entre le positionnement prévu et réel

Station	Positions prévues		Positions visitées		Différences absolues (m)	
	Coordonnée X	Coordonnée Y	Coordonnée X	Coordonnée Y	Coordonnée X	Coordonnée Y
1	304773	5053532	304785	5053537	12	5
2	304732	5053520	304746	5053517	13	3
3	304759	5053506	304797	5053505	38	0
4	304718	5053494	304742	5053486	24	8
5	304785	5053491	304816	5053494	32	3
6	304744	5053479	304760	5053472	15	7
7	304704	5053467	304714	5053471	11	3
8	304771	5053465	304783	5053453	13	11
9	304730	5053453	304726	5053456	4	3
10	304797	5053451	304802	5053438	5	13
11	304756	5053439	304754	5053434	2	5
12	304823	5053436				
13	304783	5053424	304780	5053421	3	3
14	304809	5053410				
15	304768	5053398	304776	5053411	8	13
16	305051	5053791	305055	5053793	4	2
17	305077	5053776				
18	305036	5053764	305038	5053763	1	1
19	305063	5053750				
20	305022	5053738	305024	5053739	2	1
21	305048	5053723	305112	5053770	64	47
22	305008	5053712	305011	5053715	4	4
23	305034	5053697	305087	5053730	53	33
24	304993	5053685	304994	5053688	1	3
25	305020	5053671				
26	304979	5053659				
27	305005	5053644	305053	5053595	48	50
28	304965	5053633	304961	5053586	3	47
29	304924	5053621	304917	5053626	7	5
30	304991	5053618				
31	304883	5053609	304883	5053603	0	5
32	304950	5053606	304959	5053600	9	6
33	304842	5053597	304845	5053583	3	14
34	304909	5053594	304918	5053595	9	1
35	304976	5053592				
36	304802	5053585	304807	5053578	6	7
37	304869	5053582	304867	5053579	2	3
38	304936	5053580	304946	5053527	11	53
39	304828	5053570	304831	5053555	3	15
40	304895	5053568	304903	5053567	8	1
41	304962	5053565				
42	304787	5053558	304797	5053567	9	9
43	304854	5053556	304853	5053553	2	3
44	304921	5053553	304923	5053555	1	2
45	304814	5053544	304819	5053544	6	0
46	304881	5053542	304879	5053544	2	3

Station	Positions prévues		Positions visitées		Différences absolues (m)	
	Coordonnée X	Coordonnée Y	Coordonnée X	Coordonnée Y	Coordonnée X	Coordonnée Y
47	304948	5053539	304992	5053543	44	4
48	304840	5053530	304848	5053527	8	3
49	304907	5053527	304920	5053508	13	19
50	304799	5053518	304796	5053508	3	9
51	304866	5053515	304869	5053516	3	1
52	304933	5053513				
53	304826	5053503	304823	5053498	2	5
54	304893	5053501	304893	5053502	0	1
55	304852	5053489	304850	5053483	2	6
56	304919	5053486				
57	304811	5053477	304832	5053487	21	10
58	304878	5053474	304904	5053491	25	16
59	304838	5053463	304838	5053466	1	3
60	304905	5053460	304936	5053474	31	14
61	304864	5053448	304864	5053460	0	12
62	304890	5053434				
63	304850	5053422				
64	304876	5053407	304884	5053413	8	6
65	304888	5053743	304893	5053733	5	10
66	304914	5053728	304914	5053728	0	0
67	304874	5053716	304876	5053720	3	4
68	304900	5053702	304897	5053701	3	1
69	304859	5053690	304856	5053691	3	1
70	304885	5053676	304888	5053680	2	4
71	304845	5053664	304844	5053661	1	3
72	304804	5053652	304823	5053653	19	2
73	304871	5053649	304876	5053655	5	6
74	304830	5053637	304832	5053641	1	3
75	304995	5053775	304986	5053767	9	8
76	304986	5053757	304983	5053759	3	1
77	305003	5053748	305002	5053745	1	3
78	304976	5053740	304978	5053737	2	3
79	304949	5053732	304946	5053730	3	2
80	304994	5053730	304995	5053730	1	0
81	304967	5053722	304962	5053722	5	0
82	304939	5053714	304938	5053715	1	1
83	304984	5053713	304979	5053716	5	4
84	304957	5053705	304955	5053705	2	0
85	304930	5053697	304928	5053697	1	0
86	304975	5053695	304973	5053696	1	1
87	304947	5053687	304943	5053683	4	5
88	304920	5053679	304922	5053678	2	1
89	304965	5053678	304963	5053679	2	1
90	304938	5053670	304935	5053672	3	2
91	304911	5053662	304910	5053663	1	1

