



environnement illimité inc.
consultants en écologie et environnement

Dossier technique
7918-14/8-3

**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.

243140

SC0702
L67e
Rapport
final

Mai 1997

#8394 CSL-6695 546e

SC0702 L61e

Rapport final

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Délégué scientifique :

M. Caroll 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

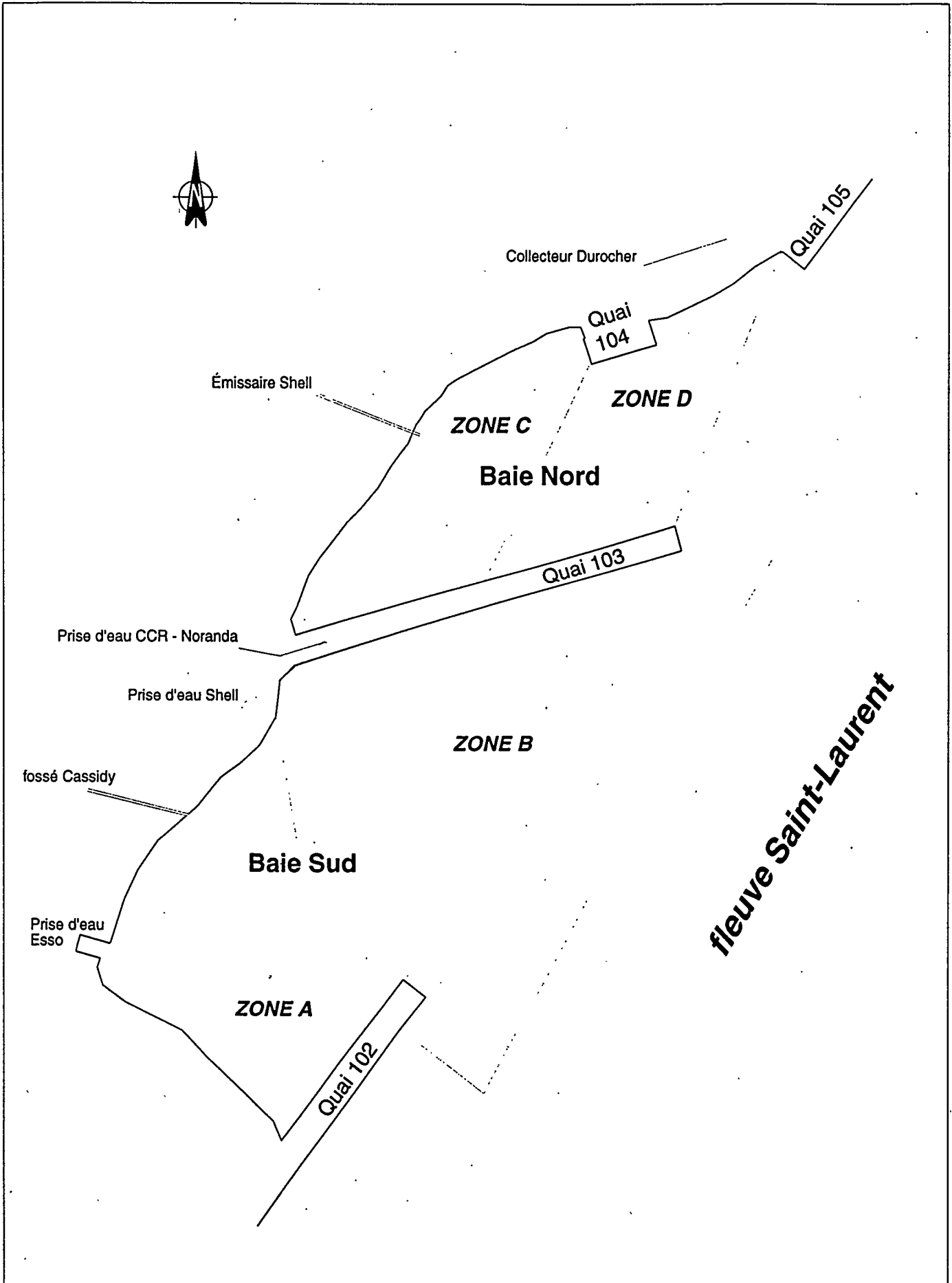


Figure 1 : Plan de localisation de la zone d'étude - secteur 103 de la zone portuaire de Montréal

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.

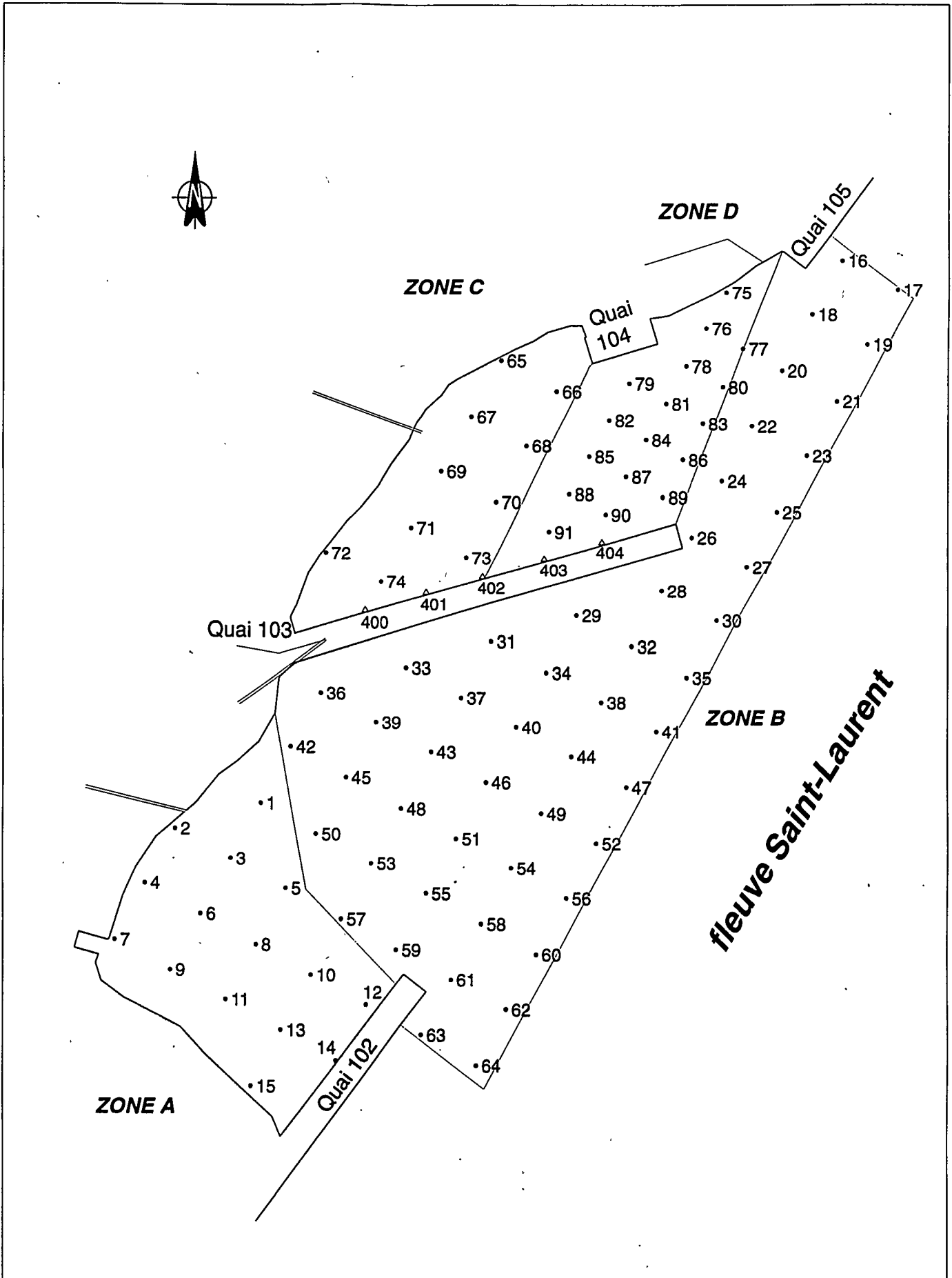


Figure 2 : Plan prévu d'échantillonnage systématique stratifié pour la campagne de caractérisation du patron de circulation dans les baies du secteur 103

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).

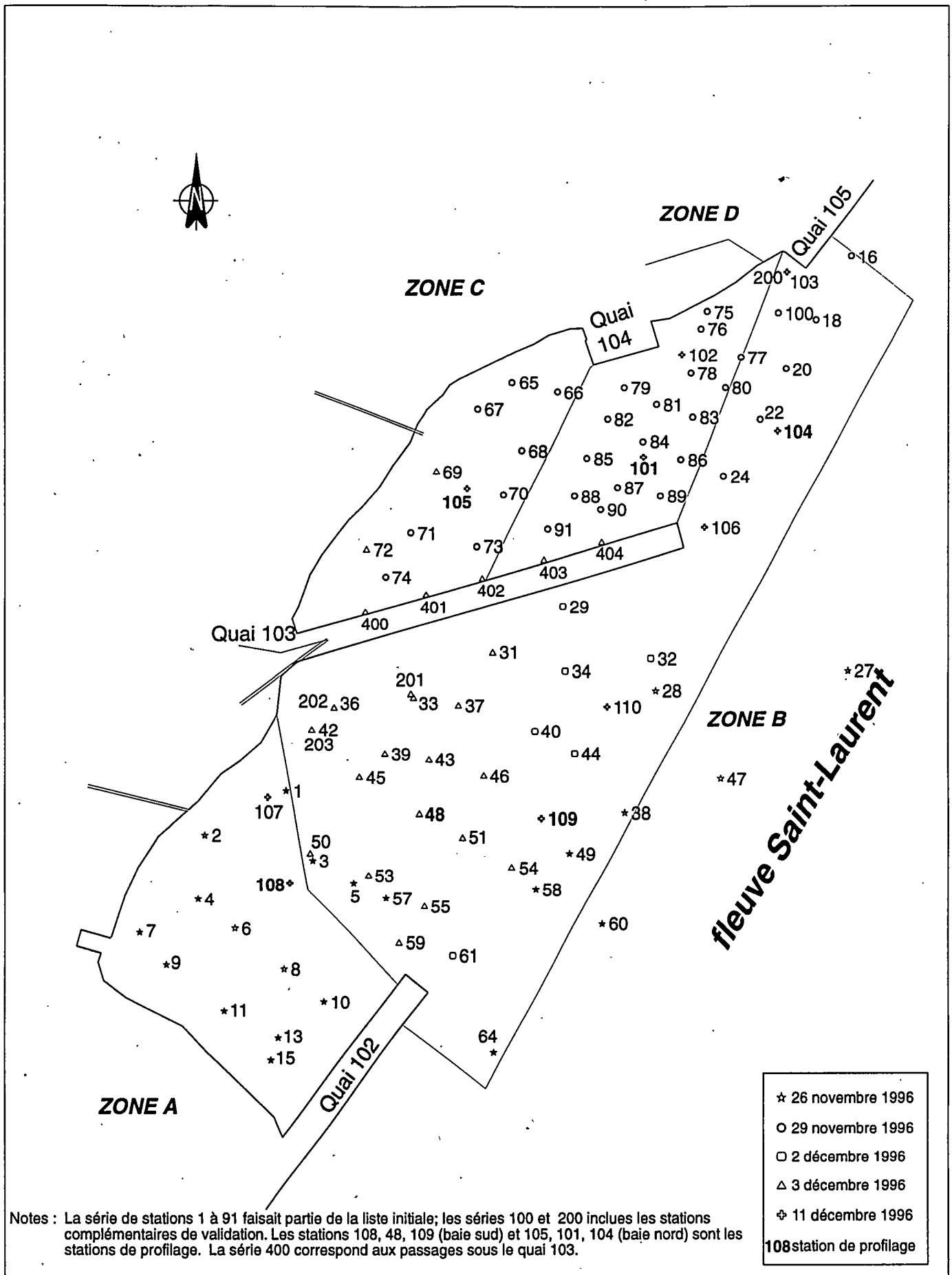


Figure 3 : Localisation des stations d'échantillonnage visitées durant la campagne de caractérisation du patron de circulation : les symboles indiquent les différentes journées de terrain