ANNEXE 2

Données courantométriques compilées

Niveau : surface

Niveau : 5 m

Station	Longitude WGS-84	Latitude WGS-84	Direction moyenne	Direction Écart type	Vitesse moyenne	Vitesse minimum	Vitesse Maximum	Écart-type	Coeff. variation	Facteur d'accélération	Direction moyenne	Direction Écart type	Vitesse moyenne	Vitesse minimum	Vitesse Maximum	Écart-type	Coeff. variation	Facteur d'accélération
<i>Baie sud</i>																		
1	-73,499825	45,623705	219	45	35	4	84	18	53	2								
2	-73,500323	45,623522	303	93	107	7	402	89	83	4								
3	-73,499666	45,623416	189	57	32	3	112	20	61	3								
4	-73,500368	45,623243	308	108	52	2	202	46	88	4								
5	-73,499415	45,623315	201	33	39	1	80	18	46	2	147	71	37	0	97	20	55	3
6	-73,500143	45,623117	313	115	25	2	61	12	50	2								
7	-73,500725	45,623106	241	74	40	2	217	32	81	5								
8	-73,499840	45,622950	153	71	23	3	61	14	59	3	126	63	36	1	91	20	56	3
9	-73,500572	45,622976	208	79	19	1	48	10	53	3								
10	-73,499597	45,622810	212	70	20	1	56	11	56	3	150	68	24	0	68	14	59	3
11	-73,500214	45,622775	106	77	25	1	73	17	69	3								
13	-73,499885	45,622660	151	56	25	4	64	15	58	3								
15	-73,499932	45,622566	265	71	26	2	69	15	57	3								
27	-73,496377	45,624222	47	11	123	70	165	20	17	1	54	12	117	55	182	25	22	2
28	-73,497560	45,624141	49	49	108	37	165	22	20	2	53	14	101	59	148	18	18	1
29	-73,498126	45,624501	338	130	39	1	82	17	43	2	345	140	37	4	95	18	49	3
31	-73,498556	45,624300	281	69	37	13	142	18	47	4	351	142	42	3	96	18	42	2
32	-73,497590	45,624272	26	93	72	44	120	13	18	2	50	25	85	28	141	25	29	2
33	-73,499046	45,624113	277	54	33	3	81	19	55	2	280	42	40	1	110	21	52	3
34	-73,498113	45,624222	18	102	42	5	103	21	50	2	0	140	37	4	147	20	54	4
36	-73,499531	45,624071	202	97	17	1	59	11	61	3	233	70	37	2	90	20	55	2
37	-73,498769	45,624081	260	58	30	4	68	14	49	2	254	54	35	8	335	33	96	10
39	-73,499223	45,623866	156	87	27	0	83	16	59	3	250	72	27	1	92	16	59	3
40	-73,498301	45,623968	347	139	33	3	73	15	44	2	2	148	38	9	97	17	44	3
42	-73,499669	45,623975	220	46	37	3	86	18	49	2								
43	-73,498951	45,623842	289	112	27	2	73	16	61	3	310	110	25	1	79	14	56	3
44	-73,498055	45,623867	45	39	69	6	132	24	35	2	80	36	58	1	112	25	44	2
45	-73,499378	45,623764	211	27	44	13	97	18	40	2	194	24	43	12	77	15	35	2
46	-73,498615	45,623769	55	73	27	11	46	7	24	2	60	26	32	14	67	10	31	2
48	-73,499014	45,623610	105	48	38	2	114	20	52	3	146	31	45	8	109	22	49	2
49	-73,498087	45,623445	55	13	112	69	169	19	17	2	53	13	113	69	196	25	22	2
50	-73,499678	45,623445	192	44	28	2	74	15	54	3								
51	-73,498743	45,623513	70	31	44	4	117	19	43	3	92	30	39	10	95	18	48	2
53	-73,499325	45,623351	145	36	47	12	107	17	36	2	141	27	48	4	96	21	43	2
54	-73,498438	45,623383	32	79	60	7	110	22	37	2	67	67	55	8	115	24	44	2
55	-73,498980	45,623214	201	77	27	1	104	18	64	4	121	33	39	7	97	18	45	2
57	-73,499215	45,623249	131	37	41	8	103	17	42	3	128	36	40	10	97	19	48	2
58	-73,498295	45,623287	51	53	107	32	181	23	22	2	61	12	113	54	173	25	22	2
59	-73,499134	45,623060	115	88	28	3	83	17	60	3	82	82	27	2	77	15	55	3
61	-73,498805	45,623006	76	92	149	8	494	109	74	3	55	91	83	6	226	41	49	3
107	-73,499941	45,623676	25	127	38	1	179	27	69	5								
108	-73,499808	45,623315	350	118	57	0	333	48	85	6								
109	-73,498259	45,623591	76	61	48	5	141	21	43	3	34	120	45	2	123	21	47	3
110	-73,497859	45,624074	30	104	71	2	209	35	49	3	30	99	50	3	110	21	43	2

Station	Niveau : surface							Niveau : 5 m										
	Longitude WGS-84	Latitude WGS-84	Direction moyenne	Direction Écart type	Vitesse moyenne	Vitesse minimum	Vitesse Maximum	Écart-type	Coeff. ¹ variation	Facteur d'accélération	Direction moyenne	Direction Écart type	Vitesse moyenne	Vitesse minimum	Vitesse Maximum	Écart-type	Coeff. variation	Facteur d'accélération
<i>Baie nord</i>																		
16	-73,496357	45,626002	17	129	11	0	37	7	62	3	76	91	10	1	33	5	52	3
18	-73,496577	45,625733	71	99	9	0	18	4	44	2	43	111	8	0	24	5	66	3
20	-73,496758	45,625520	77	94	6	0	13	3	47	2	276	102	9	0	31	6	62	3
22	-73,496917	45,625306	50	115	10	1	21	5	52	2	92	102	12	1	28	6	49	2
24	-73,497140	45,625063	101	79	13	1	33	6	50	3	198	98	13	1	29	6	46	2
65	-73,498436	45,625464	55	82	12	1	42	8	70	4	111	92	8	1	29	4	52	4
66	-73,498162	45,625420	42	116	9	0	24	4	46	3	97	98	9	1	24	5	55	3
67	-73,498648	45,625350	336	114	10	1	34	6	57	3	58	109	12	0	37	7	60	3
68	-73,498379	45,625175	60	62	22	1	57	12	55	3	353	152	22	1	50	11	51	2
69	-73,498905	45,625086	352	135	6	0	18	4	61	3	226	85	11	0	38	6	59	4
70	-73,498498	45,624989	112	101	17	1	43	9	56	3	37	111	16	0	52	10	63	3
71	-73,499059	45,624817	287	111	7	0	26	5	73	4	244	91	8	0	27	5	67	3
72	-73,499331	45,624749	350	145	23	4	56	10	43	2	165	75	14	1	38	9	64	3
73	-73,498652	45,624763	78	106	12	1	22	5	42	2	336	106	21	1	44	11	54	2
74	-73,499217	45,624634	222	101	17	1	53	11	63	3	202		18					
75	-73,497242	45,625768	230	97	14	1	64	12	85	5								
76	-73,497281	45,625696	302	117	9	0	52	7	86	6	193	83	14	0	66	16	116	5
77	-73,497036	45,625572	16	134	10	1	161	14	142	17	302	103	8	0	22	4	51	3
78	-73,497343	45,625503	41	102	8	0	35	6	69	4	47	107	11	1	46	8	74	4
79	-73,497752	45,625440	17	113	10	0	40	7	65	4	164	80	11	1	33	6	59	3
80	-73,497131	45,625440	101	90	6	0	17	4	55	3	358	113	9	1	19	4	47	2
81	-73,497553	45,625367	206	67	7	0	25	5	65	3	146	89	9	0	32	5	55	4
82	-73,497854	45,625307	183	91	7	0	22	5	64	3	358	129	9	1	25	4	48	3
83	-73,497331	45,625315	37	111	10	0	33	6	59	3	235	65	11	0	29	5	45	3
84	-73,497635	45,625214	11	127	14	0	44	8	57	3	218	90	13	0	53	10	77	4
85	-73,497979	45,625141	197	74	14	0	63	10	73	5	49	90	16	2	54	10	64	3
86	-73,497402	45,625136	168	58	14	1	38	9	63	3	296	103	9	1	22	4	51	3
87	-73,497792	45,625013	193	35	18	1	70	14	76	4	19	120	13	0	48	9	72	4
88	-73,498057	45,624975	256	92	6	0	20	4	70	3	24	110	12	0	55	11	92	5
89	-73,497530	45,624976	25	111	14	0	68	12	82	5	346	115	11	1	42	8	76	4
90	-73,497896	45,624916	115	75	10	0	280	24	238	28	170	37	14	1	62	11	77	4
91	-73,498220	45,624832	183	76	7	1	16	3	46	2	110	93	10	1	29	5	57	3
100	-73,496808	45,625761	223	98	11	0	299	27	259	28	121	92	6	0	18	3	55	3
101	-73,497636	45,625146	84	98	7	0	21	4	51	3	160	70	17	1	60	10	58	4
102	-73,497399	45,625584	179	94	11	1	41	7	66	4	158	34	9	1	21	4	45	2
103	-73,496751	45,625935	116	96	5	0	42	4	78	8	113	94	5	0	17	3	69	4
104	-73,496814	45,625255	80	88	23	1	58	12	53	3	9	141	16	3	34	7	45	2
105	-73,498714	45,625009	3	132	10	0	37	6	63	4	204	75	12	0	37	7	56	3
106	-73,497259	45,624839	33	123	25	3	129	20	82	5	56	75	18	0	63	10	60	4
400											358		26					
401											203		15					
402											216		8					
403											155		9					
404											21		20					

Niveau : surface

Niveau : 5 m

Station	Longitude		Latitude		Direction		Vitesse		Écart-type	Coeff. variation	Facteur d'accélération	Direction		Vitesse		Écart-type	Coeff. variation	Facteur d'accélération
	WGS-84	WGS-84	WGS-84	WGS-84	moyenne	Écart type	moyenne	minimum				Maximum	moyenne	Écart type	moyenne			
<i>Fleuve</i>																		
38	-73,497750	45,623614	57	14	118	73	167	21	18	1	53	14	101	64	170	21	20	2
47	-73,497161	45,623756	40	48	116	58	196	21	18	2	55	11	115	68	168	23	20	1
60	-73,497888	45,623137	49	13	108	36	167	27	25	2	61	9	125	63	172	23	18	1
64	-73,498553	45,622590	48	26	110	18	227	35	32	2	61	13	104	54	157	20	19	2
300	-73,496070	45,625800	49		113						57		113					
301	-73,496440	45,625300	49		113						57		113					
302	-73,496810	45,624900	49		113						57		113					
303	-73,497180	45,624400	49		113						57		113					
304	-73,497550	45,623900	49		113						57		113					
305	-73,498620	45,623100	57		118						53		101					
306	-73,498280	45,623000	49		108						61		125					
307	-73,498650	45,622500	48		110						61		104					

Niveau : 10 m

Niveau : fond

Station	Direction moyenne	Direction Écart type	Vitesse moyenne	Vitesse minimum	Vitesse Maximum	Écart-type	Coeff. variation	Facteur d'accélération	Direction moyenne	Direction Écart type	Vitesse moyenne	Vitesse minimum	Vitesse Maximum	Écart-type	Coeff. variation	Facteur d'accélération	IO (Newton/cm2)	q (d=0.03mm)
<i>Baie sud</i>																		
1									219	45	35	4	84	18	53	2	2,64	0,545
2									303	93	107	7	402	89	83	4	25,16	5,187
3									189	57	32	3	112	20	61	3	2,29	0,472
4									308	108	52	2	202	46	88	4	5,85	1,206
5									182	79	25	0	77	17	68	3	1,40	0,288
6									313	115	25	2	61	12	50	2	1,35	0,279
7									241	74	40	2	217	32	81	5	3,45	0,712
8									126	63	36	1	91	20	56	3	2,85	0,587
9									207	80	20	1	58	13	61	3	0,92	0,190
10									254	77	29	3	124	17	59	4	1,86	0,384
11									130	79	30	2	115	20	67	4	1,94	0,399
13									106	76	28	2	71	18	63	3	1,69	0,349
15									262	79	25	3	71	13	53	3	1,41	0,290
27	60	13	104	35	166	24	23	2	60	14	94	43	138	23	24	1	19,34	3,987
28	62	13	98	39	160	23	23	2										
29	275	61	37	1	98	21	56	3	273	76	28	0	80	17	60	3	1,70	0,350
31	276	43	38	1	90	19	50	2	291	87	38	3	96	20	51	3	3,22	0,663
32	63	17	73	6	152	25	35	2	54	26	51	23	97	15	30	2	5,80	1,195
33	254	44	37	1	79	18	49	2	258	60	34	1	84	18	54	2	2,60	0,536
34	21	115	43	4	120	24	56	3	40	89	38	1	102	22	58	3	3,18	0,655
36	209	62	30	1	86	18	60	3	211	57	31	1	94	19	62	3	2,08	0,429
37	258	79	25	2	65	14	58	3	247	54	40	5	105	22	54	3	3,53	0,729
39	175	33	38	5	94	20	53	2	201	37	37	6	88	18	49	2	3,01	0,620
40	48	115	43	1	118	25	59	3	49	74	55	7	263	27	49	5	6,56	1,352
42									192	74	19	3	64	10	51	3	0,80	0,165
43	273	94	30	1	76	17	59	3	219	72	22	1	74	13	59	3	1,05	0,217
44	70	25	60	11	106	19	33	2	68	49	57	5	120	21	37	2	7,08	1,460
45	172	29	45	14	84	15	34	2	220	43	35	6	90	19	53	3	2,74	0,564
46	67	26	31	9	72	12	39	2	89	47	50	8	215	29	59	4	5,43	1,120
48	144	22	46	7	105	23	51	2	144	22	46	7	105	23	51	2	4,72	0,973
49	63	12	112	57	175	24	21	2										
50									192	44	28	2	74	15	54	3	1,77	0,366
51	109	43	42	2	116	25	59	3	105	28	43	4	89	21	48	2	4,11	0,846
53									162	63	34	2	90	21	62	3	2,58	0,533
54	62	28	67	28	114	17	25	2	62	13	95	34	166	27	29	2	19,82	4,085
55	133	53	43	3	109	23	54	3	124	65	31	1	95	19	60	3	2,14	0,442
57									138	60	44	2	108	25	57	2	4,29	0,884
58	65	13	98	41	166	24	25	2										
59									114	42	36	3	98	18	51	3	2,85	0,587
61	58	56	81	6	185	33	40	2	54	87	71	9	282	41	58	4	11,22	2,313
107									25	127	38	1	179	27	69	5	3,25	0,669
108									350	118	57	0	333	48	85	6	7,07	1,457
109	28	115	42	2	111	24	57	3	34	100	45	1	107	23	52	2	4,42	0,910
110	33	101	41	1	112	26	64	3	25	119	47	5	128	24	50	3	4,92	1,013