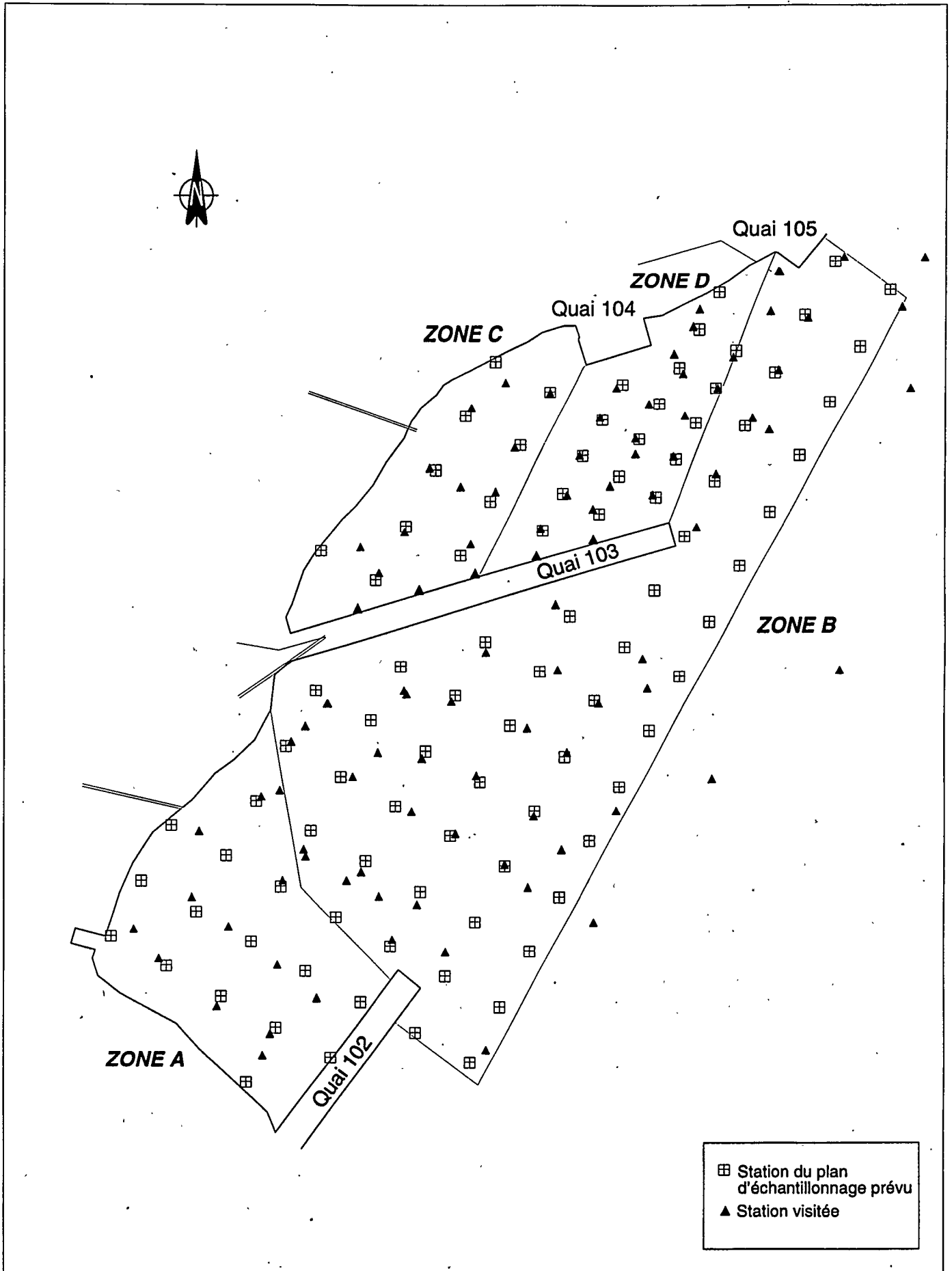


Figure 4 : Comparaison entre le plan d'échantillonnage prévu et la localisation des stations visitées

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

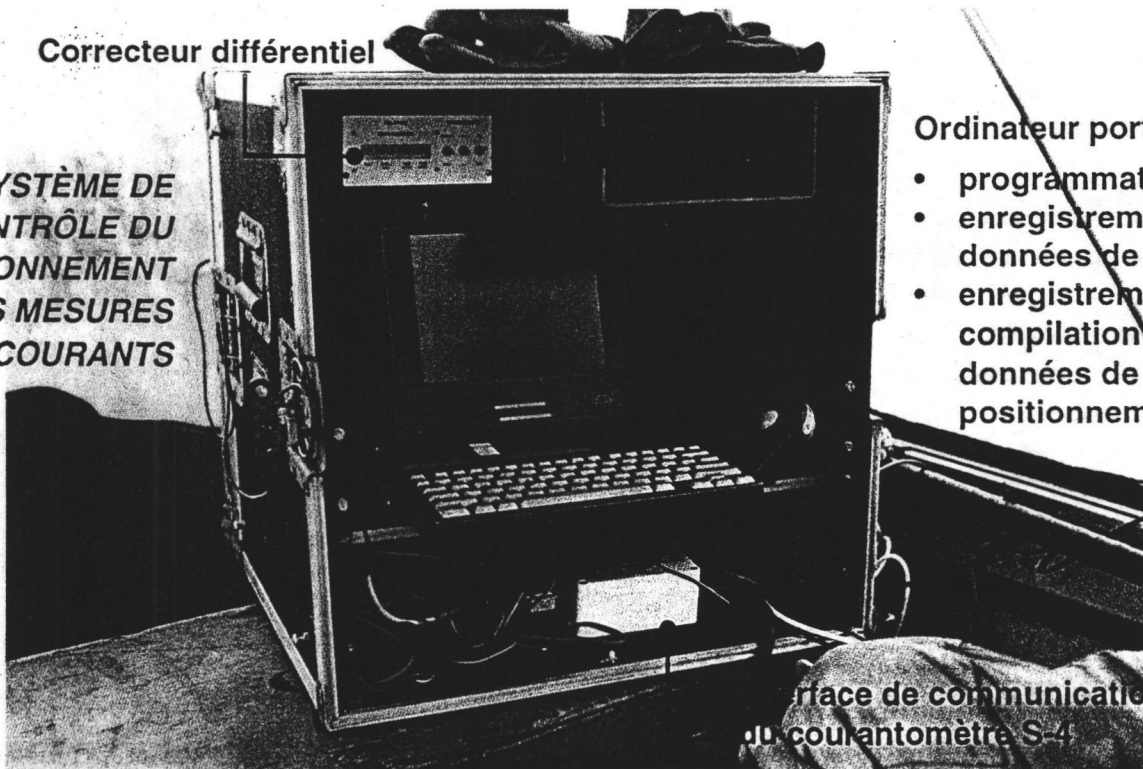
Les mesures de courant ont été prises à l'aide du courantomètre électromagnétique *Interocean S-4* (figure 5). La vitesse et la direction du courant sont obtenues en calculant la résultante des vecteurs V_n et V_e mesurés par l'appareil à partir des fluctuations du courant électrique engendré par le 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.

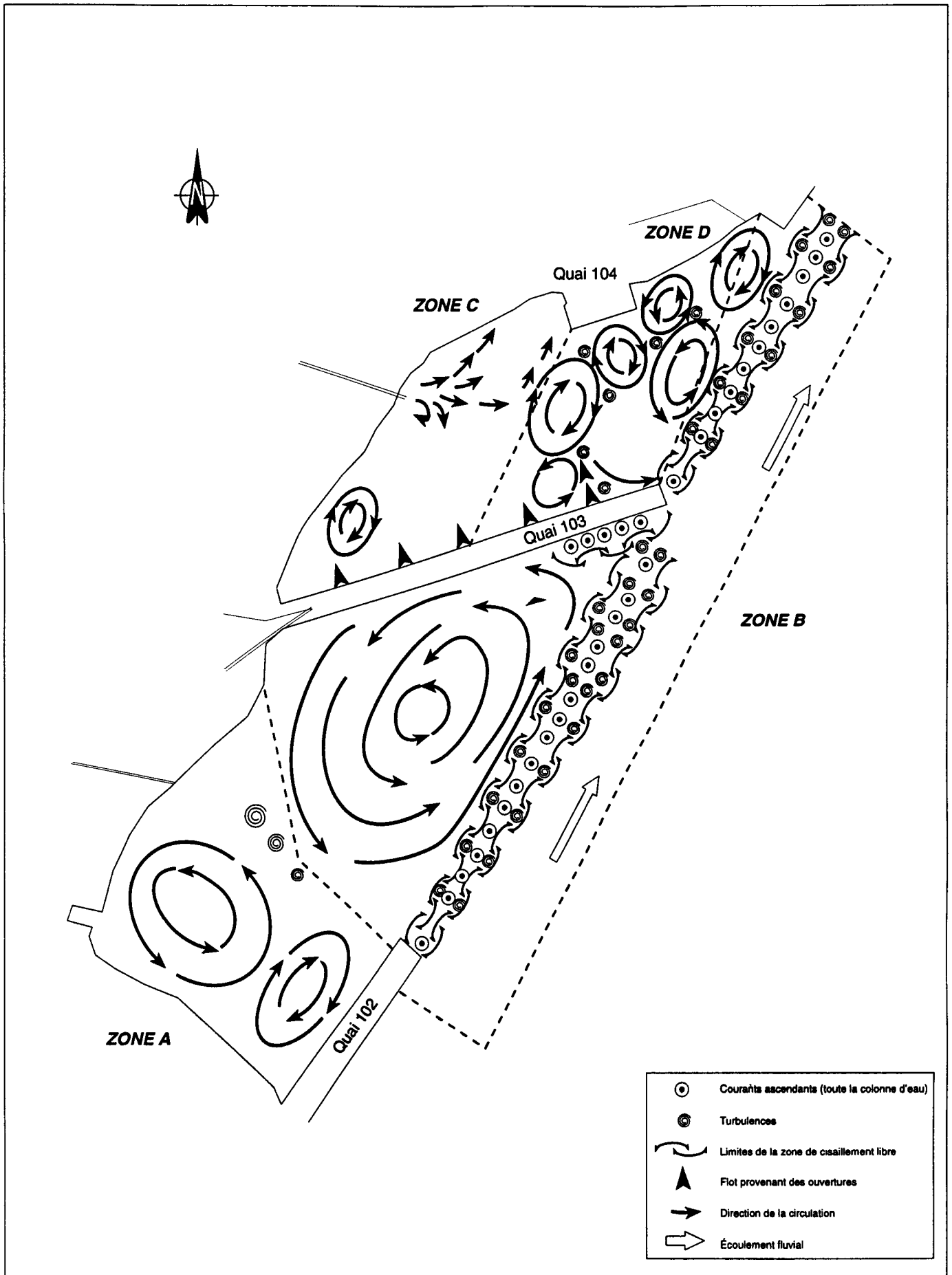
Dans la mesure où le patron de circulation secondaire est entraîné par l'écoulement principal, l'énergie nécessaire pour maintenir les structures hydrodynamiques est transférée en suivant le même chemin. Cette énergie est dissipée par les structures de plus petites échelles et par la friction avec le 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).



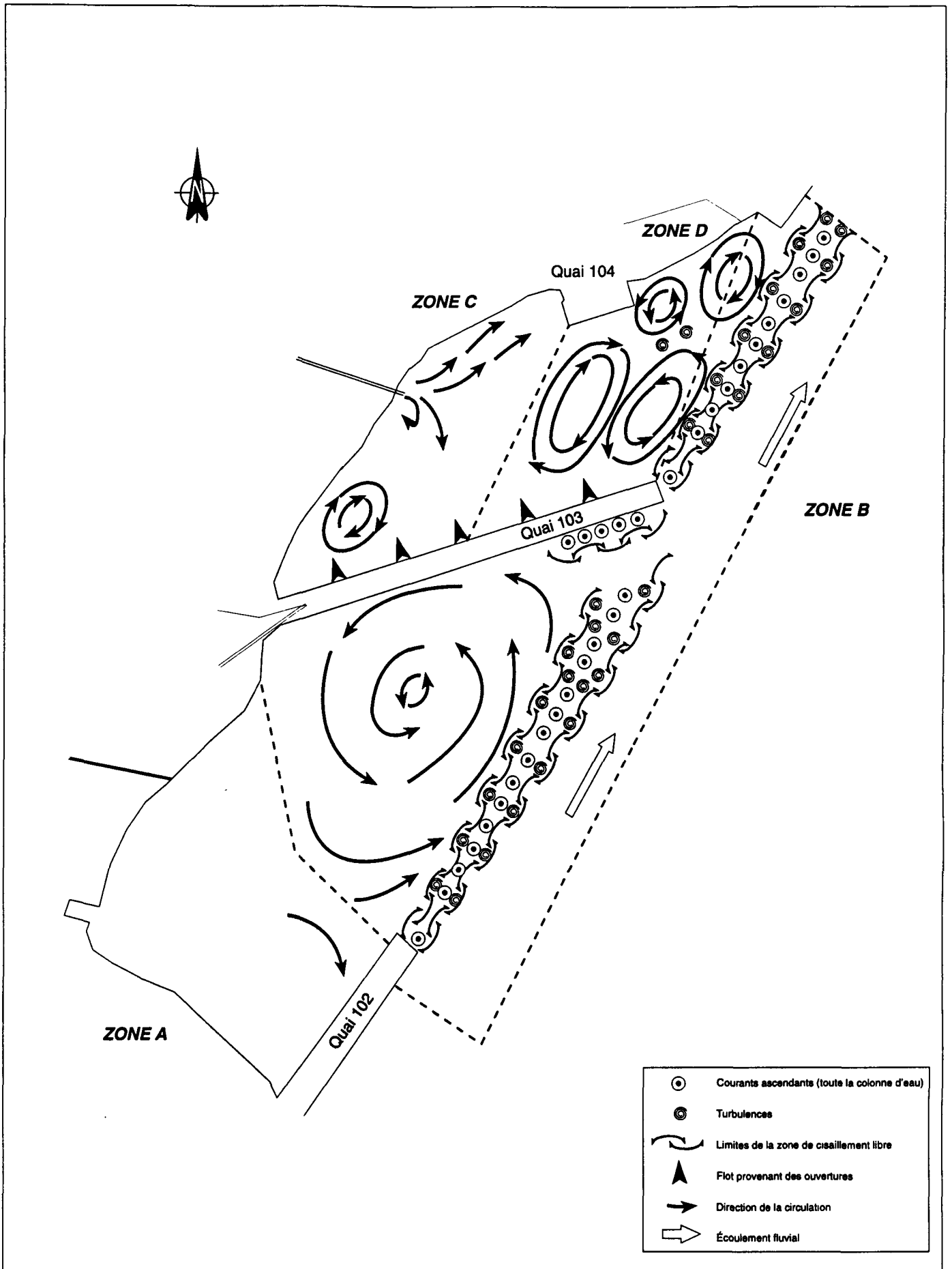


Figure 7 : Représentation schématique du patron de circulation à 5 m de profondeur dans les baies du secteur 103