ANNEXE 3

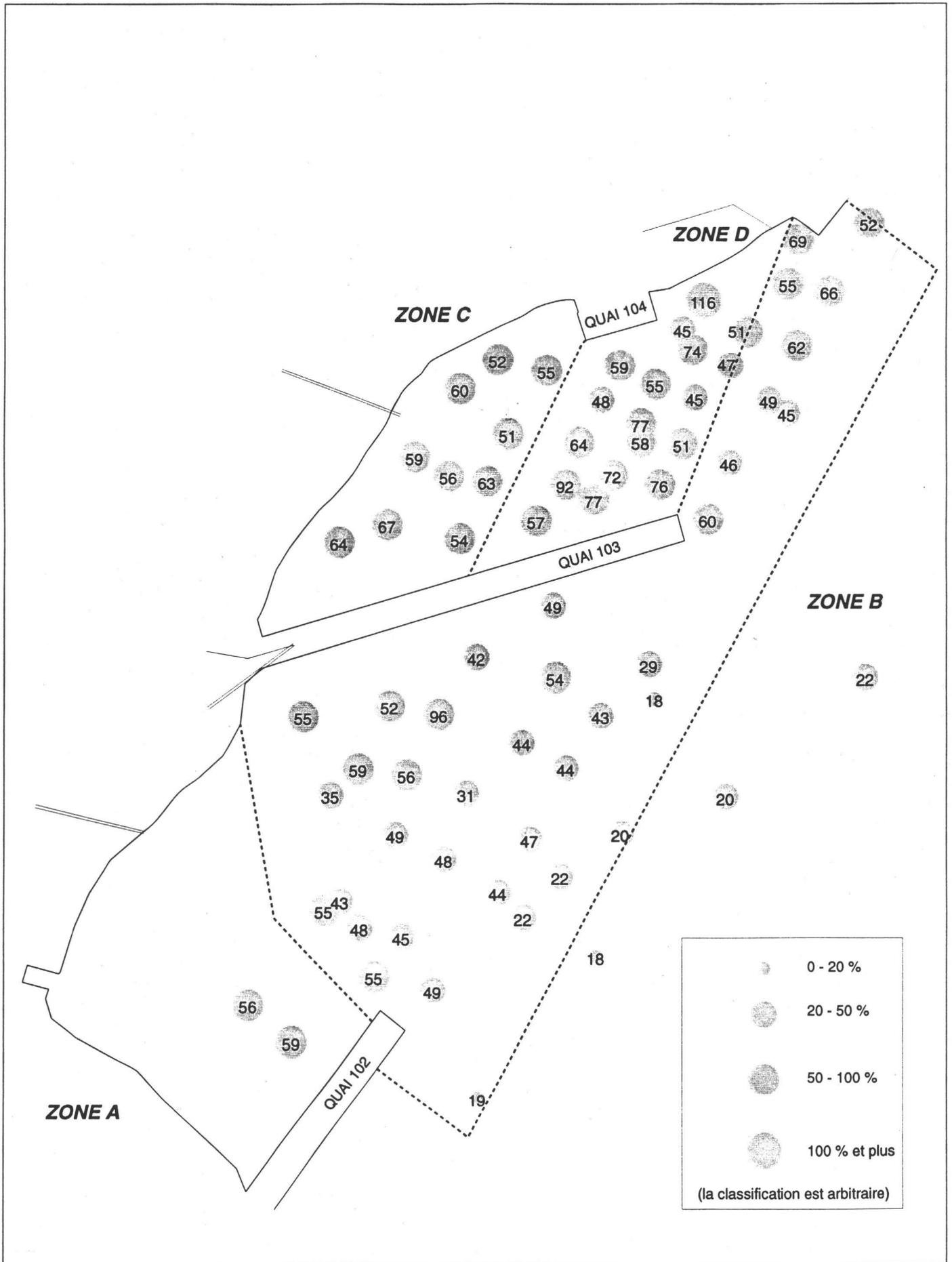
**Données courantométriques compilées
des stations de profilage**