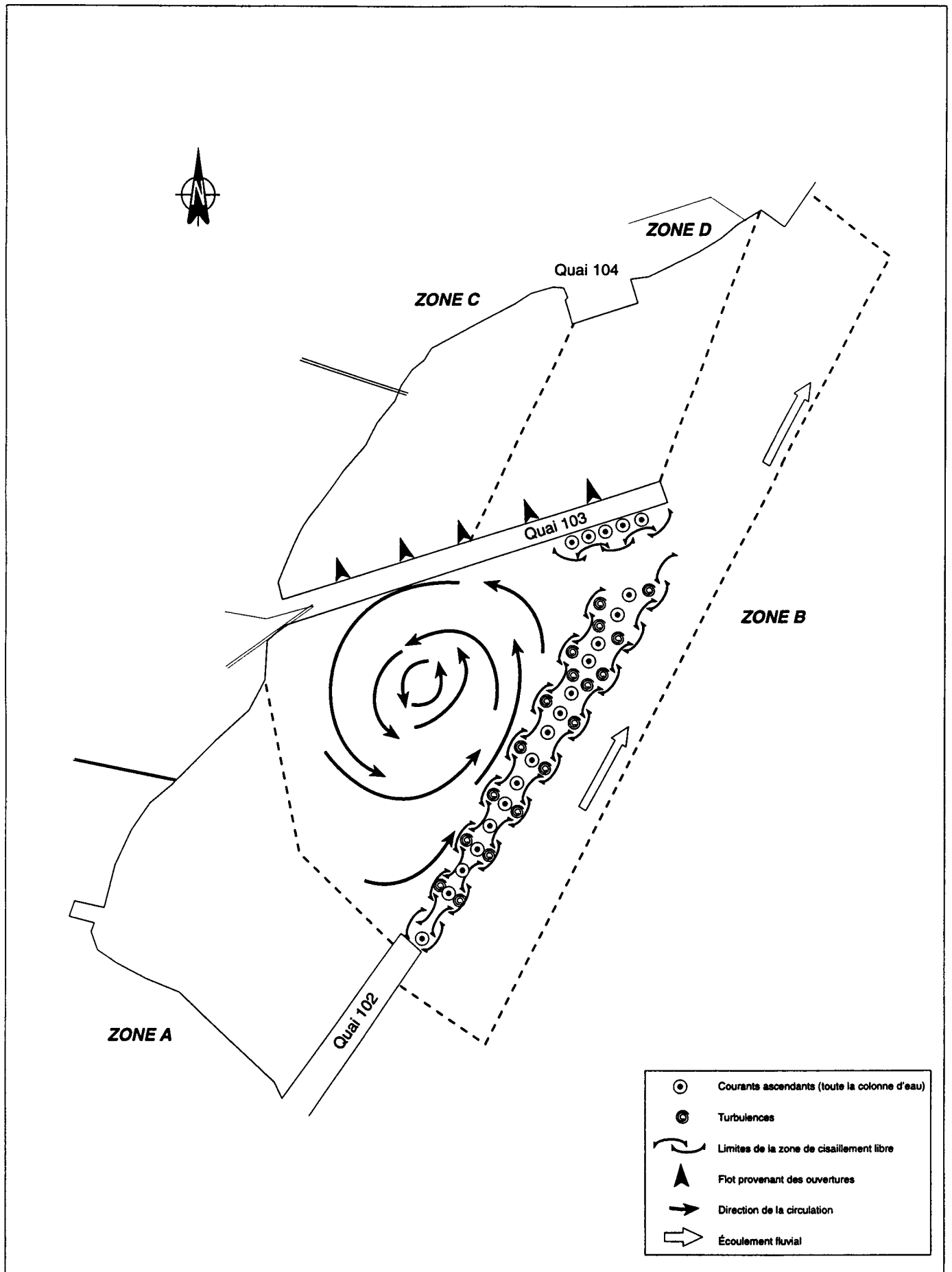


Figure 8 : Représentation schématique du patron de circulation à 10 m de profondeur dans les baies du secteur 103

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.

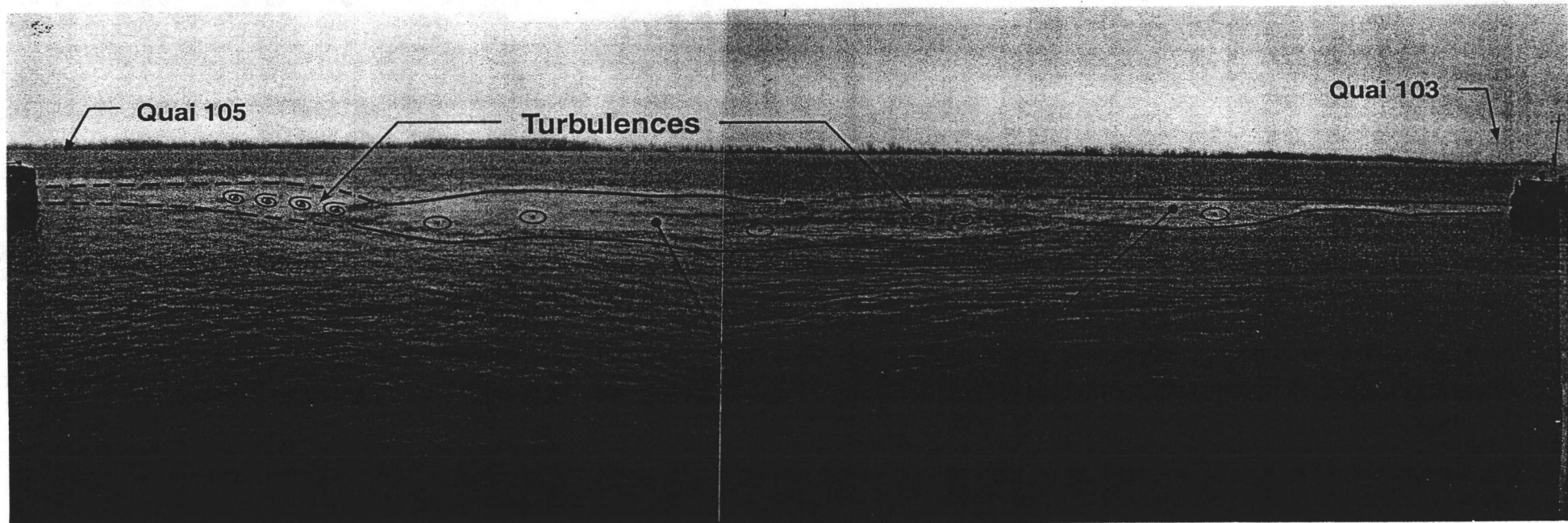
Compte tenu de la lenteur relative de la circulation dans la baie Nord, il est possible que les surverses épisodiques du collecteur Durocher modifient le patron de circulation locale. L'orientation du courant dans le secteur du collecteur Durocher fait en sorte que les apports de l'émissaire seront repris 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**

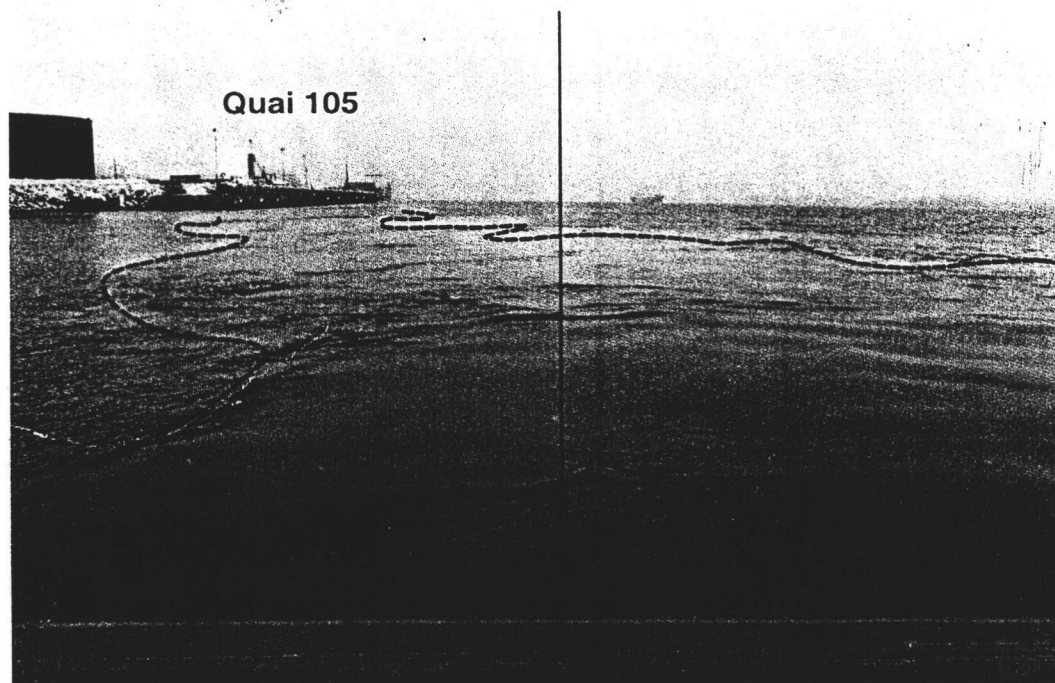
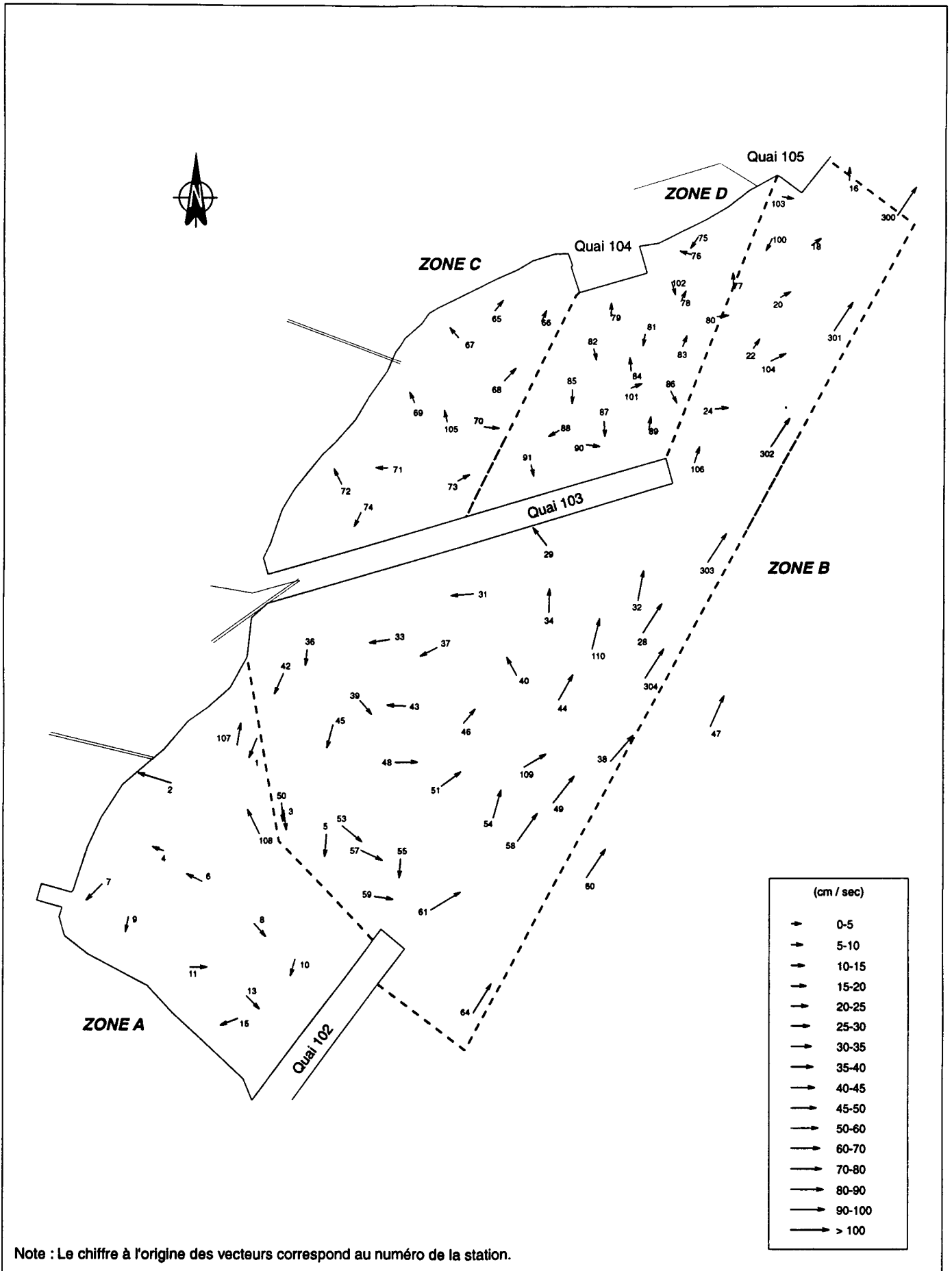


Figure 9 : Zone de cisaillement libre (courants ascendants et turbulences) observée à l'entrée de la Baie Nord du secteur 103 et délimitant l'écoulement fluvial et le patron de circulation secondaire



Note : Le chiffre à l'origine des vecteurs correspond au numéro de la station.