Données courantométriques compilées des stations de profilage

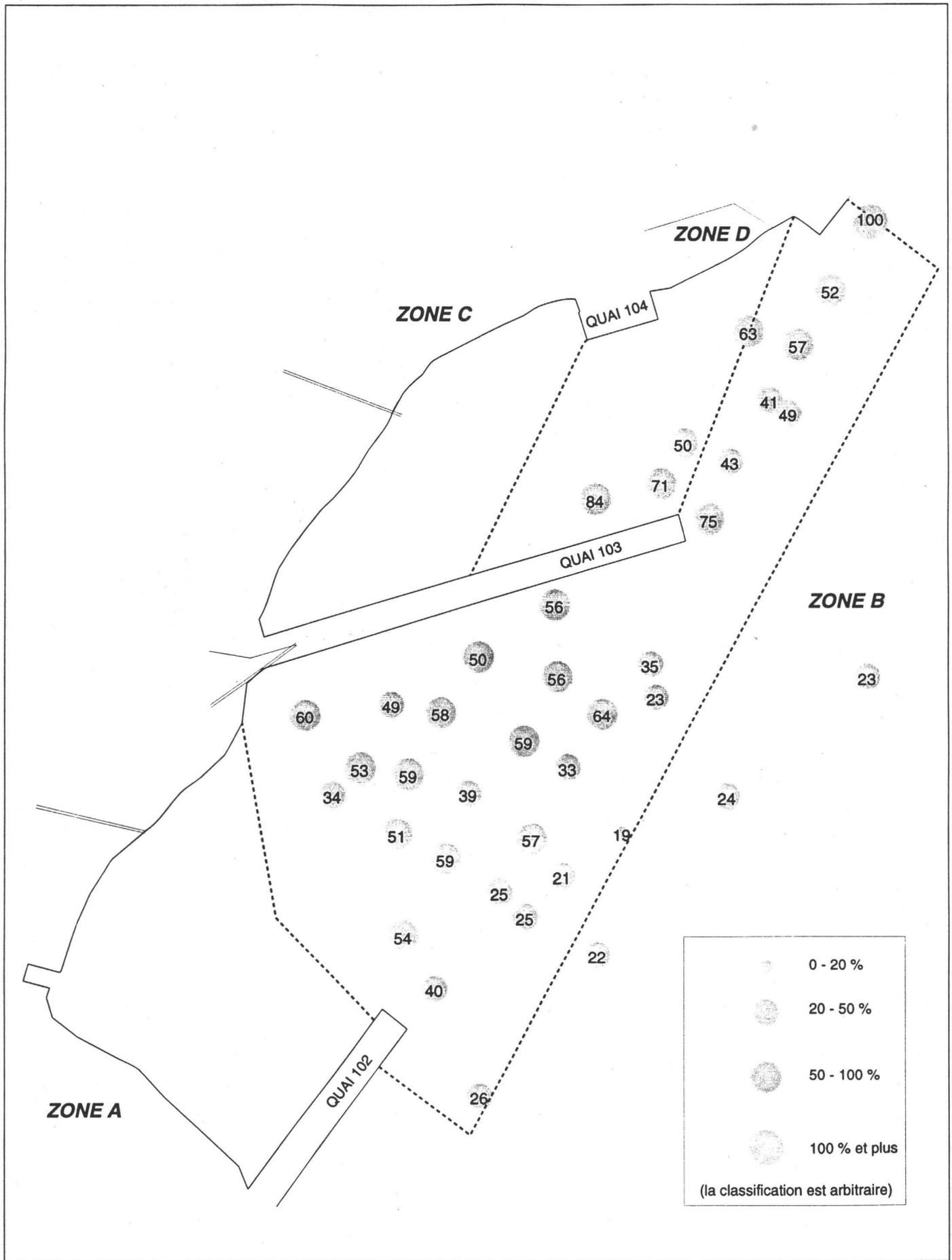
Station	Niveau	Vn	S	Vn	Vn	Coef.var	Ve	S	Ve	Ve	Coef.var	Profondeur (m)	Vitesse (cm/sec)
		moyenne (cm/sec)		minimum (cm/sec)	maximum (cm/sec)	%	moyenne (cm/sec)		minimum (cm/sec)	maximum (cm/sec)	%		
104	1	1,76	20,82	-56,20	54,80	1181,91	9,54	12,17	-30,40	46,80	127,64	1,86	9,70
	2	10,16	21,04	-41,80	73,80	207,04	11,59	10,76	-16,00	45,60	92,88	2,71	15,41
	3	17,10	11,65	-17,60	58,60	68,15	4,13	10,19	-20,80	36,20	247,00	3,84	17,59
	4	10,64	10,86	-14,60	50,20	102,09	0,05	10,21	-20,00	25,60	21511,66	4,92	10,64
	5	6,62	8,93	-20,20	50,20	134,96	2,94	9,20	-17,00	32,60	312,91	5,72	7,24
	6	11,37	7,27	30,00	-5,60	63,94	2,07	11,24	27,80	-23,60	544,12	6,77	11,55
	7	11,15	7,39	-8,80	34,20	66,31	0,63	11,68	-31,40	25,40	1865,06	7,70	11,17
	8	7,95	4,92	-4,00	21,80	61,94	-0,52	10,44	-26,00	35,00	-2018,07	8,74	7,96
	9	6,49	5,08	-5,40	22,00	78,23	3,38	11,84	-21,80	31,60	349,92	9,77	7,32
	10	5,34	5,53	-6,60	19,20	103,40	3,30	12,54	-33,00	33,80	379,39	10,76	6,28
	11	5,38	5,59	-6,40	25,20	103,95	-0,53	12,66	-28,00	27,80	-2378,17	11,70	5,41
	12	4,87	6,19	-13,00	26,40	127,03	0,65	11,75	-25,80	28,00	1818,12	12,44	4,92
105	1	5,38	7,65	-30,80	22,40	142,41	0,28	7,34	-14,80	29,00	2642,58	1,95	5,38
	2	-5,19	6,53	-23,60	11,80	-125,90	-4,85	8,11	-35,80	15,80	-166,96	2,78	7,10
	3	5,47	8,52	-17,20	41,60	155,67	0,41	8,96	-25,40	31,80	2209,53	3,81	5,49
	4	9,99	13,80	-11,00	64,20	138,19	8,29	10,65	-23,20	31,40	128,46	4,80	12,98
	5	1,26	10,49	-27,40	37,00	829,06	-3,54	10,08	-39,40	36,00	-284,90	5,79	3,76
	6	-6,06	8,88	-36,00	25,40	-146,64	-2,71	7,55	-31,20	16,00	-278,07	6,72	6,64
	7	-2,17	9,97	-32,20	30,00	-458,41	-6,60	10,27	-49,40	27,00	-155,75	7,83	6,95
	8	-5,13	8,58	-31,80	20,20	-167,41	-4,35	8,37	-35,80	26,40	-192,30	8,58	6,72
101	1	0,05	4,78	-11,00	18,00	10375,27	2,04	6,21	-13,40	17,40	304,05	1,74	2,04
	2	-4,70	18,99	-85,40	55,60	-404,38	-4,48	11,55	-35,20	23,80	-258,11	2,77	6,49
	3	1,26	10,80	-45,00	35,80	854,26	-1,46	7,38	-15,00	17,80	-503,85	3,76	1,93
	4	-2,55	11,08	-41,40	29,80	-433,99	-1,77	9,36	-26,20	24,00	-529,59	4,70	3,11
	5	-8,23	11,29	-41,40	11,00	-137,06	3,48	7,73	-17,00	20,80	222,07	5,71	8,94
	6	-9,87	12,28	-59,80	13,40	-124,37	3,58	11,15	-19,20	25,20	311,18	6,74	10,50
	7	-1,51	8,25	-31,00	20,60	-545,56	-2,93	7,65	-16,20	16,80	-261,49	7,68	3,29
	8	-6,89	10,42	-46,80	9,80	-151,23	0,22	8,00	-19,00	17,00	3613,80	8,74	6,90
	9	-7,59	13,60	-58,60	14,60	-179,27	2,14	10,27	-19,80	29,40	479,84	9,74	7,88
	10	-2,53	11,34	-39,40	27,00	-448,24	-2,68	9,49	-25,80	20,80	-353,88	9,91	3,69
108	1	12,75	57,27	-211,80	192,20	449,07	-1,67	26,55	-86,20	130,40	-1593,15	1,85	12,86
48	1	-9,96	18,02	-66,40	24,60	-180,98	35,11	19,47	-9,00	92,40	55,47	1,69	36,49
	2	-1,99	20,78	-51,00	50,00	-1044,60	22,90	17,25	-27,60	71,40	75,32	2,87	22,98
	3	5,02	11,20	-27,40	32,20	223,23	8,39	21,73	-49,00	64,40	258,89	3,78	9,78
	4	-30,30	18,09	-85,20	12,00	-59,72	14,28	18,63	-25,40	76,40	130,49	4,80	33,49
	5	-30,06	24,13	-106,00	27,40	-80,29	14,10	15,60	-11,20	55,40	110,65	5,77	33,20
	6	-35,99	18,12	-94,20	12,20	-50,34	24,64	17,37	-14,60	68,20	70,49	6,82	43,62
	7	-34,61	18,60	-81,40	8,80	-53,75	24,31	17,10	-15,20	67,40	70,35	7,80	42,29
	8	-36,40	20,98	-89,80	13,40	-57,64	22,07	16,15	-10,20	68,00	73,16	8,84	42,56
	9	-38,20	19,64	-85,80	8,60	-51,42	24,92	16,91	-19,40	67,20	67,86	9,79	45,61
	10	-38,80	23,97	-98,40	47,00	-61,78	21,82	17,93	-31,80	83,20	82,15	10,86	44,51
	11	-36,50	21,23	-101,80	10,80	-58,17	26,46	14,61	-7,80	72,40	55,20	11,62	45,08
	12												
109	1	9,51	28,71	-90,40	102,40	301,99	36,47	22,25	-15,20	108,40	60,99	1,98	37,69
	2	15,21	29,36	-71,20	98,00	193,08	49,49	19,53	-6,00	120,40	39,46	2,83	51,77
	3	10,24	25,99	-58,20	88,60	253,84	25,07	15,92	-13,60	69,40	63,50	3,81	27,08
	4	63,27	33,01	-23,20	130,40	52,18	41,38	24,65	-25,80	97,40	59,58	4,75	75,60
	5	54,34	28,46	-27,60	123,20	52,37	38,28	22,06	-25,00	99,40	57,61	5,73	66,47
	6	29,86	21,83	-44,60	79,60	73,10	20,46	26,50	-37,60	93,60	129,52	6,88	36,19
	7	30,20	19,47	-13,20	98,20	64,46	15,20	24,17	-68,20	91,00	159,01	7,73	33,81
	8	48,03	22,61	-30,20	95,60	47,08	16,41	23,30	-38,60	73,40	141,95	8,78	50,76
	9	36,14	26,75	-29,40	117,80	74,04	26,25	19,15	-12,20	91,20	72,98	9,81	44,66
	10	40,35	26,10	-17,80	125,60	64,69	31,97	21,55	-27,00	86,40	67,40	10,69	51,48
	11	32,98	24,55	-28,20	96,40	74,44	18,36	19,57	-24,20	73,40	106,60	11,68	37,75
	12	32,12	25,95	-32,00	93,00	80,81	21,48	20,48	-30,20	80,00	95,36	12,40	38,64