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

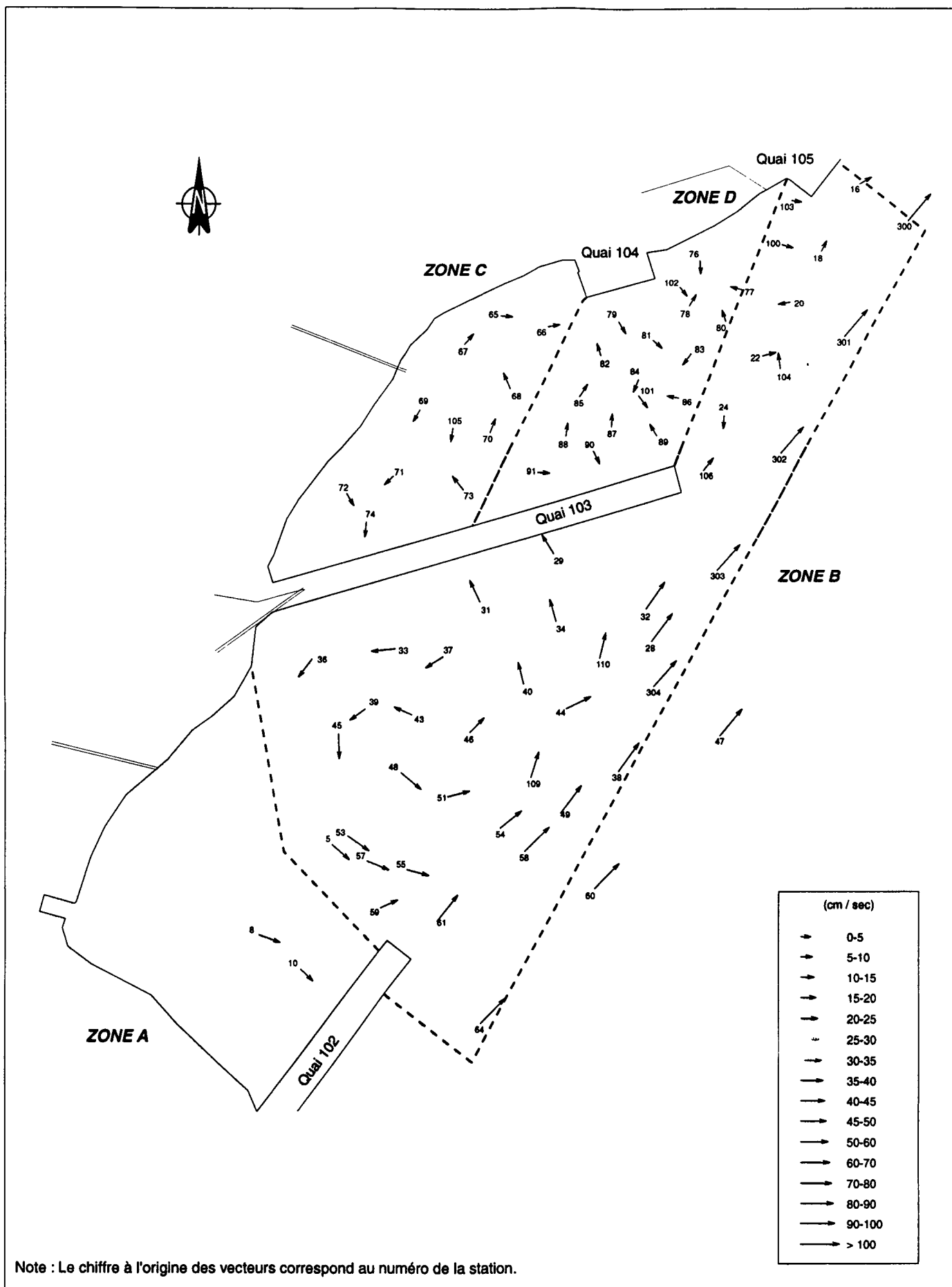


Figure 11 : Répartition spatiale des vecteurs moyens du courant à 5 m de profondeur dans les baies du secteur 103

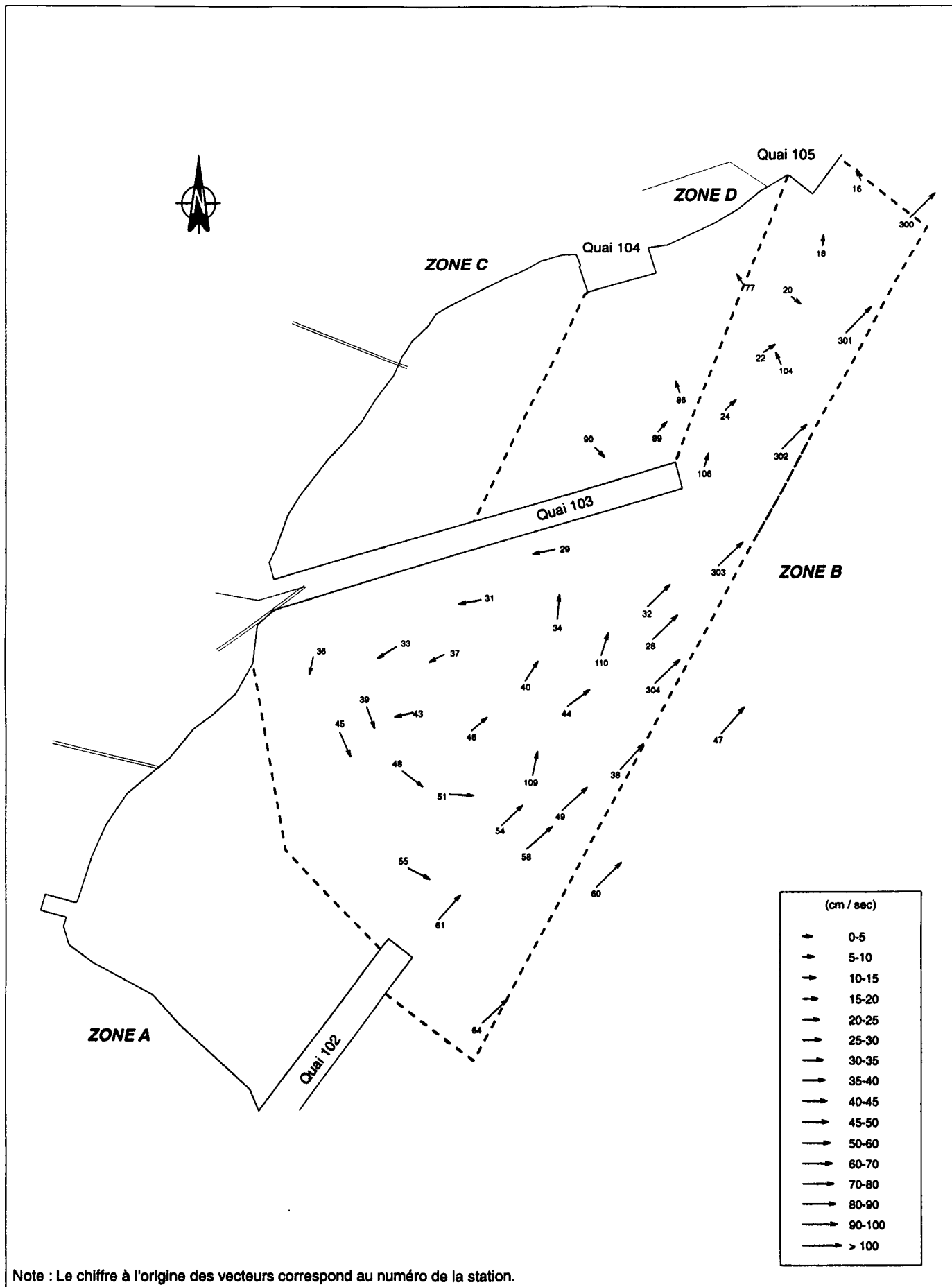


Figure 12 : Répartition spatiale des vecteurs moyens du courant à 10 m de profondeur dans les baies du secteur 103

(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.

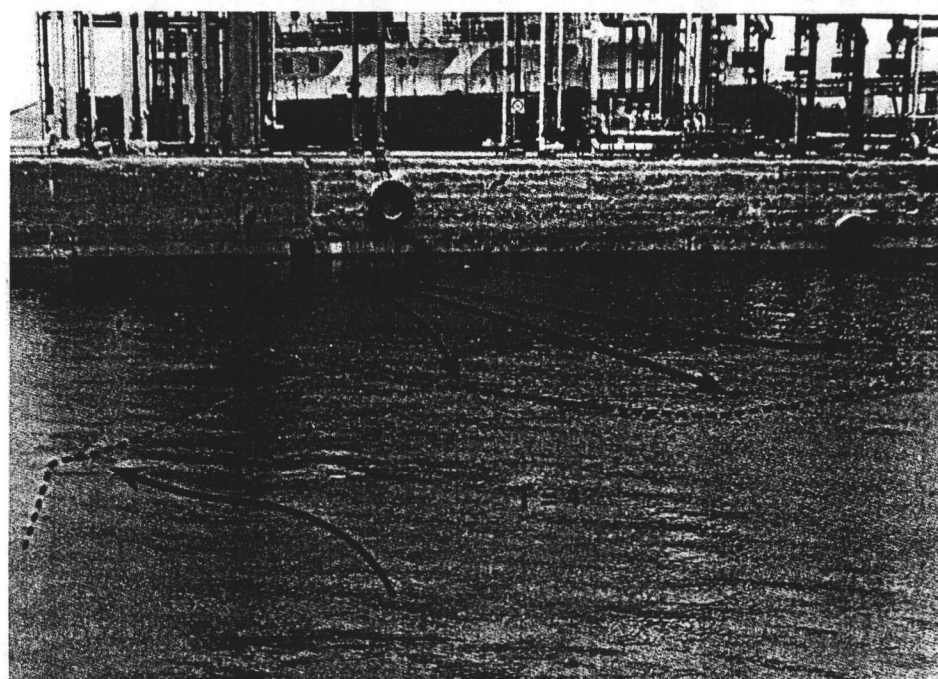
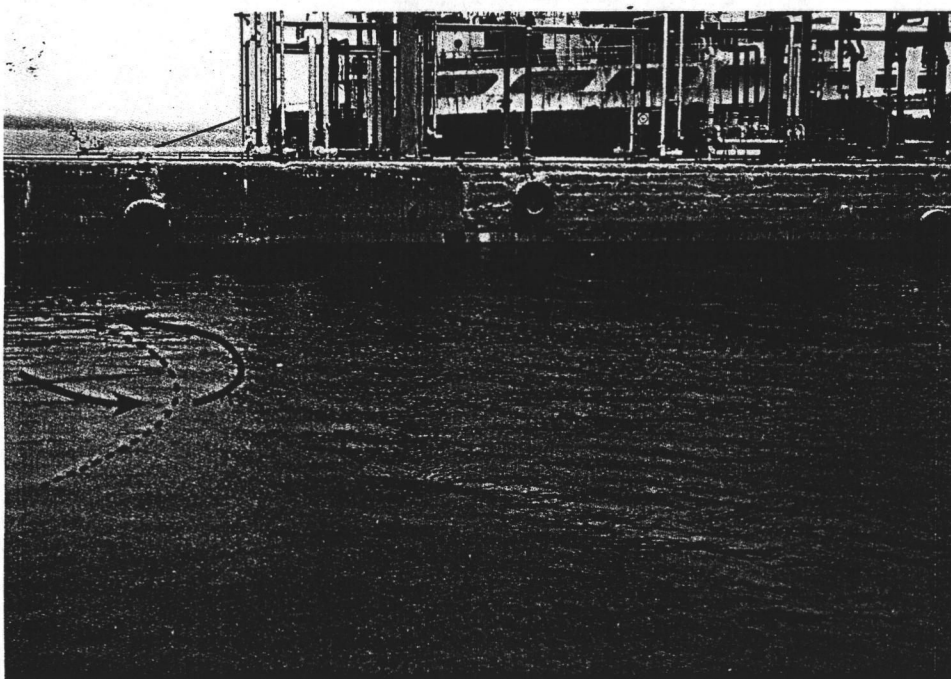
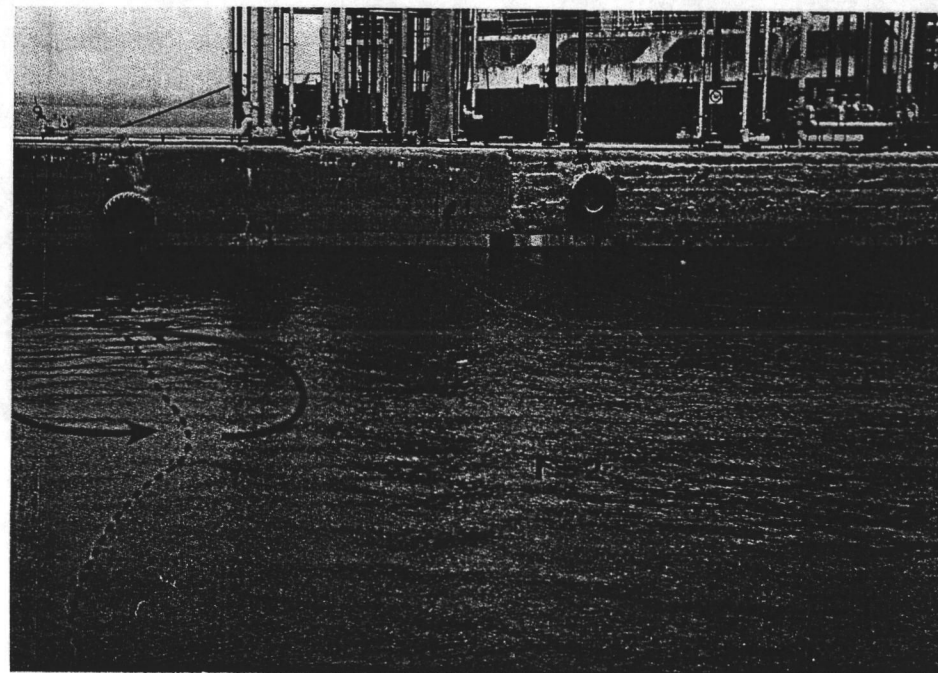
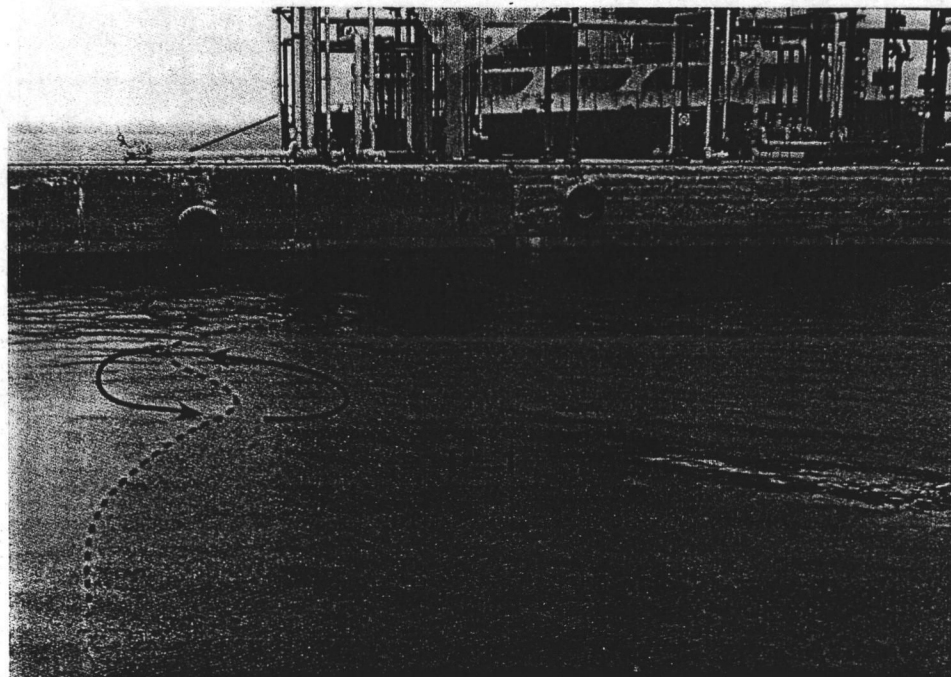


Figure 13 : Séquence photographique montrant l'influence de l'écoulement issu des ouvertures sous le quai 103 sur le patron de circulation secondaire dans la Baie Nord (durée \approx 1 heure) c.m. 22070308.fh5

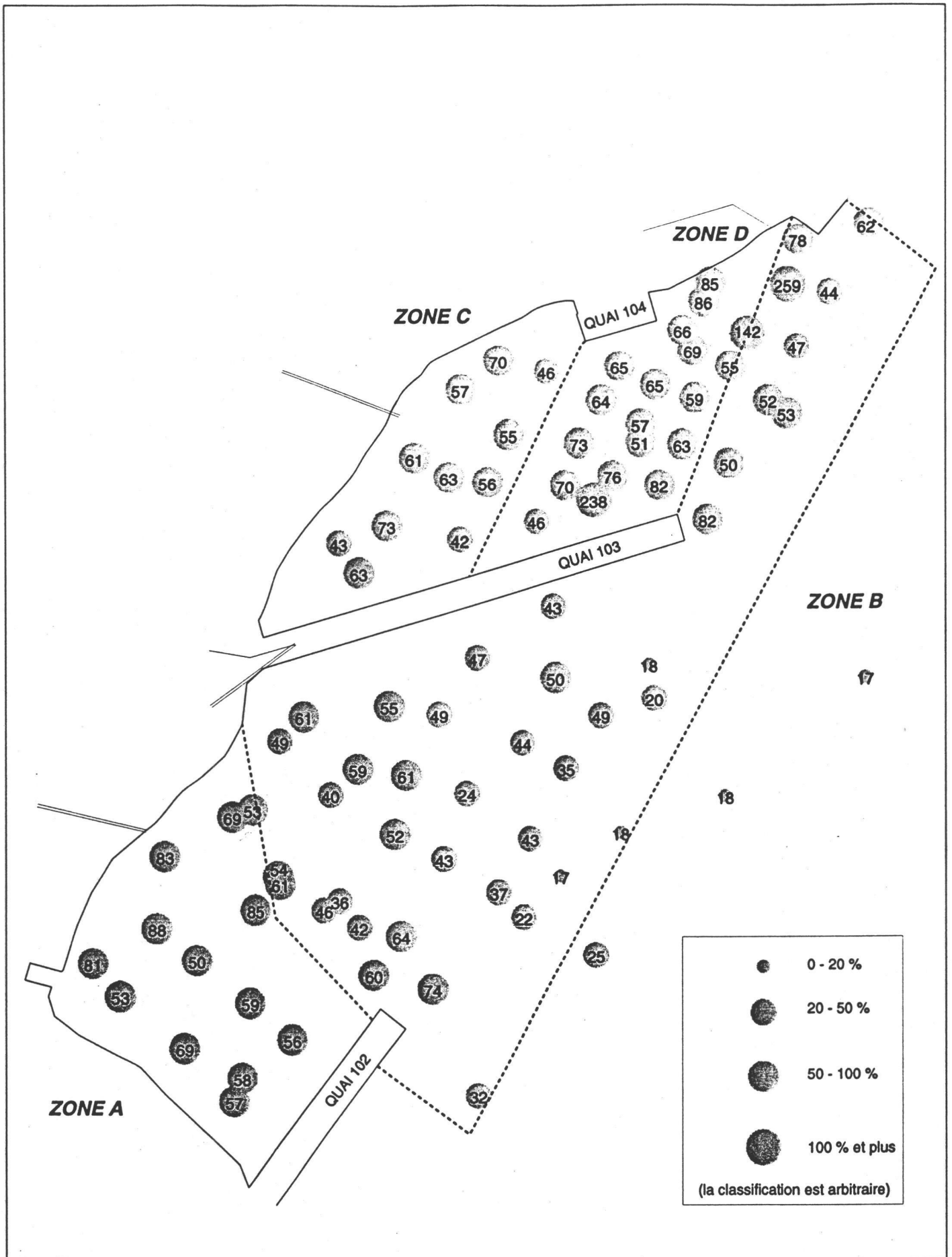


Figure 14 : Répartition spatiale du coefficient de variation des vitesses de courant à la surface

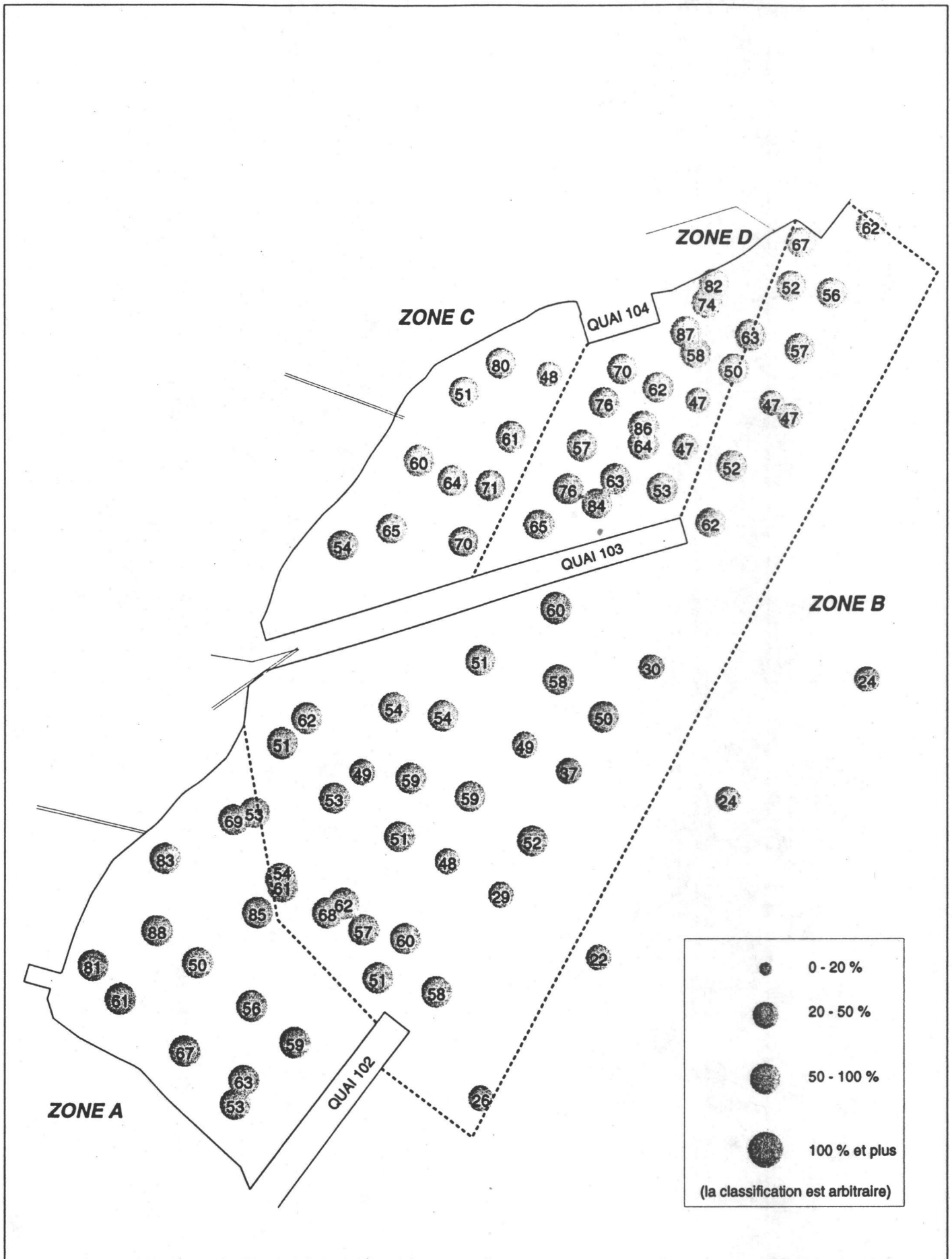


Figure 15 : Répartition spatiale du coefficient de variation des vitesses de courant près du fond