ANNEXE 4

Annexes cartographiques



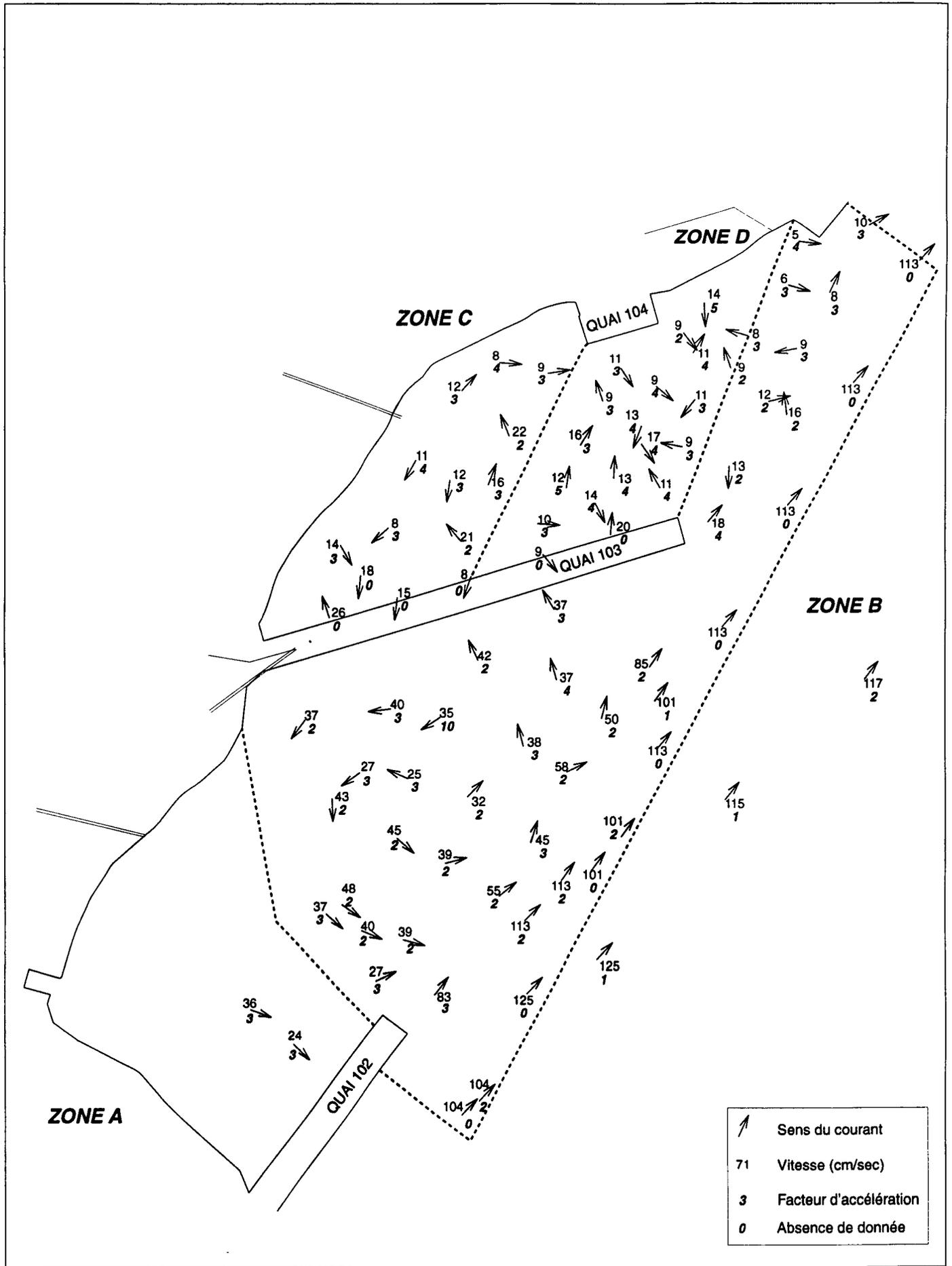
Répartition spatiale du coefficient de variation des vitesses de courant à 5 m de profondeur



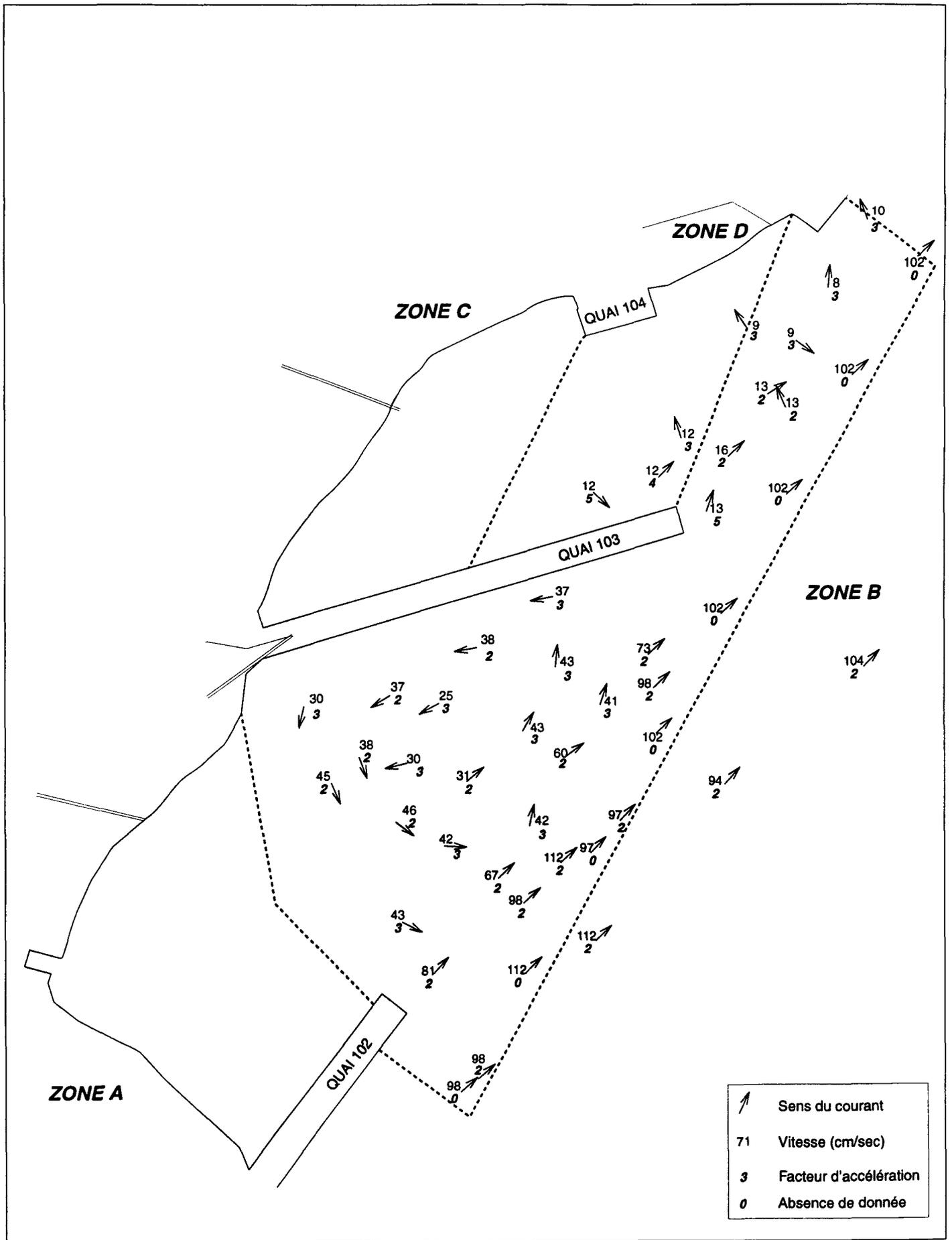
Répartition spatiale du coefficient de variation des vitesses de courant à 10 m de profondeur