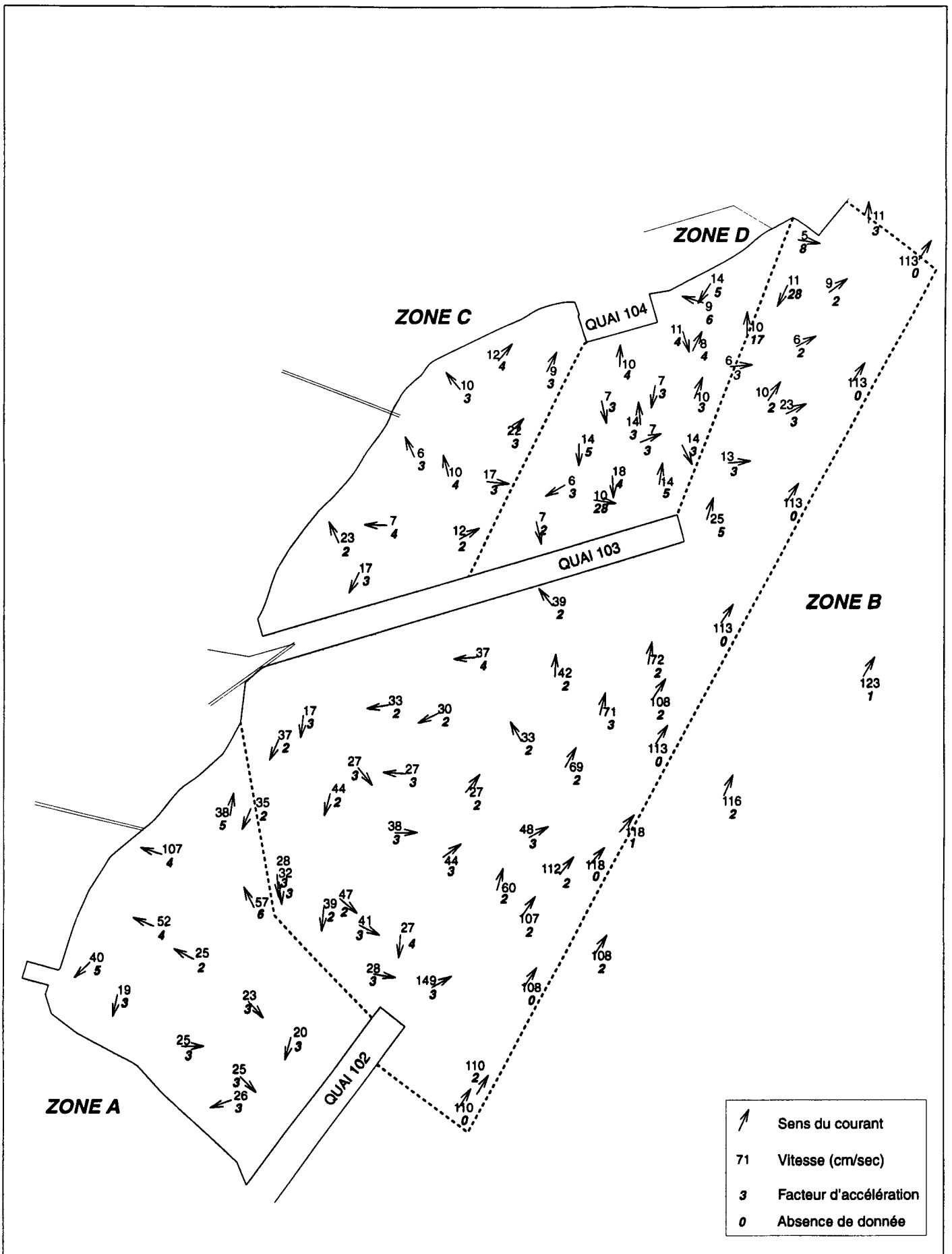


Figure 16 : Répartition spatiale du facteur d'accélération et de la vitesse moyenne du courant à la surface

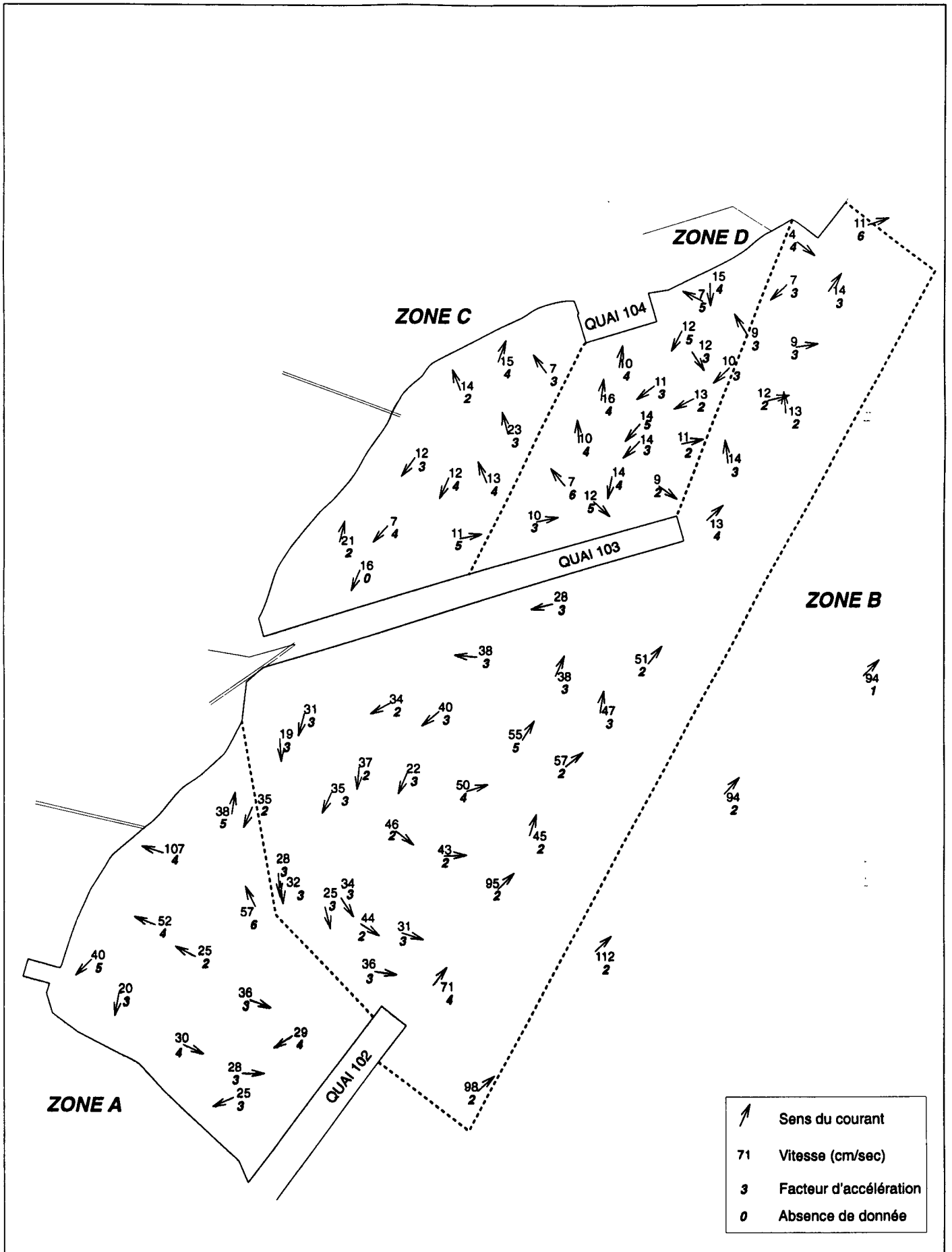


Figure 17 : Répartition spatiale du facteur d'accélération et de la vitesse moyenne du courant près du fond

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

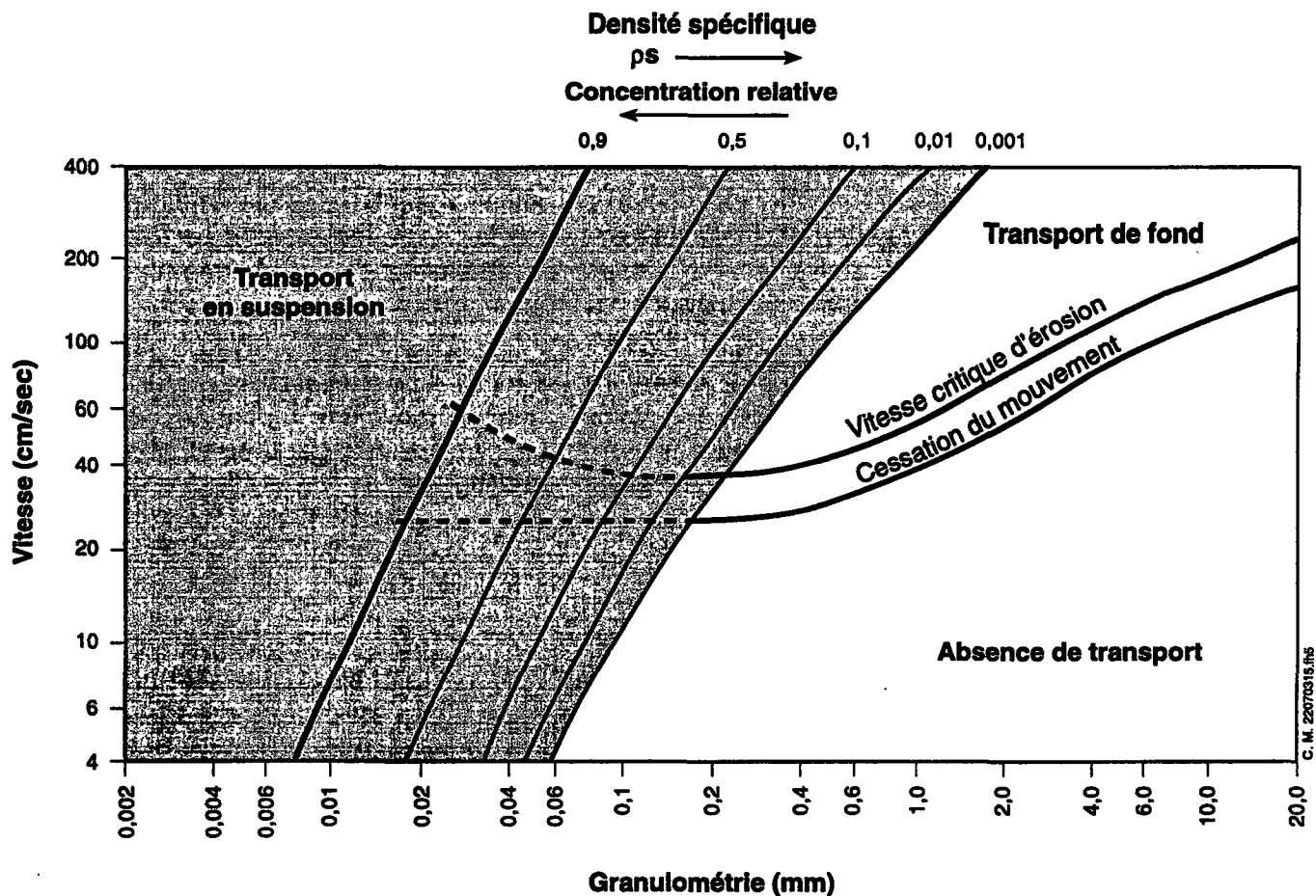


Figure 18 : Diagramme montrant l'état du mouvement sédimentaire en fonction de la vitesse d'écoulement (1 m du fond) et de la granulométrie moyenne des sédiments. Les courbes de la concentration relative limitent les champs des différents états de mouvement en fonction du rapport entre la concentration 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).

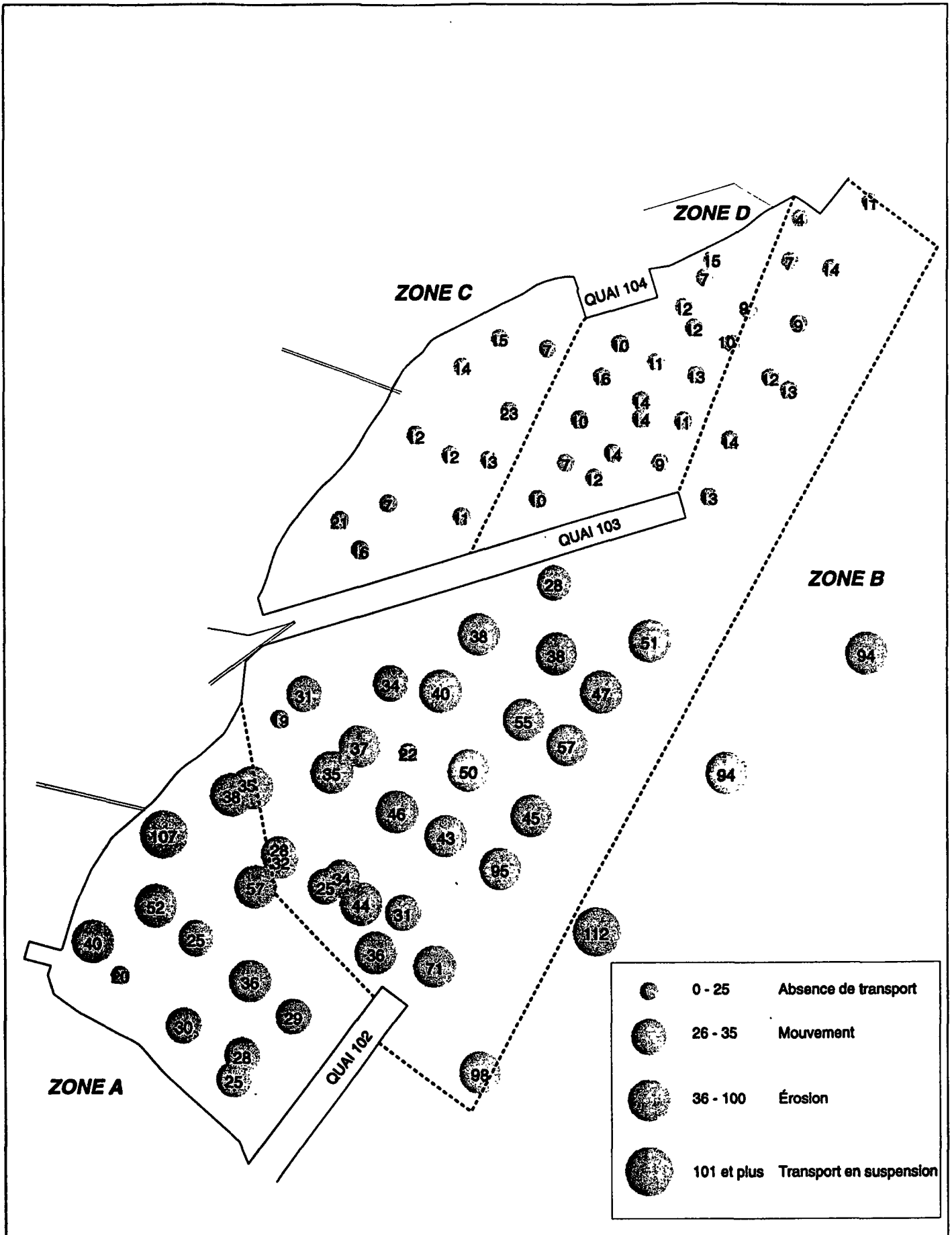


Figure 19 : Classification des vitesses moyennes près du fond en fonction de l'état du mouvement sédimentaire ($d_{50} = 0,1 \text{ mm}$)

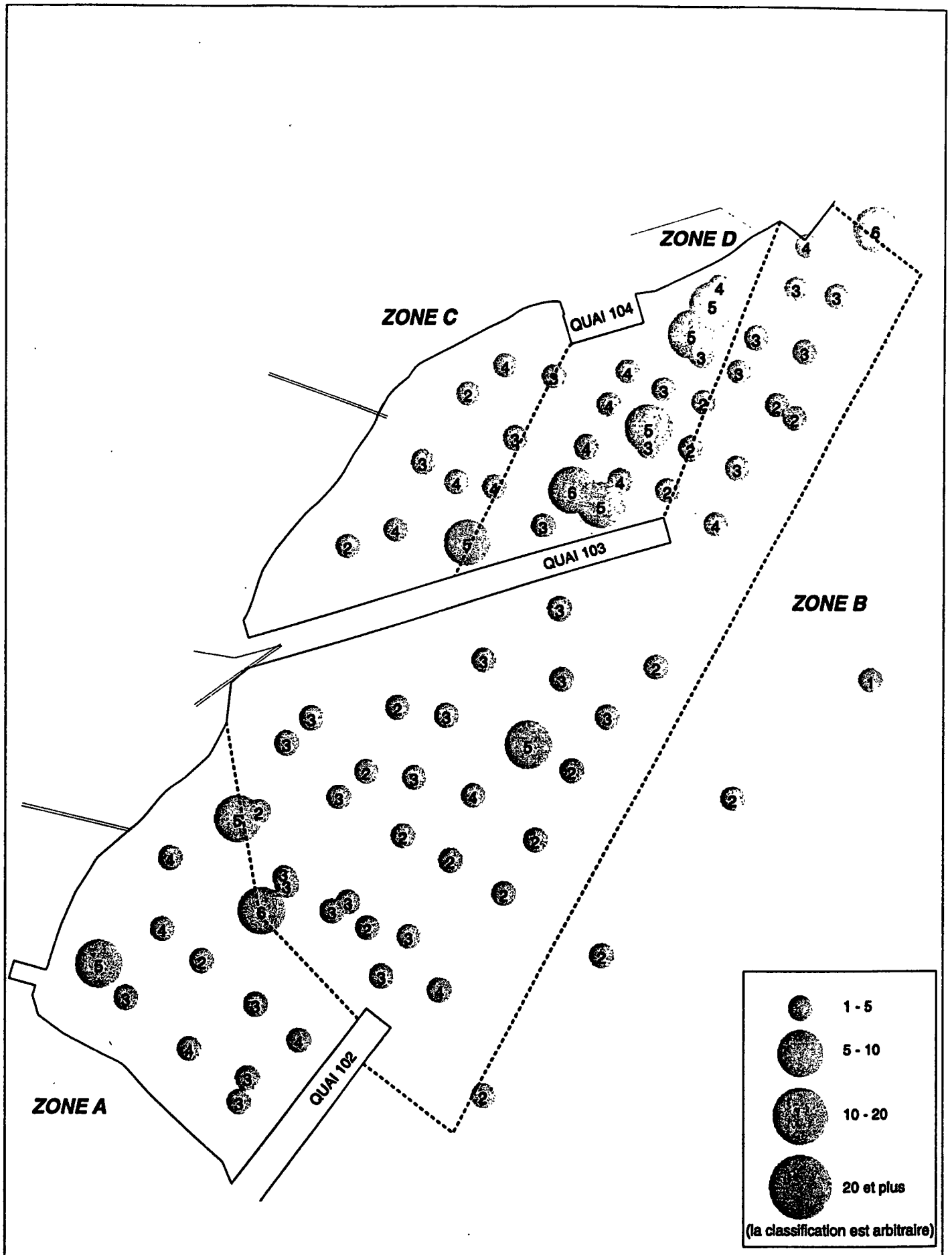


Figure 20 : Répartition spatiale du facteur d'accélération près du fond

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

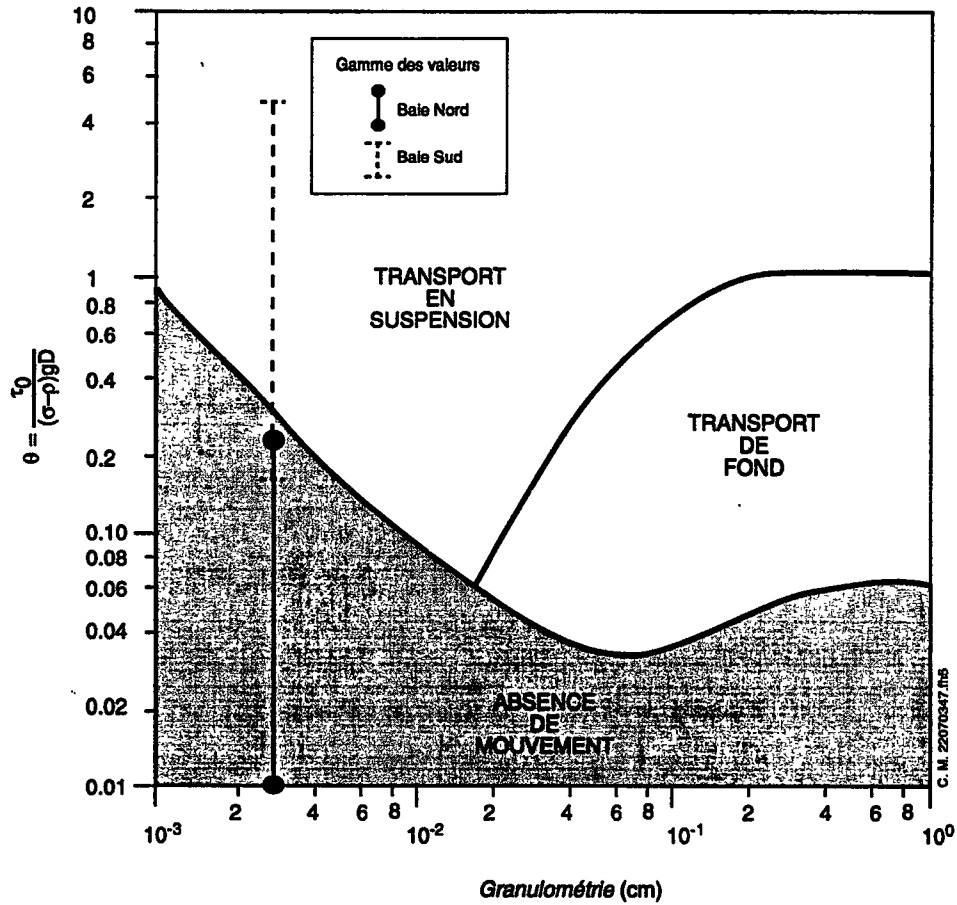


Figure 21 : Diagramme montrant l'état du mouvement sédimentaire en fonction du critère de Shields et de la granulométrie moyenne. Le critère est calculé à partir du stress de cisaillement (τ_0) obtenu de la vitesse de courant mesurée à 1 m du fond. (tiré des travaux de Bagnold et Shields dans Allen, 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 Minimum | Longitude Maximum | Latitude | Latitude Minimum | Latitude Maximum | N |
|-------------|------------|-------------------|-----------------------|------------|------------------|---------------------|----|
| | Écart type | | | Écart type | | | |
| 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 moyenne | Vitesse minimum | Vitesse Maximum | Écart-type | Coeff. variation | Facteur d'accélération | Direction | | Vitesse moyenne | Vitesse minimum | Vitesse Maximum | Écart-type | Coeff. variation | Facteur d'accélération | |
|---------------|------------|-----------|----------|------------|-----------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|---------------------|---------------------------|-----------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|---------------------|---------------------------|--|
| | WGS-84 | WGS-84 | moyenne | Écart type | moyenne | Écart type | | | | | | | moyenne | Écart type | | | | | | | |
| <i>Fleuve</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 38 | -73,497750 | 45,623614 | 57 | 14 | 118 | 73 | 167 | 21 | 18 | 1 | 53 | 14 | 101 | 64 | 170 | 21 | 20 | 20 | 2 | | |
| 47 | -73,497161 | 45,623756 | 40 | 48 | 116 | 58 | 196 | 21 | 18 | 2 | 55 | 11 | 115 | 68 | 168 | 23 | 20 | 20 | 1 | | |
| 60 | -73,497888 | 45,623137 | 49 | 13 | 108 | 36 | 167 | 27 | 25 | 2 | 61 | 9 | 125 | 63 | 172 | 23 | 18 | 18 | 1 | | |
| 64 | -73,498553 | 45,622590 | 48 | 26 | 110 | 18 | 227 | 35 | 32 | 2 | 61 | 13 | 104 | 54 | 157 | 20 | 19 | 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

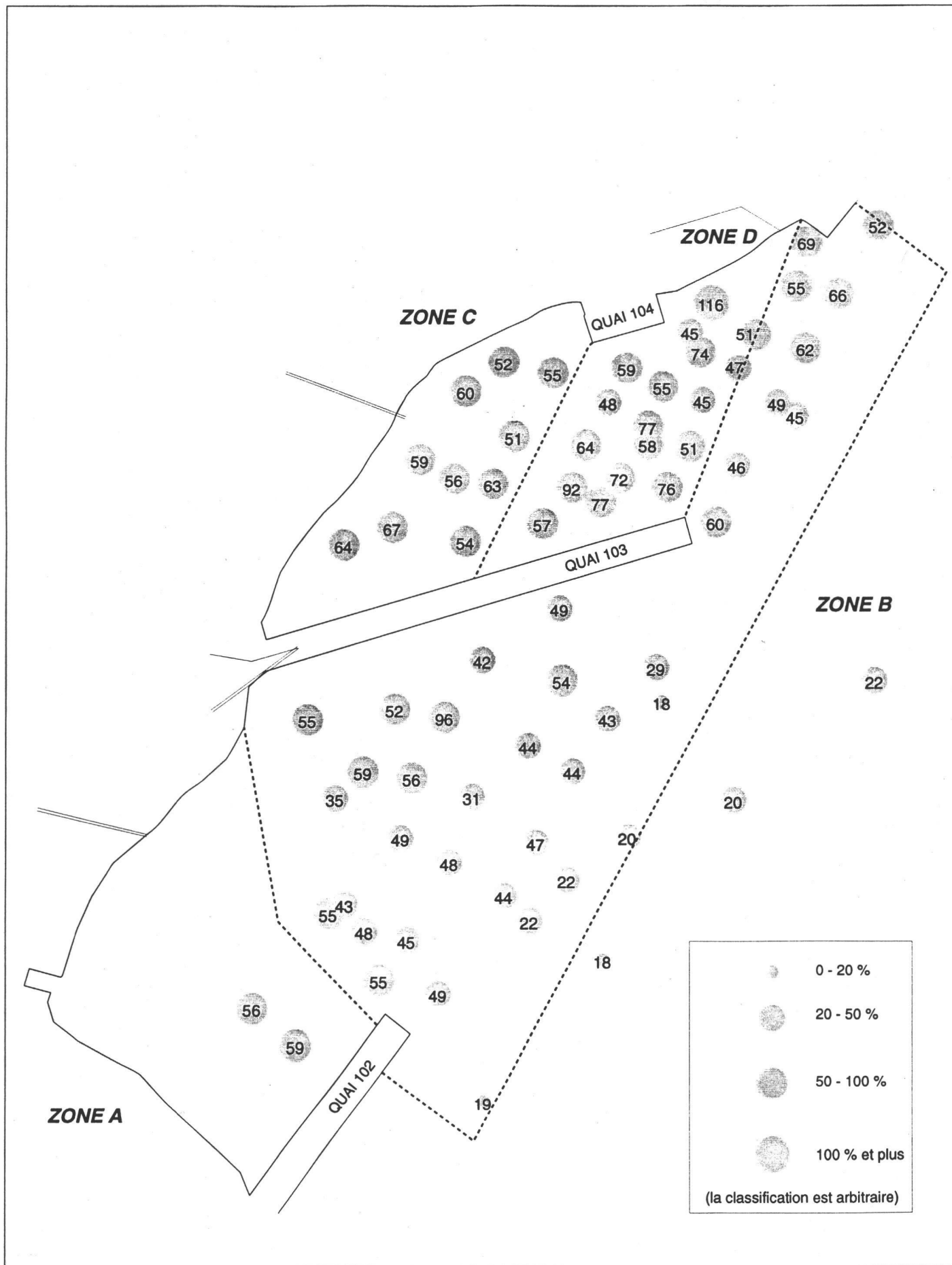
**Données courantométriques compilées
des stations de profilage**