Répartition spatiale du facteur d'accélération à la surface (la classification est arbitraire)



Répartition spatiale du facteur d'accélération et de la vitesse moyenne du courant à 5 m de profondeur G. M. 22070327.fh5



Répartition spatiale du facteur d'accélération et de la vitesse moyenne du courant à 10 m de profondeur

ANNEXE 5

Fichiers informatiques

(fournis au délégué scientifique du projet)

Numéro de projet : 2207 Responsable : Stéphane Lorrain Numéro de répertoire : Prod*/SES/2207/220703-*/* Numéro de série de la cartouche : _____

 Numéro d'autorisation : 03 Date d'archivage : _____ Nom du projet : Courant - Port de Montréal Signature : _____

EN COURS DE RÉALISATION							ARCHIVAGE	
Nom du fichier	Date de création	Numéro d'employé	Nom du fichier d'origine	Description	Date de destruction	Numéro d'employé	Nom final du fichier	Commentaire
22070301.doc	8-05-97	365	Word 6.0/95	Rapport final				
22070301.xls	8-05-97	365	Excel 5.0/95	Annexe 1 Plan d'échantillonnage prévu				
22070302.xls	8-05-97	365	Excel 5.0/95	Annexe 1 Plan d'échantillonnage réalisé				
22070303.xls	8-05-97	365	Excel 5.0/95	Annexe 1 Comparaison des plans d'échantillonnage				
22070304.xls	8-05-97	365	Excel 5.0/95	Annexe 2 Données courantométriques compilées				
22070305.xls	8-05-97	365	Excel 5.0/95	Annexe 3 Données courantométrique Profilage				
22070306.fh5	31-03-1997	146 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Équipement électronique utilisé (Figure photocopiée)				
22070307.fh5	31-03-1997	146 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Zone de cisaillement libre—baie nord secteur quai 103				
22070308.fh5	31-03-1997	146 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Séquence photographique—baie nord sous le quai 103				
22070315.fh5	31-03-1997	107 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Graphique Sundborg				
22070320.fh5	07-02-1997	107	Free Hand 5.5/Mac	Accélération surface				
22070321.fh5	31-03-1997	107 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Accélération près du fond				
22070322.fh5	31-03-1997	107 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Coefficient variation des vitesses de courant surface				
22070323.fh5	31-03-1997	107 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Coefficient variation des vitesses de courant 5 m				
22070324.fh5	31-03-1997	107 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Coefficient variation des vitesses de courant 10 m				
22070325.fh5	31-03-1997	107 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Coefficient variation des vitesses de courant près du fond				
22070326.fh5	31-03-1997	107 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Vitesses + facteurs d'accélération surface				
22070327.fh5	31-03-1997	107 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Vitesses + facteurs d'accélération 5 m				
22070328.fh5	31-03-1997	107 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Vitesses + facteurs d'accélération 10 m				
22070329.fh5	31-03-1997	107 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Vitesses + facteurs d'accélération fond				
22070330.fh5	31-03-1997	107 + 365	Free Hand 5.5/Mac	Classification des vitesses près du fond				
22070337.fh5	31-03-1997	365	Free Hand 5.5/Mac	Vecteur de courant baies sud & nord surface				
22070338.fh5	31-03-1997	365	Free Hand 5.5/Mac	Vecteur de courant baies sud & nord 5 m				

22070339.fh5	31-03-1997	365	Free Hand 5.5/Mac	Vecteur de courant baies sud & nord 10 m				
22070340.fh5	31-03-1997	365	Free Hand 5.5/Mac	Plan de localisation de la zone d'étude				
22070341.fh5	31-03-1997	365	Free Hand 5.5/Mac	Plan d'échantillonnage prévu				
22070342.fh5	31-03-1997	365	Free Hand 5.5/Mac	Plan d'échantillonnage réalisé				
22070343.fh5	31-03-1997	365	Free Hand 5.5/Mac	Comparaison des plans d'échantillonnage				
22070344.fh5	31-03-1997	365	Free Hand 5.5/Mac	Schéma du patron de circulation surface				
22070345.fh5	31-03-1997	365	Free Hand 5.5/Mac	Schéma du patron de circulation 5 m				
22070346.fh5	31-03-1997	365	Free Hand 5.5/Mac	Schéma du patron de circulation 10 m				
22070347.fh5	30-04-1997	365	Free Hand 5.5/Mac	Graphique Shields vs granulométrie				