Données courantométriques compilées des stations de profilage

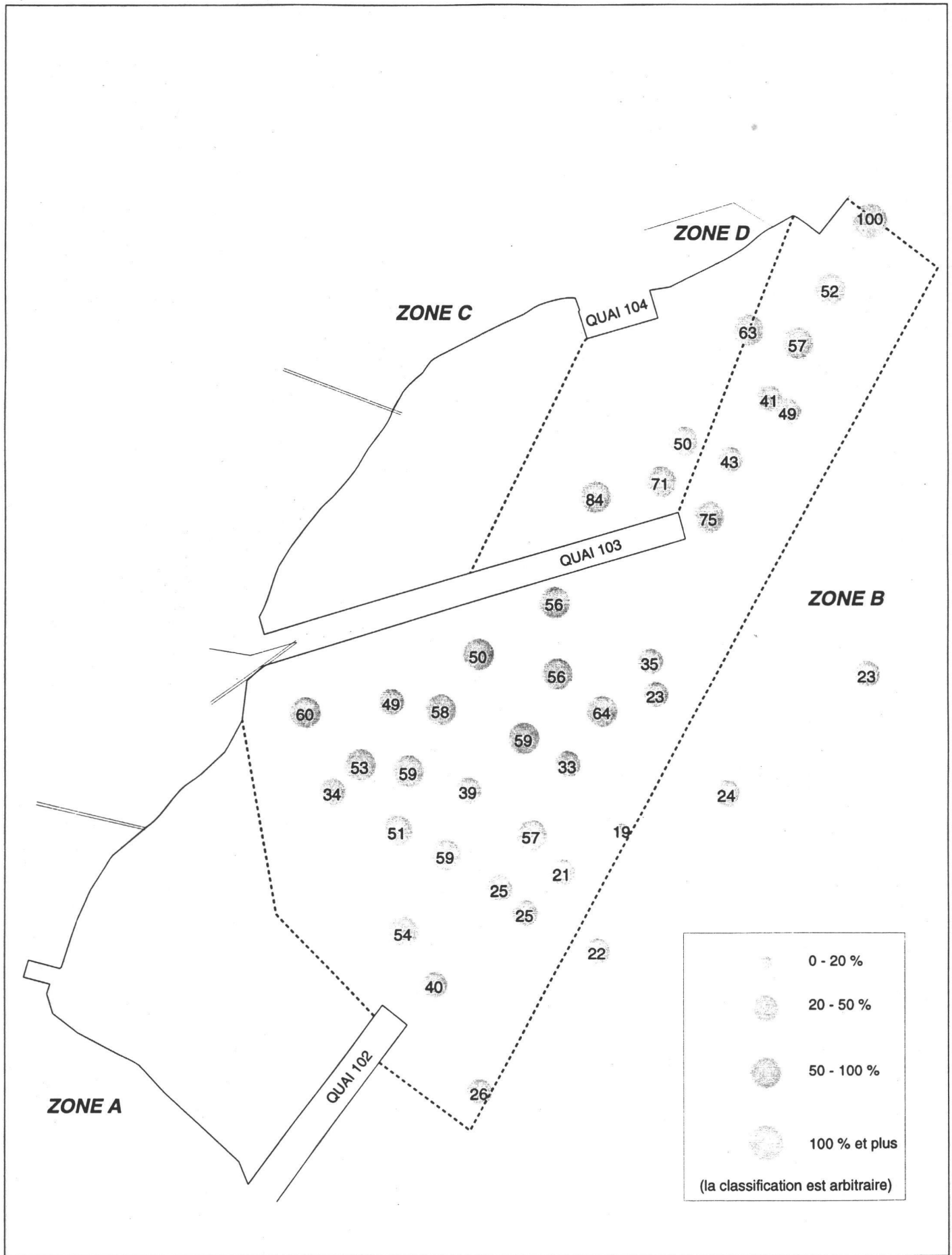
| Station | Niveau | Vn moyenne (cm/sec) | S | Vn minimum (cm/sec) | Vn maximum (cm/sec) | Coef.var % | Ve moyenne (cm/sec) | S | Ve minimum (cm/sec) | Ve maximum (cm/sec) | Coef.var % | Profondeur (m) | Vitesse (cm/sec) |
|---------|--------|---------------------------|-------|---------------------------|---------------------------|---------------|---------------------------|-------|---------------------------|---------------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| 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



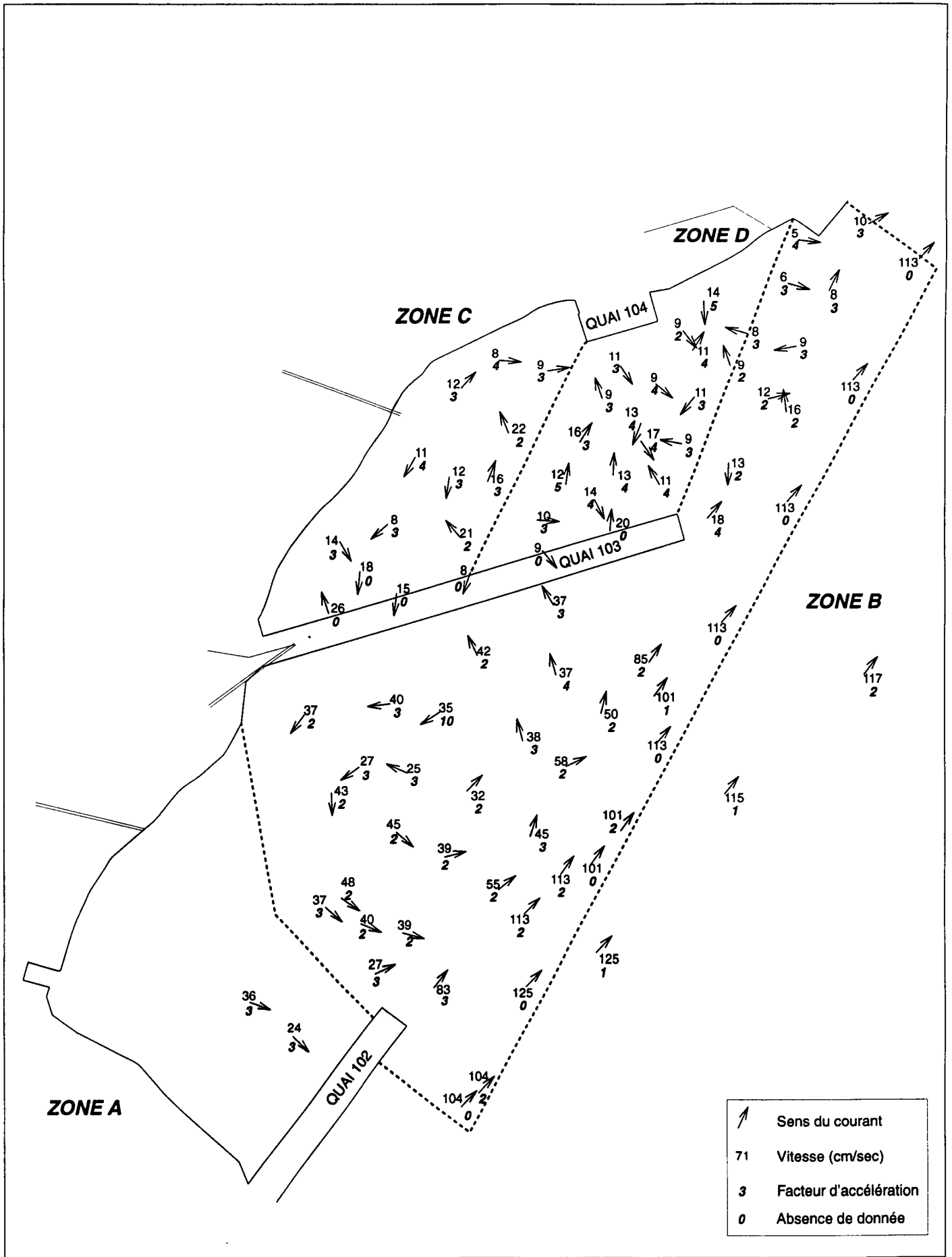
Répartition spatiale du coefficient de variation des vitesses de courant à 5 m de profondeur



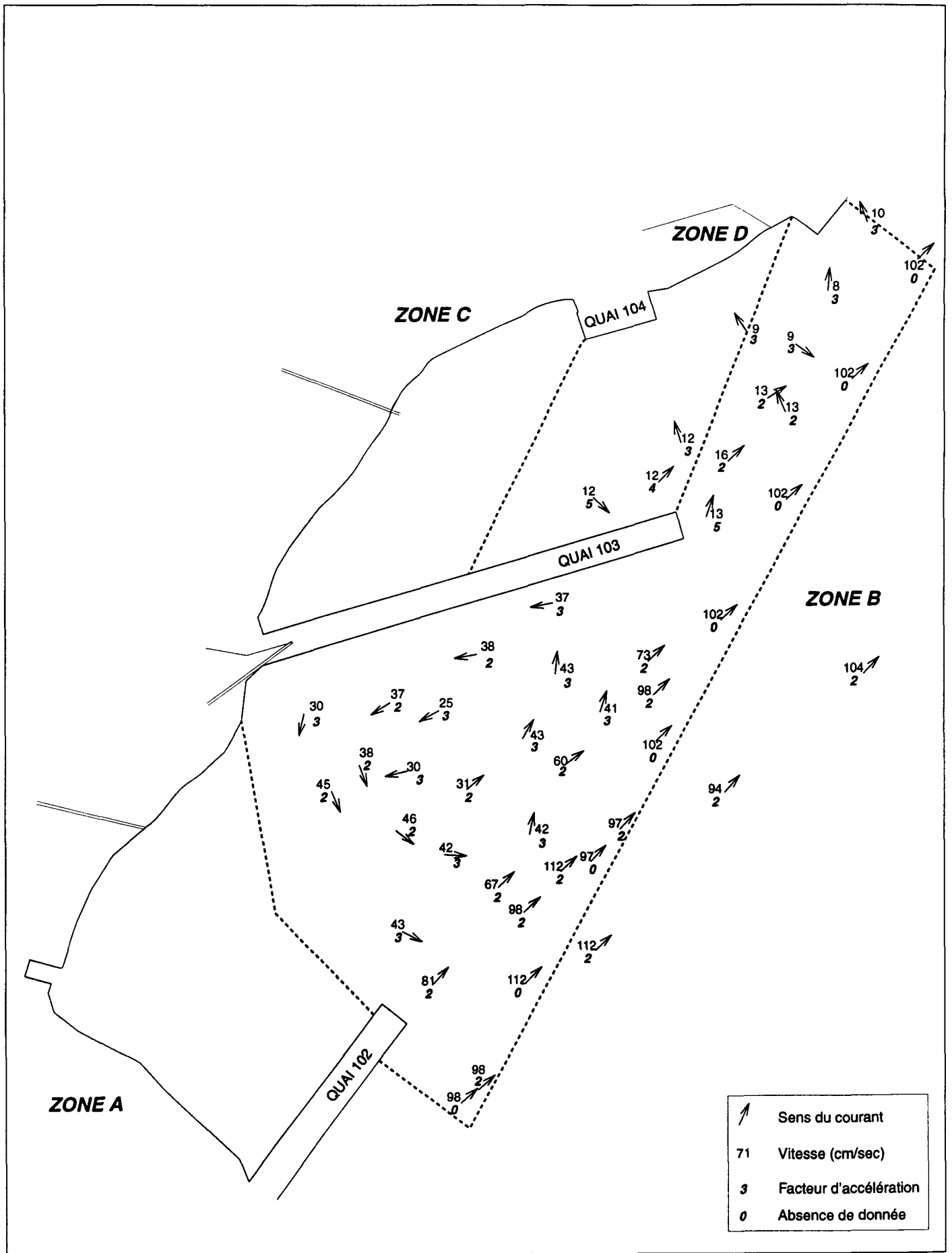
Répartition spatiale du coefficient de variation des vitesses de courant à 10 m de profondeur



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



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 | | | | |

